

Inhalt

1 Kennzeichnung	1
2 Einsatzgebiete, Verbreitung des Verfahrens.....	3
3 Aufbau einer MSG-Schweißanlage.....	6
3.1 Leistungsteil	6
3.2 Steuer- und Regeleinheit	7
3.3 Schlauchpaket und Schweißstromleitungen.....	8
3.4 Drahtfördereinrichtung	8
3.5 MSG-Schweißbrenner	10
3.6 Bedienungs- und Einstellelemente	12
4 Lichtbogenlängenregelung beim MSG-Schweißen	13
5 Schweißzusatzwerkstoffe und Schutzgase.....	14
5.1 Drahtelektroden/Massivdrähte	14
5.2 Schutzgase	16
5.2.1 Der Lichtbogen beim Schweißen von Stählen und NE-Metallen	17
5.2.2 Einteilung und Besonderheiten verschiedener Schutzgase zum MAG-Schweißen	18
6 Einstellgrößen beim Schweißen mit stufengeschalteten Schweißgleichrichtern	22
7 Einflussgrößen auf die Nahtgeometrie beim MSG-Schweißen	23
7.1 Lichtbogenspannung (Lichtbogenlänge).....	23
7.2 Drahtvorschubgeschwindigkeit	23
7.3 Stromkontakteabstand	23
7.4 Schweißgeschwindigkeit.....	24
7.5 Drahtelektrodenstellung	25
7.6 Stirnflächenabstand (I-Nähte)	25
7.7 Brenneranstellwinkel.....	25
8 Drahtelektrodenpolung, Kräfte am Lichtbogen und Werkstoffübergangsarten (Lichtbogenarten).....	28
8.1 Polung der Drahtelektrode	28
8.2 Einfluss der Drahtelektrodendurchmesser auf die Abschmelzleistung und Raupenprofile...	28
8.3 Kräfte am Lichtbogen.....	29
8.4 Werkstoffübergang (Lichtbogenarten)	30
8.4.1 Kurzlichtbogen	31
8.4.2 Übergangslichtbogen	32
8.4.3 Langlichtbogen	32
8.4.4 Sprühlichtbogen	33
8.4.5 Impulslichtbogen	34
9 Vor- und Nachteile des MSG-Schweißens	36
9.1 Vorteile des MIG/MAG-Schweißens	36
9.2 Nachteile des MIG/MAG-Schweißens	36
10 Merkblatt DVS 0973 – Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens.....	36
10.1 Geregelter / modifizierter Kurzlichtbogen.....	37
10.1.1 Spritzerarmer Kurzlichtbogen	37
10.1.2 Energiereduzierter Kurzlichtbogen.....	38
10.1.3 Leistungsgesteigerter Kurzlichtbogen.....	38
10.2 Modifizierter Sprühlichtbogen	38
10.2.1 Kurzer Sprühlichtbogen	38

10.3 Modifizierter Impulslichtbogen	40
10.4 Wechselstromprozesse.....	40
10.5 Kombinierte Prozessvarianten	40
10.6 Zyklische Drahtbewegung	41
10.7 Herstellerbezeichnungen	41
11 Mögliche Fehler beim MIG/MAG-Schweißen	43
11.1 Bindefehler am Nahtanfang, Nahtüberlappung und Nahtansatz, Endkrater am Raupenende ..	
43	
11.2 Bindefehler in der Schweißnaht	44
11.3 Poren	45
11.4 Kerben an den Raupenrändern	47
11.5 Risse	47
12 Nahtvorbereitung (Überblick)	48
13 Schweißbadsicherungen.....	52
14 Verfahrensvarianten des MSG-Schweißens	53
14.1 MIG/MAG-Punktschweißen	53
14.2 MSG-Löten.....	53
14.3 MIG/MAG-Hochleistungsverfahren	55
14.3.1 Hochleistungsverfahren mit einer Drahtelektrode	55
14.3.2 Hochleistungsverfahren mit zwei Drahtelektroden.....	56
14.4 Plasma-Metall-Schutzgasschweißen	58
14.5 Laser-MSG-Schweißen.....	59
15 Elektrogassschweißen	60
16 Literatur.....	61
17 Testfragen.....	62

1 Kennzeichnung

Das Metall-Schutzgasschweißen (MSG-Schweißen) ist ein Lichtbogenschweißverfahren mit einer endlosen, abschmelzenden Drahtelektrode unter einer Schutzgasabdeckung. Die unterschiedlichen MSG-Prozesse sind mit entsprechenden Ordnungsnummern nach EN ISO 4063 gekennzeichnet. In Tabelle 1 und in Tabelle 2 sind die einzelnen Verfahrensvarianten bei konventionellen und Sonderverfahren aufgelistet.

Tabelle 1: Bezeichnungen und Verfahrensvarianten für das MIG/MAG-Schweißen

Schweißverfahren	Kurz-zeichen	Kennzahl nach ISO 4063	Bemerkungen
Metall-Schutzgasschweißen	MSG	13	Oberbegriff
Metall-Inertgasschweißen mit Massivdraht-elektrode	MIG	131	Inerte Schutzgase (Ar und Ar-He-Gemische)
Metall-Inertgasschweißen mit schweißpulvergefüllter Drahtelektrode	MIG	132	Inerte Schutzgase (Ar und Ar-He-Gemische)
Metall-Inertgasschweißen mit metallpulvergefüllter Drahtelektrode	MIG	133	Inerte Schutzgase (Ar und Ar-He-Gemische)
Metall-Aktivgasschweißen mit Massivdraht-elektrode	MAG	135	Argonreiche Mischgase oder 100% CO ₂
Metall-Aktivgasschweißen mit schweißpulvergefüllter Drahtelektrode	MAG	136	Argonreiche Mischgase oder 100% CO ₂
Metall-Aktivgasschweißen mit metallpulvergefüllter Drahtelektrode	MAG	138	Argonreiche Mischgase oder 100% CO ₂
CO ₂ - Schweißen	MAGC	/	Schutzgas 100% CO ₂
Mischgasschweißen	MAGM	/	Argonreiche Mischgase

Tabelle 2: Sonderschweißverfahren mit abschmelzender Drahtelektrode (Hochleistungsschweißverfahren: siehe Abschnitt 11)

Schweißverfahren	Kurz-zeichen	Kennzahl nach ISO 4063	Bemerkungen
Elektrogasschweißen	MSGG	73	Schweißen in senkrechter Position
Metall - Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas	MF	114	mit selbstschützenden Fülldrahtelektroden
Plasma-Metall-Schutzgasschweißen	MSGP	151	Plasma- und MSG-Lichtbogen in einem Brenner (Plasmalichtbogen konzentrisch angeordnet)

Der Prozess kann detailliert durch die Art des Werkstoffüberganges nach Tabelle 3 und die Anzahl der Drahtelektroden bezeichnet werden, siehe auch *Abschnitt 8, Punkt 8.3 und 8.4*.

Tabelle 3: Arten des Werkstoffübergangs

Art	Werkstoffübergang nach DIN EN ISO 4063
D	Werkstoffübergang im Kurzschluss
G	großtropfiger Werkstoffübergang
S	feintropfiger Werkstoffübergang
P	impulsgesteuerter Werkstoffübergang

Nachfolgend sind einige Beispiele einer vollständigen Bezeichnung für die Schweißprozesse aufgeführt.

- Metall-Aktivgasschweißen mit Massivdrahtelektrode ISO 4063 – 135
- Metall-Inertgasschweißen mit 2 Massivdrahtelektroden ISO 4063 – 131-2
- Metall-Inertgasschweißen mit Massivdrahtelektrode mit Werkstoffübergang im Kurzschluss ISO 4063 – 131-D

Das MSG-Schweißen kann teilmechanisiert mit von Hand geführtem Brenner, vollmechanisiert mit mechanisch geführten Brenner und automatisiert mit zusätzlicher mechanischer Werkstückhandhabung eingesetzt werden, *Kapitel 1.01, Abbildung 24*.

Das MIG/MAG-Schweißen wird mit Gleichstrom ausgeführt. Die Drahtelektrode ist hierbei \oplus gepolt und das Werkstück \ominus gepolt. Einige Fülldrähte, siehe auch *Kapitel 1.08.2*, werden auch mit umgekehrter Polung geschweißt. Für besondere Schweißaufgaben im unteren Leistungsbereich, z.B. MIG-Schutzgasschweißen sehr dünner AL-Bleche, können zur Reduzierung der Wärmeeinbringung auch angepasste Wechselströme zur Anwendung kommen.

2 Einsatzgebiete, Verbreitung des Verfahrens

Das MSG-Schweißen wird überall in der metallverarbeitenden Industrie, im Stahlbau, Schiffbau, Behälterbau und Fahrzeugbau in einem großen Wanddickenbereich der Bauteile eingesetzt. Neben den Stahlwerkstoffen un- und niedriglegiert, werden CrNi-Stähle, und NE-Werkstoffe wie Aluminium und Kupfer verbunden.

Abbildung 1 zeigt Anwendungsbeispiele aus der Praxis im Stahl- und Behälterbau. Abbildung 2 zeigt Anwendungsbeispiele aus dem Schiffbau. Abbildung 3 zeigt Beispiele aus dem Fahrzeugbau.



Abbildung 1: Anwendungsbeispiele des MSG-Schweißen im Stahl- und Behälterbau (Quelle Abicor Binzel)



Abbildung 2: Anwendungsbeispiele MSG-Schweißen aus dem Schiffbau (Quelle Abicor Binzel)



Abbildung 3: Anwendungsbeispiele MSG-Schweißen aus dem Fahrzeugbau (Quelle Abicor Binzel)

Das MSG-Löten kommt überwiegend für das Verbinden von Stählen mit dünnen Zinkauflagen zur Anwendung, siehe auch Abschnitt 14.2 und Kapitel 1.16.

Einige Anwendungsbeispiele der MIG/MAG-Prozesse in den unterschiedlichen Branchen sind nachfolgend dargestellt, wobei u.a. die Wirtschaftlichkeit und Leichtbau im Fokus stehen.

Im Schienenfahrzeug-, Schiffs- und Kraftfahrzeugbau kommt verstärkt der Werkstoff Aluminium zum Einsatz. Geschweißt wird im MIG-Prozess mit dem Impulslichtbogen. Karosserien im Fahrzeugbau aus verzinkten Blechen werden auch in Kombination mit anderen Schweißverfahren im MIG-Prozess gelötet, siehe Abbildung 4 und Abbildung 5.

Im mobilen Kran- und Baumaschinenbau werden dagegen zunehmend höherfeste Stähle verwendet. Der MAG-Prozess mit den verschiedenen Lichtbogenarten, die im Abschnitt „Prozessregelvarianten“ näher beschrieben werden, ist je nach Schweißposition und Bauteil- und Schweißfugengeometrie optimal anwendbar. Im Kessel-, Apparate- und Rohrleitungsbau werden die MAG-Prozesse, soweit möglich und anwendbar, die Prozesse 111 (Lichtbogenhandschweißen) ergänzen bzw. ersetzen. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, Verringerung des Nahtvolumens bei „dickwandigen“ Bauteilen, ist eine Kombination mit dem Prozess 121 (Unterpulverschweißen) im Einsatz. Der MAG-Prozess wird hierbei zum Schweißen der ersten Schweißlagen in den engen Schweißfugen eingesetzt, die mit dem Prozess 12 nicht schweißbar sind.



Abbildung 4: Anwendungsbeispiel MSG-Lötverbindungen im PKW-Karosseriebau (Quelle EWM)



Abbildung 5: Anwendungsbeispiel MIG-Aluminium-Schweißen im Schiffbau (Quelle EWM)



3 Aufbau einer MSG-Schweißanlage

In Abbildung 6 sind die Baugruppen einer MSG-Schweißanlage zu sehen. Diese sind im Einzelnen:

- Leistungsteil (Schweißgleichrichter oder elektronische Umrichter)
- Drahtfördereinheit (Drahtspulenaufnahme, Drahtfördermotor, Drahtförderrollen, Drahteinlauf und -auslaufdüsen)
- Schlauchpaket
- Schweißbrenner
- Kühleinrichtung für größere Lichtbogenleistungen
- Schutzgaseinrichtung
- Bedienungs- und Einstellelemente.

Die Struktur einer elektronischen MSG-Schweißanlage zeigt Abbildung 2.

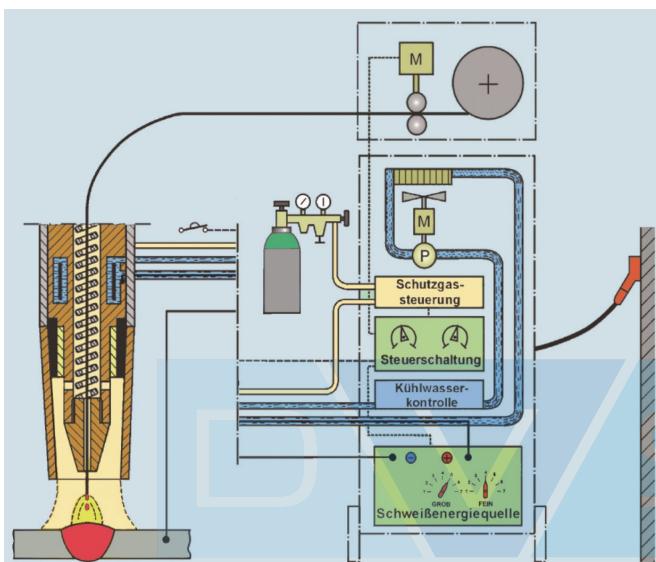


Abbildung 6: Aufbau einer MSG Schweißanlage

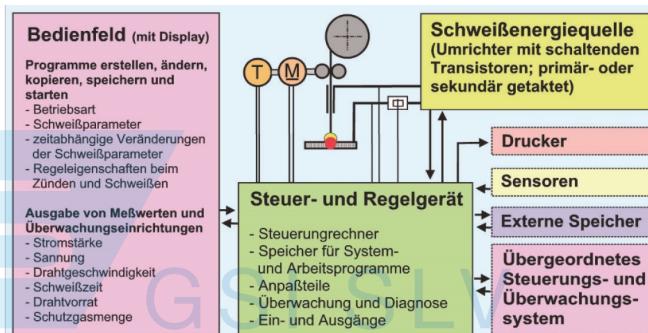


Abbildung 7: Struktur einer elektronischen MSG-Schweißanlage

Die Abbildung 7 zeigt die Struktur einer elektronischen Schweißanlage mit

- Schweißenergiequelle
- Bedienfeld
- Steuer- und Regeleinheit
- Übergeordnetes Steuerungs- und Überwachungssystem
- Drucker
- Sensoren
- Externe Speicher

3.1 Leistungsteil

Die Bauarten der Leistungsteile, die die Leistung aus dem Netz für die verschiedenen Prozessvarianten umrichten, enthält *Kapitel 1.04*.

Beim MSG-Schweißen mit konventionellen Schweißgleichrichtern (Kurzlichtbogen, Sprühlichtbogen) werden prinzipiell Schweißstromquellen mit Konstantspannungscharakteristik eingesetzt. Dabei hat die statische Kennlinie der Stromquelle im Bereich der Schweißwerte einen nahezu horizontalen Verlauf (Neigung 1 bis 5 V / 100 A). Die Einstellung der statischen Kennlinie und damit der Arbeitsspannung, erfolgt bei diesen Stromquellen durch Grob- und Feinstufenschalter (Windungsanzapfungen des Transformators), Abbildung 8.

Stromquellen mit stufenlos einstellbarer statischer Kennlinie ermöglichen eine stufenlose Einstellung der Arbeitsspannung, Abbildung 9.

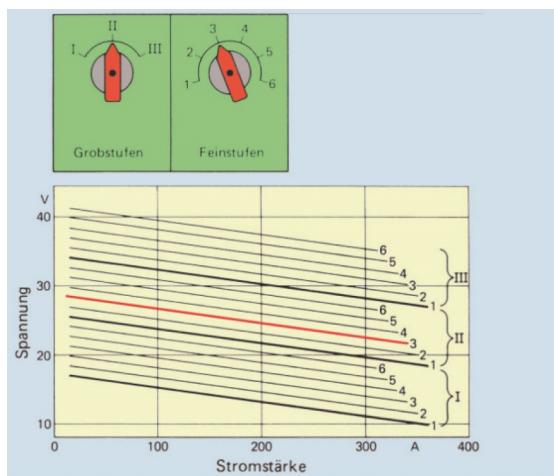


Abbildung 8: Einstellung der statischen Kennlinie bei Verwendung von Stromquellen mit Stufenschaltung.

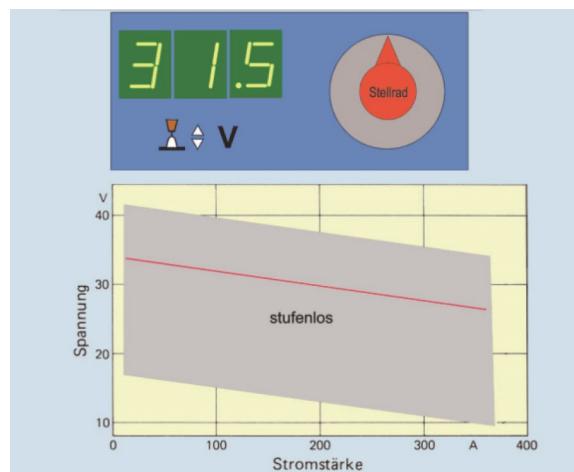


Abbildung 9: Einstellung der statischen Kennlinie bei Verwendung von elektronischen Stromquellen. Die Neigung der statischen Kennlinie ist variabel

3.2 Steuer- und Regeleinheit

Die Steuer- und Regeleinheit ist üblicherweise in die Stromquelle integriert. Beim teilmechanisierten (manuellen) Schweißen werden die Hauptfunktionen Schutzgaszufuhr, Drahtförderung und Schweißstromzufuhr durch eine Zweitakt- oder Viertakt-Schaltung (am Brenner) gesteuert. Die Definition dazu ist:

- **Zweitakt**-Schaltung – der Brennertaster ständig gedrückt.
- **Viertakt**-Schaltung – der Brennertaster wird nur zum Zünden und Beenden des Schweißvorganges betätigt. Der Gasbeschleuniger vor der Lichtbogenzündung und nach dem Lichtbogenabriß kann damit verlängert werden.

Beim vollmechanischen und automatischen Schweißen werden die Schweißabläufe durch eine externe Steuerung, z.B. von einem Roboter oder Fernregler getätigten.

Zusätzliche Steuerfunktionen, wie reduzierter Zündvorschub der Drahtelektrode bis kurz nach der Lichtbogenzündung und die Rückbrennzeit, können teilweise durch Voreinstellungen den zur Anwendung kommenden Lichtbogen- und Abschmelzleistungen angepasst werden.

Durch eine wählbare Rückbrennzeit wird nach dem Lichtbogenabriß ein „Festbrennen“ des Drahtendes im Endkrater vermieden, so wie die Resttropfengröße am Draht minimiert. Bei Stromquellen mit Leistungselektronik kann am Raupenabschluß häufig ein Finalimpuls geschaltet werden, um ein möglichst schlankes Drahtelektrodenende zu erzeugen. „Spitze“ Drahtelektroden erleichtern die Lichtbogenneuzündung.

Bei vollmechanisierten Schweißanlagen sowie beim MSG-Schweißen mit Impulslichtbogen werden Stromquellen mit Leistungselektronik (überwiegend sekundär- oder primärgetaktete Transistorstromquellen) eingesetzt. Der Raupenanfang und das Raupenende können bei geeigneter Programmausstattung vielfältig optimiert werden. Beispiele für das Raupenende zeigt Abbildung 10.

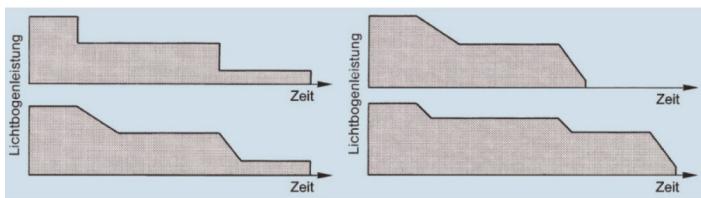


Abbildung 10: Variable Schweißparameter zur Verbesserung der Nahtqualität am Raupenende

3.3 Schlauchpaket und Schweißstromleitungen

In dem Schlauchpaket werden die Drahtelektrode, der Schweißstrom, das Schutzgas und bei wassergekühlten Brenner das Wasser zum Brenner geleitet. Die Drahtführung von un- und niedriglegierten Drahtelektroden erfolgt in einer Stahlspirale. Dagegen werden Drahtelektroden aus CrNi-Stahl, Aluminium und anderen Metallen in verschleißfesten Kunststoffschläuchen geführt. Die lichte Weite der Stahlspirale und des Kunststoffschlauches ist ca. 0,5-1 mm größer als der Drahtelektrodendurchmesser.

Prozesssteuerung vom Brenner aus ist je nach Hersteller mit oder ohne Signalleitungen im Schlauchpaket möglich. Bei gleichen Schweißaufgaben mit unterschiedlichen Schlauchpaketlängen, muss zur Erreichung desselben Schweißergebnisses eine Spannungskorrektur durchgeführt werden. Sollen gleiche Parameter zum Einsatz kommen, so kann bei unterschiedlichen Schlauchpaketlängen eine Spannungsangleichung direkt vor der Schweißaufnahme durch ein spezielles Programm, mit Kontaktieren der Stromkontakte und Werkstück, in der Stromquelle auf einfache Weise erfolgen, eine manuelle Anpassung ist nicht mehr erforderlich.

3.4 Drahtförderereinrichtung

Beim MSG-Schweißen wird die Drahtelektrode von der Spule abgezogen und von einer Drahtvorschubeinheit durch ein bis zu 5 Meter langes Schlauchpaket bis zum Stromkontakte im Brenner geschoben. In Abbildung 11 sind neben einfachen auch für größere Förderleistungen und druckempfindlichen Drahtelektroden mehrfach ausgestattete Drahtförderantriebe schematisch dargestellt. In der Regel werden Förderrollen aus gehärtetem Stahl verwendet, in die trapezförmige, bei weichen Drähten auch stumpfwinklige oder halbkreisförmige Nutvarianten (dem Drahtdurchmesser angepasst) eingearbeitet sind, Abbildung 12

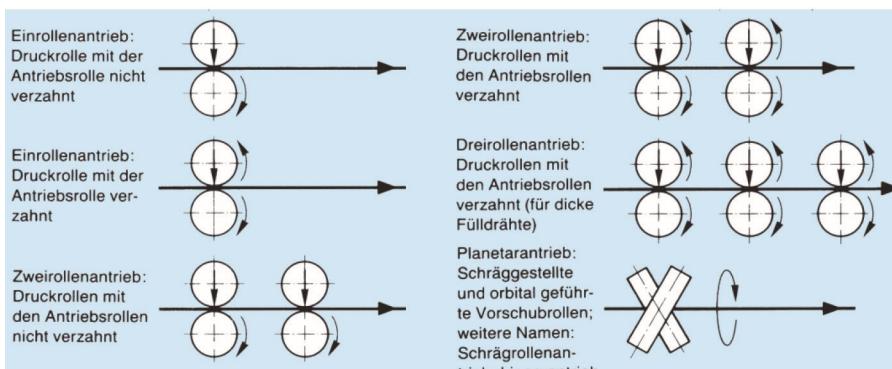


Abbildung 11: Varianten der Drahtförder- und Druckrollensysteme

Trapeznut	Halbrundnut glatt	Halbrundnut gerillt
Un-, niedrig, hochlegierte Massivdrähte Fe-, CrNi	Aluminium-, Bronzedrähte CuSi, CuAl	Massiv-, Fülldrähte, große Drahdurchmesser CrNi

Abbildung 12: Nutformen an Förderrollen

Die Schlauchpaketlänge sollte an dem Einsatz und der Zugänglichkeit der Schweißaufgabe angepasst werden. Schlauchpakte bis etwa 5 m Länge können bei Stahldrähten ab 1,2 mm Drahtelektrodendurchmesser noch verwendet werden. Bei geringeren Drahtelektrodendurchmessern oder Drähten (z.B. Al-Werkstoffen) ist bei längeren Förderwegen ein Zusatzantrieb im Brenner oder zwischen Brenner und Stromquelle zu empfehlen, Abbildung 13.

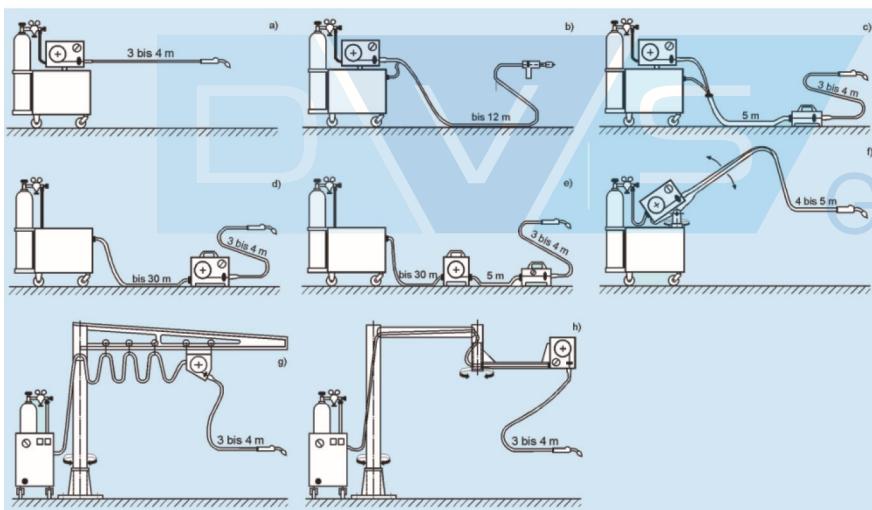


Abbildung 13: Drahfördereinrichtungen und Varianten zur Verbesserung der Drahfördergleichmäßigkeit und Vergrößerung des Arbeitsraumes.

Das Stromkabel im Schlauchpaket ist bei hohen Strömen wassergekühlt. Das Kupferkabel ist von einem Schlauch umgeben, das mit dem zurücklaufenden Kühlwasser vom Brenner gekühlt wird. Dadurch kann der Kabelquerschnitt und somit auch das Gewicht des Schlauchpaketes geringer gehalten werden. Kleinere Kabelquerschnitte vergrößern allerdings den Spannungsabfall und die Verlustleistung im Schlauchpaket.

Eine Möglichkeit, den Draht direkt aus einem großen Gebinde (Fass) nahezu reibungslos über weite Strecken mit empfohlenen Förderlängen von 25 Meter mit nur einem Antrieb bis zum Prozess zu bringen, bietet das rollengeführte Fördersystem. Es besteht aus einzelnen Kunststoffsegmenten, die sich um 360° drehen lassen und innen über 4 Rollen pro Segment verfügen, Abbildung 14. Alle Drahdurchmesser und Drahtarten lassen sich somit „rollend“ fördern.

Die höheren Kosten für dieses Drahtförderersystem stehen Vorteile wie

- hohe Lebensdauer
- wartungsfreies und wenig störanfälliges Gesamtsystem
- für alle Schweißprozesse mit Drahtzufuhr geeignet
- Drahtförderung bei „engen Radien“

gegenüber.



Abbildung 14: Rollengeführtes Fördersystem, 4-Rollensegmente (Quelle Abicor Binzel)

3.5 MSG-Schweißbrenner

Ein MSG-Schweißbrenner besteht im Wesentlichen aus einem Brennerkörper, Stromkontakte, einer Schutzgasdüse und beim teilmechanisierten Schweißen einem Handgriff mit integriertem Schalter für die Prozesssteuerung. Je nach Einschaltdauer und maximaler Stromstärke kommen wasser- bzw. gasgekühlte Brenner zum Einsatz, Abbildung 15.

Schweißaufgaben mit unterschiedlichen Schweißpositionen, Schweißprozessen erfolgen mit angepassten Schweißparameter. Die Anwahl der erforderlichen Programme/Parameter oder Korrekturen von Schweißstrom, Drahtgeschwindigkeit und Schweißspannung, können Funktionsbrenner direkt übernehmen, Abbildung 16. Der Weg zum Bedienfeld der Stromquelle entfällt hierdurch.

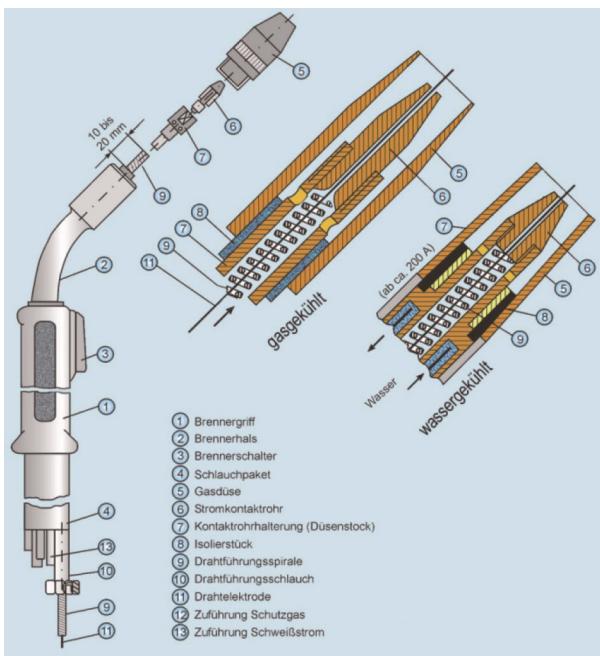


Abbildung 15: Schemen von MSG-Schweißbrennern in gas- und wassergekühlter Ausführung für das teilmechanisierte Schweißen.



Abbildung 16: Funktionsbrenner, Tastatur (Quelle EWM)

Das Stromkontakte überträgt den Schweißstrom auf die geführte Drahtelektrode. Die Bohrung im Stromkontakte sind bei Stahl etwa 0,2 mm und bei Aluminium etwa 0,4 mm größer als der Drahdurchmesser. Als Werkstoff kommen E-Cu-, CuCr-, CuCrZr-Werkstoffen, oder CuCoBe-Legierungen zum Einsatz. E-Cu hat gute elektrische Eigenschaften, verschleißt aber bei mechanischer Beanspruchung schneller. Härtere und warmfestere Kontaktrohrwerkstoffe (es werden auch solche aus Sonderwerkstoffen wie WCu oder WAg angeboten) haben einen geringeren mechanischen Abrieb, verschleißt aber durch elektroerosive Vorgänge.

Zwangskontaktierende Stromkontakte verbessern im Allgemeinen die Stromeinleitung in die Drahtelektrode, Abbildung 17. Die zu erwartenden Verbesserungen sind häufig nicht befriedigend und daher haben sie sich in der Praxis nicht bewährt.

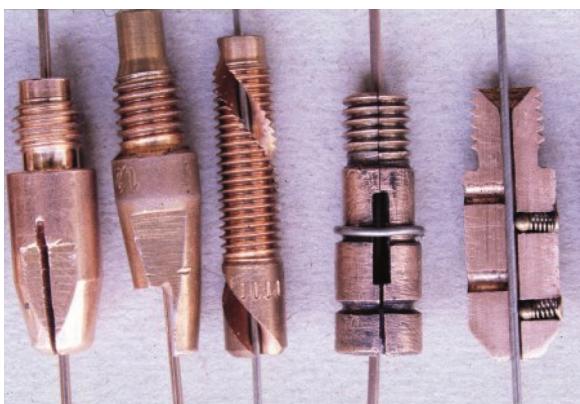


Abbildung 17: Beispiele von zwangskontaktierenden Stromkontaktrohren.

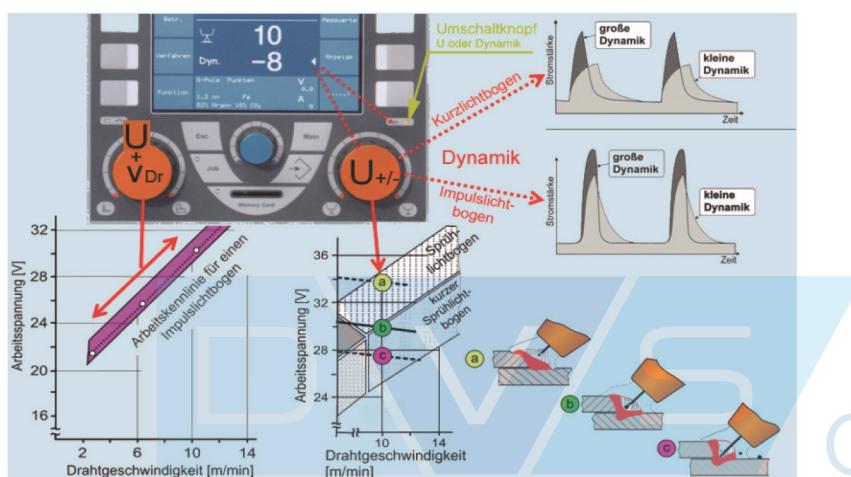
3.6 Bedienungs- und Einstellelemente

Für das Einstellen des Lichtbogens und des Werkstoffübergangs an konventionellen Schweißanlagen sind nur zwei bzw. drei Einstellgrößen notwendig. Die Einstellgrößen sind Strom und Spannung. Die Spannung wird je nach Stromquellentyp über Stufenschalter oder stufenlos eingestellt, Abbildung 6 und Abbildung 7.

Die bei hochwertigeren Schweißanlagen vorhandene dritte Einstellgröße ist die Drossel, (Induktivität im Schweißstromkreis), die den Werkstoffübergang mit Kurzschlüssen und die Lichtbogenerstzündung beeinflusst.

Das einfache übersichtliche Bedienfeld einer elektronischen Schweißanlage bietet Einstellmöglichkeiten für gespeicherte Programme, Anzeigen der wichtigsten Schweißparameter, sowie Einstell- und

Korrekturelemente an Lichtbogen- und Abschmelzleistung, Lichtbogenlänge und Beeinflussung dynamischer Parameterveränderungen, Abbildung 18.



GSI SLV

Abbildung 18: Bedienfeld einer elektronischen Schweißanlage mit einem Stellrad für die Lichtbogen- und Abschmelzleistung ($U + v_{Dr}$ im Bild, Synergiekennlinie) und einem Stellrad für die Korrektur der Lichtbogenlänge und dynamischen Eigenschaften (z. B. Stromänderungsgeschwindigkeiten, Impulsstrom, ...)

Bei elektronisch gesteuerten Schweißanlagen sind unterschiedliche Konzepte üblich. Fast immer zeigt ein kleiner Bildschirm die Einstelldaten an. Mit entsprechenden Bedienungselementen können auf diesem Display öfter unterschiedliche Menüebenen aufgerufen werden.

Alle Hersteller von elektronischen Schweißanlagen bieten im Gerät abgespeicherte Einstelldaten und Regelstrukturen an. Für Sonderbedingungen können Programme nachgeladen werden. Dies kann das Wählen der richtigen Einstelldaten erleichtern.

4 Lichtbogenlängenregelung beim MSG-Schweißen

Um einen gleichmäßigen Werkstoffübergang und gleichmäßige Raupenqualität zu erzielen, muss die mittlere Lichtbogenlänge möglichst konstant gehalten werden. Bei Stromquellen mit kleiner Neigung der statischen Kennlinie geschieht dies durch einen inneren Selbstausgleich. Die Stromquellen mit Konstantspannungs-Kennlinien haben den Vorteil, dass Änderungen der Lichtbogenlänge und somit des Lichtbogenwiderstandes nur eine geringe Spannungsänderung aber größere Stromänderungen hervorrufen, Abbildung 19 Diese selbstständige Korrektur der Lichtbogenlänge durch Stromänderungen nennt man "Innere Regelung" oder " ΔI -Regelung", siehe auch Kapitel 1.04.

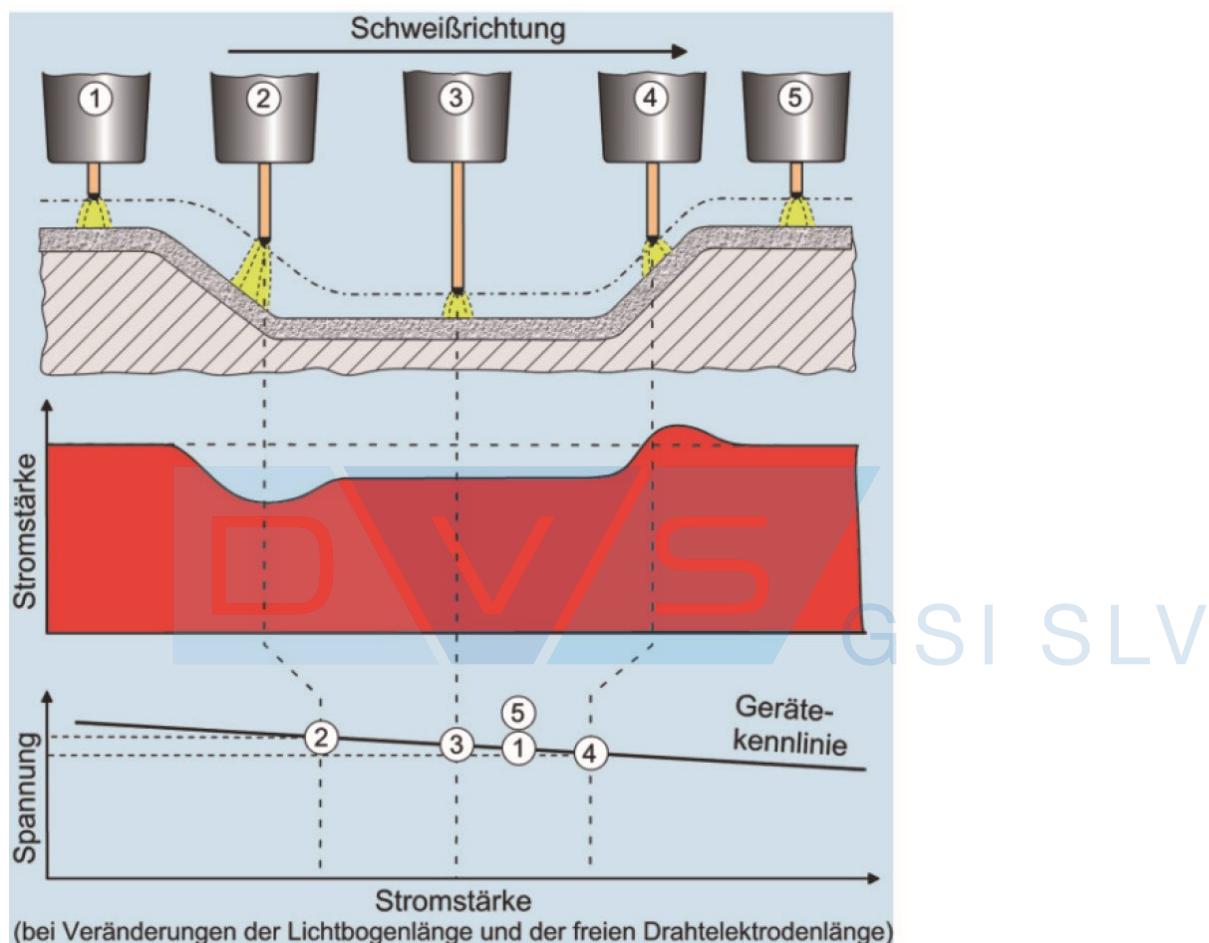


Abbildung 19: Korrektur der Lichtbogenlänge beim Überschweißen einer trapezförmigen Vertiefung durch Widerstands- und Stromstärkeänderungen (innere Regelung, ΔI -Regelung, innerer Selbstausgleich durch Konstantspannungskennlinie).

5 Schweißzusatzwerkstoffe und Schutzgase

5.1 Drahtelektroden/Massivdrähte

Drahtelektroden für das MSG-Schweißen sind auf Spulenkörper aufgewickelt. Je nach Einsatz haben diese Spulenkörper ein Gewicht von 1 kg bis einige 100 kg. Neben Großspulen werden auch gespulte Drähte in Fässern hergestellt, aus denen dann der Draht durch eine Vorrichtung abgezogen wird.

Die gebräuchliche Drahtelektrodendurchmesser sind: (0,6); 0,8; (0,9); 1,0; 1,2; (1,4); 1,6 [mm].

Der Drahtdurchmesser 0,9 mm wird häufig in der Automobilfertigung eingesetzt. Die Fülldrähte mit einem Drahtdurchmesser von 1,6 bis 3,2 mm werden üblicherweise zum Auftragsschweißen eingesetzt, dagegen die Massivdrähte seltener, da größere Kräfte im Lichtbogenbereich auftreten und die Lichtbogenzündung schwieriger ist.

Um den Schweißstrom im Kontaktrohr auf den Draht zu übertragen, werden an die Drahtoberfläche hohe Anforderungen gestellt. Drähte für unlegierte, warmfeste und hochfeste Stähle sind deshalb meistens mit einer dünnen Kupferschicht überzogen.

Nichtrostende und hitzebeständige Stähle dürfen nicht verkupfert werden. Eine schlechtere, elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit dieser Werkstoffe erschweren daher die Stromübertragung. Drahtförderstörungen bis zum Festbrennen der Drahtelektrode im Kontaktrohr sind bei manchen Drahtelektrodenqualitäten nicht zu vermeiden.

Die Drahtelektroden für die wichtigsten Werkstoffe sind genormt und sind in Tabelle 4, Massivdrahtelektroden, aufgeführt. Fülldrahtelektroden werden *in Kapitel 1.08.2* behandelt.

Tabelle 4: Massivdrahtelektroden für das MIG/MAG-Schweißen

Norm Nummer	Titel
DIN EN ISO 14341	Schweißzusätze – Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen – Einteilung
DIN EN ISO 1071	Schweißzusätze – Umhüllte Stabelektroden, Drähte, Stäbe und Fülldrahtelektroden zum Schmelzschweißen von Gusseisen – Einteilung
DIN EN ISO 21952	Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgasschweißen von warmfesten Stählen – Einteilung
DIN EN ISO 14343	Schweißzusätze – Drahtelektroden, Bandelektroden, Drähte und Stäbe zum Schmelzschweißen von nicht rostenden und hitzebeständigen Stählen – Einteilung
DIN EN ISO 16834	Schweißzusätze – Drahtelektroden, Drähte, Stäbe und Schweißgut zum Schutzgasschweißen von hochfesten Stählen – Einteilung
DIN EN ISO 18273	Schweißzusätze – Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen – Einteilung
DIN EN ISO 18274	Schweißzusätze – Massivdrähte, -bänder und -stäbe zum Schmelzschweißen von Nickel- und Nickellegierungen – Einteilung
DIN EN ISO 24373	Schweißzusätze – Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Kupfer und Kupferlegierungen – Einteilung

Die Norm EN ISO 14341, Schweißzusätze-Drahtelektroden und Schweißgut zum Metall-Schutzgasschweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen-Einteilung, liefert eine Einteilung zur Bezeichnung von Drahtelektroden nach ihrer Chemischen Zusammensetzung, nach der Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung des reinen Schweißgutes.

Abschnitte und Tabellen, gekennzeichnet durch ein nachgestelltes „A“ können nur für Drahtelektrodenan-

gewendet werden, die nach der **Streckgrenze** und der durchschnittlichen Kerbschlagarbeit von 47 J des reinen Schweißgutes eingeteilt werden. Abschnitte und Tabellen, gekennzeichnet durch ein nachgestelltes „B“ können nur für Drahtelektrodenangewendet werden, die nach der **Zugfestigkeit** und der durchschnittlichen Kerbschlagarbeit von 27 J des reinen Schweißgutes eingeteilt werden.

Abschnitte und Tabellen, die kein nachgestelltes „A“ oder „B“ enthalten, sind für alle nach dieser Norm eingeteilten Drahtelektroden anwendbar

Für das Schweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen werden Drahtelektroden nach EN ISO 14341, Tabelle 5 eingesetzt.

Tabelle 5: Drahtelektroden und Schweißgut zum MSG-Schweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen nach EN ISO 14341 (Auszüge)

ISO 14341-A - G 46 5 M21 3Si1											
Metall-Schutzgasschweißen				Kurzzeichen für die chemische Zusammensetzung für Drahtelektroden (Auszug)							
Kennziffer	Mindeststreckgrenze N/mm²	Zugfestigkeit N/mm²	Mindestbruchdehnung %	Chemische Zusammensetzung							
				O	Jede andere vereinbare Zusammensetzung						
35	355	440-570	22	2Si	0,06 – 0,14	0,5 – 0,8	0,9 – 1,3	0,15	0,15	0,02	0,15
38	380	470-600	20	3Si1	0,06 – 0,14	0,7 – 1,0	1,3 – 1,6	0,15	0,15	0,02	0,15
42	420	500-640	20	4Si1	0,06 – 0,14	0,8 – 1,2	1,6 – 1,9	0,15	0,15	0,02	0,15
46	460	530-680	20	3Si2	0,06 – 0,14	1,0 – 1,3	1,3 – 1,6	0,15	0,15	0,02	0,15
50	500	560-720	18	2Ti	0,04 – 0,14	0,4 – 0,8	0,9 – 1,4	0,15	0,15	0,05 – 0,2	0,05 – 0,25
Kennzeichen für die Kerbschlagarbeit des reinen Schweißgutes				3Ni1	0,06 – 0,14	0,5 – 0,9	1,0 – 1,6	0,8 – 1,5	0,15	0,02	0,15
Kennzeichen für die Temperatur für die Mindestkerbschlagarbeit von 47 J °C				2Ni2	0,06 – 0,14	0,4 – 0,8	0,8 – 1,4	2,1 – 2,7	0,15	0,02	0,15
Z A oder Y		keine Anforderungen +20		2Mo	0,08 – 0,12	0,3 – 0,7	0,9 – 1,3	0,15	0,4 – 0,6	0,02	0,15
0		0		4Mo	0,06 – 0,14	0,5 – 0,8	1,7 – 2,1	0,15	0,4 – 0,6	0,02	0,15
2		-20		2Al	0,08 – 0,14	0,3 – 0,5	0,9 – 1,3	0,15	0,35 – 0,75	0,15	0,15
3		-30									
4		-40									
5		-50									
6		-60									

Kennzeichen für Schutzgase nach DIN EN ISO 14175

Die Bezeichnung der Drahtelektrode muss dem Prinzip des nachfolgenden Beispiels folgen. Ein mit dem Metall-Schutzgasschweißen hergestelltes Schweißgut besitzt eine Mindeststreckgrenze von 460 MPa (46) und eine durchschnittliche Mindestkerbschlagarbeit von 47 J bei -50°C (5). Eingesetzt wurde ein Mischgas (M21) und eine Drahtelektrode 3Si1. Die Bezeichnung ist wie folgt:

ISO 14341-A-G 46 5 M21 3Si1

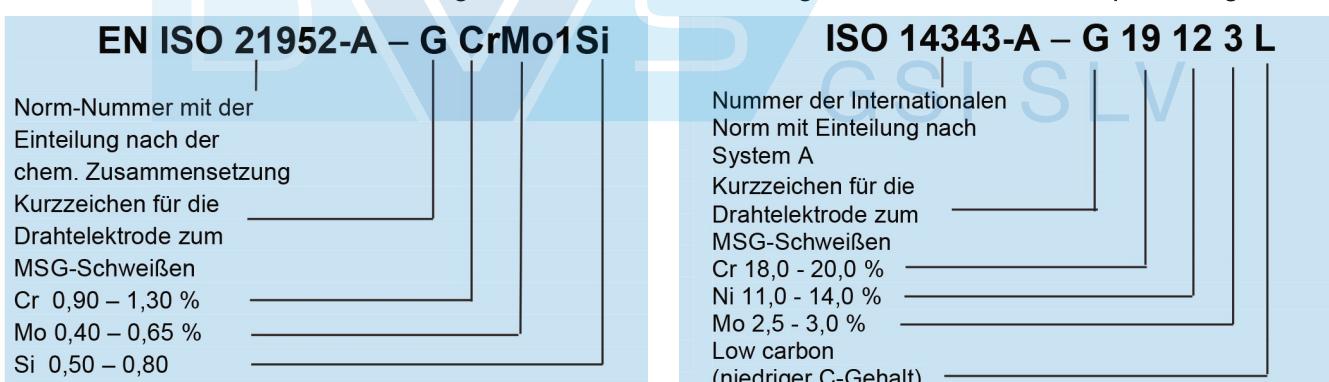
- ISO 14341-A Nummer dieser Norm, Einteilung nach Streckgrenze und Kerbschlagarbeit von 47
- G Drahtelektrode und/oder Schweißgut
- 46 Festigkeit und Bruchdehnung
- 5 Kerbschlagarbeit
- M21 Schutzgas
- 3Si1 chemische Zusammensetzung der Drahtelektrode

In Tabelle 6 sind einige Drahtelektrotypen und deren Anwendung gemäß DIN EN ISO 14341 aufgeführt.

Tabelle 6: Anwendungsbereiche der Drahtelektroden nach EN ISO 14341

Typ 2Si	zum Schweißen von Baustählen unter schwach oxidierenden argonreichen Mischgasen der Gruppen M12 bis M14 nach DIN EN ISO 14175.
Typ 3Si1-	zum Schweißen von Baustählen unter argonreichen Mischgasen der Gruppen M12 bis M27 nach DIN EN ISO 14175. Beim Schweißen mit Mischgasen aus der Hauptgruppe M3 oder CO ₂ vermindert sich die Streckgrenze und Schweißgutähigkeit (Tabelle 5-2).
Typen 4Si1 und 3Si2	zum Schweißen von Baustählen unter Mischgasen der Gruppen M2, M3 oder C1 nach DIN EN ISO 14175.
Typ 2Ti	Dieser Drahtelektrodentyp weist einen gegenüber anderen Sorten deutlich höheren Anteil an Titan auf. Das Element führt im Stahl zu Feinkörnigkeit. Der Anwendungsbereich der Drahtelektrode ist deshalb beim Schweißen von Feinkornbaustählen zu suchen.
Typen 3Ni1	Der erhöhte Nickelgehalt der Drahtelektroden bewirkt eine Erhöhung der Zähigkeit, besonders bei niedrigen Temperaturen. Der Einsatz dieser Typen ist zu empfehlen, wenn tieftemperaturzähe Stähle zu schweißen sind oder hohe Zähigkeitswerte im Schweißgut verlangt werden.
Typen 2Mo und 4Mo	Durch das Zu Legieren von Molybdän wird die Warmstreckgrenze erhöht. Diese Drahtelektroden sind zu verwenden, wenn Stähle wie 16Mo3 zu schweißen sind.

Einen vergleichbaren Aufbau haben die Normen EN ISO 21952 für warmfeste Stähle und EN ISO 14343 für nichtrostende und hitzebeständige Stähle. In den Abbildungen 14 und 15 sind Beispiele aufgeführt.


Abbildung 20: Links Beispiel für eine Drahtelektrode, die für den Werkstoff 13CrMo4-5 eingesetzt wird, Rechts - Beispiel für eine Drahtelektrode, die für den Werkstoff X2CrNi19-11 eingesetzt wird

5.2 Schutzgase

Schutzgase sind notwendig, um die heiße Drahtelektrode, den Werkstoffübergang im Lichtbogen, das Schweißbad, die abkühlende Raupe und gegebenenfalls die Rückseite der Naht vor Oxidation und unerwünschter Gasaufnahme aus der Luft zur Vermeidung von Poren und/oder Versprödungen zu schützen. Je nach Werkstoff, Prozessvarianten, Werkstoffübergangsarten, zulässiger Schlackenmenge auf der Raupe und Anforderungen an das Raupenprofil, werden Schutzgase unterschiedlicher Zusammensetzung eingesetzt. Schutzgase sind unterschiedlich gute Wärmeleiter bei den Temperaturen, die im Lichtbogen auftreten, Abbildung 21. Der Wärmeinhalt von mehratomigen Gasen ist durch die Energieaufnahme bei der thermischen Dissoziation größer als der von einatomigen Gasen, Abbildung 22.

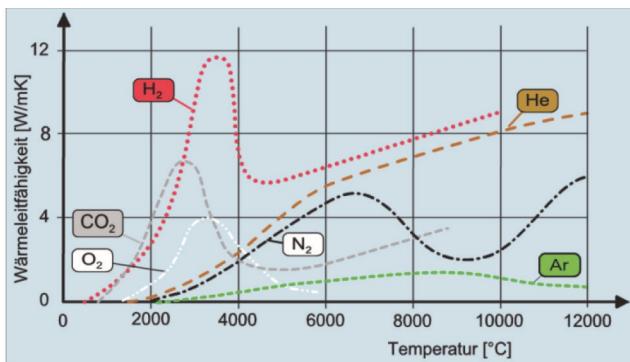


Abbildung 21: Wärmeleitfähigkeit von Gasen bei unterschiedlichen Temperaturen

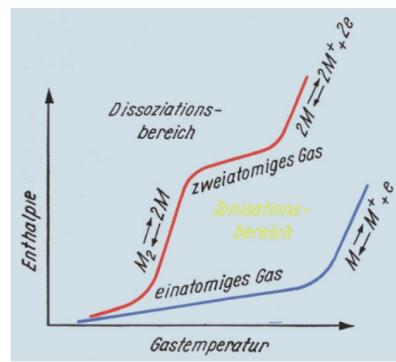


Abbildung 22: Wärmeinhalt von ein- und zweiatomigen Gasen in Abhängigkeit von der Temperatur

5.2.1 Der Lichtbogen beim Schweißen von Stählen und NE-Metallen

5.2.1.1 Der Lichtbogen unter Argon bzw. argonreichen Mischgasen

Das Drahtelektrodenende bietet sofort nach der Lichtbogenzündung nur eine begrenzte Fläche für den Lichtbogenansatz. Die Temperatur an dieser Stelle liegt etwas über dem Verdampfungspunkt von Stahl. Bei dieser Temperatur reicht die thermische Leitfähigkeit des Argons nicht aus, um die Lichtbogenhülle stark zu kühlen und dadurch den Lichtbogen mit großem Metalldampfanteil einzuschnüren. Der Lichtbogen kann deshalb an der Mantelfläche des Drahtes hochsteigen. Dieses Hochsteigen beeinflusst entscheidend den Werkstoffübergang bei Argon und argonreichen Mischgasen, Abbildung 23. Das Drahtende wird durch den Lichtbogenansatz über einen größeren Bereich auch von außen nach innen erwärmt. Die Pinchkraft, die Kräfte durch die Metalldampfbildung und die Oberflächenspannung können dadurch wirksam werden. Diese Kräfte schnüren das flüssige Drahtende ein und beschleunigen den Schmelzefaden, so dass bei ausreichender Stromstärke und Lichtbogenlänge kleine Tropfen in das Schweißbad übergehen. Der sehr heiße Tropfenstrahl bewirkt den fingerförmigen Einbrand in der Raupenmitte. Fälschlicherweise wird dieser Effekt häufig als „Argon-Finger“ bezeichnet. Nach der Zündphase des Lichtbogens ist entlang der Lichtbogenachse die Stromdichte und Pinchkraft unterschiedlich. Die dadurch entstehenden Druckunterschiede erzeugen im Lichtbogen eine Strömung in Richtung Schweißbad. Kälteres Argon strömt nach (Kaltgasströmung) und fördert dadurch die Begrenzung des Lichtbogenquerschnitts.

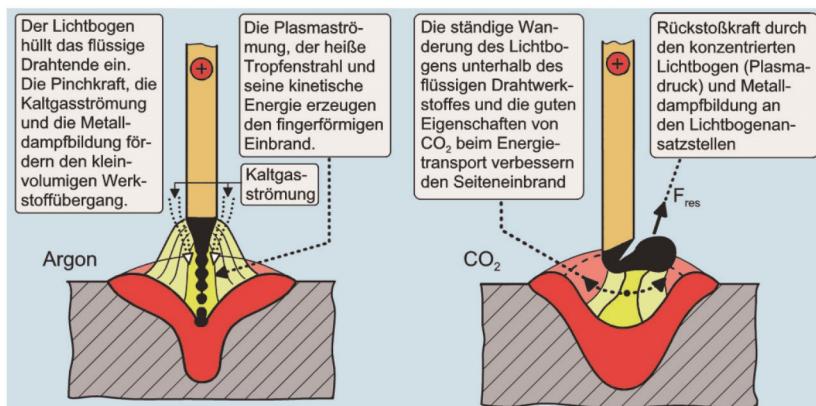


Abbildung 23: Lichtbogenansatzstellen bei Argon und Mischgasen mit geringen CO₂-Anteilen (Sprühlichtbogen) im Vergleich zu 100% CO₂ (Langlichtbogen)

5.2.1.2 Der Lichtbogen unter reinem CO₂

Im Vergleich zum Argon-Lichtbogen wird bei 100% CO₂ und argonreichen Mischgasen mit mehr als 25 % CO₂ im Lichtbogenbereich an der Lichtbogenhülle eine größere Kühlung wirksam. CO₂ dissoziiert bei höheren Temperaturen (beginnend bei ca. 1600 °C). Besonders durch die Wärmeaufnahme beim Dissoziieren werden die Wärmeleitfähigkeit und der Wärmeinhalt dieses Gases gesteigert. Die Kühlwirkung durch CO₂ an der Lichtbogenhülle ist im Vergleich zu Argon stärker und schnürt daher den Lichtbogen und die Lichtbogenansatzstellen mehr ein. Dadurch erwärmt sich das Drahtende nur in einem kurzen Bereich, Abbildung 23 rechts. Damit ist das Ende der Drahtelektrode immer heißer, als eine Stelle (z.B. 3 mm) knapp oberhalb vom Drahtelektrodenende.

Die Pinchkraft kann dort durch die niedrigere Temperatur des Drahtes nicht wirksam werden, um eine Einschnürung zu bewirken und kleine Tropfen abzulösen. Außerdem erzeugen der komprimierte Lichtbogen und die Metalldampfbildung an den Lichtbogenansatzstellen Rückstoßkräfte, die den Werkstoffübergang hemmen und meistens asymmetrisch auslenken. Das U-förmige Einbrandprofil beim Schweißen mit CO₂ wird durch seine gute Wärmeleitfähigkeit, die Wiedervereinigung von CO und O (mit Energieabgabe) nahe der Schweißbadoberfläche, die höhere Arbeitsspannung im Vergleich zu Argon und durch das ständige Wandern der Lichtbogenansatzstellen erzeugt Abbildung 23. Erst wenn die aufgestaute Drahtmasse groß genug ist, erfolgt der Werkstoffübergang je nach effektiver Lichtbogenlänge mit oder ohne Kurzschluss. Abbildung 24 zeigt einen kurzschlussfreien Werkstoffübergang bei ausreichender Lichtbogenlänge. Bei Werkstoffübergängen mit Kurzschlüssen müssen zur Spritzerreduzierung bei der Lichtbogenwiederzündung die teils hohen Kurzschlussströme mit elektrischen oder elektronischen Maßnahmen gedämpft werden.



Abbildung 24: Großvolumiger Werkstoffübergang beim Schweißen mit CO₂ (Langlichtbogen)

5.2.2 Einteilung und Besonderheiten verschiedener Schutzgase zum MAG-Schweißen

Die Schutzgase sind in DIN EN ISO 14175 genormt. Tabelle 7 enthält eine Einteilungsübersicht aus dieser Norm. Mit der Verwendung von Haupt- und Untergruppen können alle Gassorten mit wenigen Zeichen benannt werden. Die Norm enthält keine Angaben über das chemische Verhalten der Gase und deren Lösungsmöglichkeiten in Schweißgütern. Auch Anwendungsempfehlungen für Schweißaufgaben fehlen.

Tabelle 7: Einteilung der Prozessgase zum Verbindungsschweißen und für verwandte Prozesse, Auszug aus EN ISO 14175.

Symbol		Komponenten in Volumenprozent (nominell)						Chem. Verhalten der Gruppen
Haupt- gruppe	Unter- gruppe	oxidierend		inert		redu- zierend	reaktions- träge	
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂	
I	1			100				inert
	2				100			
	3			Rest	> 0,5 bis 95			
M1	1	> 0,5 bis 5		Rest ^a		> 0,5 bis 5		schwach
	2	> 0,5 bis 5		Rest ^a				
	3		> 0,5 bis 3	Rest ^a				
	4	> 0,5 bis 5	> 0,5 bis 3	Rest ^a				
M2	0	> 5 bis 15		Rest ^a				oxi- dierend
	1	> 15 bis 25		Rest ^a				
	2		> 3 bis 10	Rest ^a				
	3	0,5 bis 5	> 3 bis 10	Rest ^a				
	4	> 5 bis 15	0,5 bis 3	Rest ^a				
	5	> 5 bis 15	> 3 bis 10	Rest ^a				
	6	> 15 bis 25	0,5 bis 3	Rest ^a				
M3	7	> 15 bis 25	> 3 bis 10	Rest ^a				stark
	1	> 25 bis 50		Rest ^a				
	2		> 10 bis 15	Rest ^a				
	3	> 25 bis 50	> 2 bis 10	Rest ^a				
	4	> 5 bis 25	> 10 bis 15	Rest ^a				
C	5	> 25 bis 50	> 10 bis 15	Rest ^a				redu- zierend
	1	100						
R	2	Rest	> 0,5 bis 30					reaktions- träge
	1			Rest ^a		> 0,5 bis 15		
	2			Rest ^a		> 15 bis 50		redu- zierend
N	1						100	
	2			Rest ^a			> 0,5 bis 5	
	3			Rest ^a			> 5 bis 50	
	4			Rest ^a		> 0,5 bis 10	> 0,5 bis 5	
	5					0,5 bis 50	Rest	
O			100					Diese Spalte ist nicht Bestand- teil der Norm
Z	Mischgase mit Komponenten, die nicht in der Tabelle aufgeführt sind oder Mischgase mit einer Zusammensetzung außerhalb der angegebenen Bereiche.							

^a Für diese Einteilung darf Argon teilweise oder vollständig durch Helium ersetzt werden.

^b Zwei Mischgase mit der selben Z-Einteilung dürfen nicht gegen einander ausgetauscht werden.

Beim MAG-Schweißen von Stählen kommen neben CO_2 sehr häufig argonreiche Mischgase (z. B. Ar + CO_2 , Ar + O_2 , Ar+ CO_2 + O_2 , Ar + He + CO_2) zur Anwendung. Die große Affinität des Sauerstoffes zu den meisten Elementen in den zu schweißenden Werkstoffen bewirkt je nach Sauerstoffmenge bei den gegebenen Temperaturen eine rasche Bildung von Oxiden, die weitgehend auf der Schweißraupe ausgeschieden werden. Mit zunehmenden Oxidationsgrad, von M1 über M2 nach M3 oder C1, als Haupt- oder Untergruppe des Schutzgases, nehmen die Abbrandverluste und damit die mechanisch-technologischen Eigenschaften des Schweißgutes ab. Mit steigendem Oxidationsgrad nehmen in der Regel Streckgrenze, Dehnung und Zähigkeit ab. In den Katalogen für die Zusatzwerkstoffe sind deshalb die Schweißguteigenschaften nach EN ISO 14341 grob nach dem Oxidationsgrad (C und M) eingeteilt. Bei geringen Oxidationsgraden (M) werden die mechanisch-technischen Eigenschaften der Schweißnaht besser, mit steigendem Oxidationsgrad steigt auch die Menge der sich bildenden Spritzer.

Die Einflüsse der Schutzgaszusammensetzung beim MAG-Schweißen auf das Raupenprofil und die Beschaffenheit der Raupenoberfläche zeigt Abbildung 25, eine Zusammenfassung der Eigenschaften von Schutzgasen sind in der Tabelle 8 gegenübergestellt.

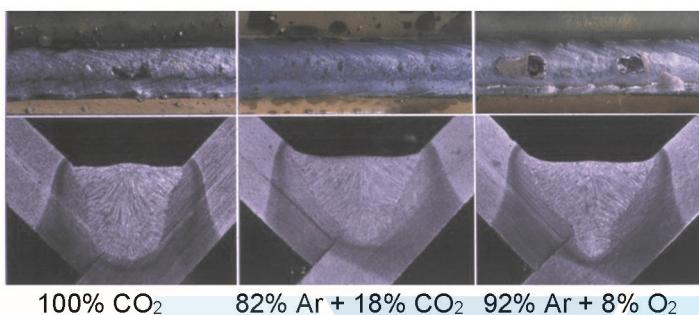


Abbildung 25: Einflüsse der Schutzgaszusammensetzung auf das Einbrandprofil und Ablagerungen von Oxiden (Schlacke) auf der Raupe

Tabelle 8: Zusammenfassung der Eigenschaften von Schutzgasen für unlegierte Stähle und Feinkornbaustähle (mittlerer Bereich der Abschmelzleistung).

Kriterien Schutzgas	Spritzer- menge	mech.-techn. Eigen- schaften	Einbrandprofil	Silikatablagerun- gen (Schlacke)
M1				
M2				
M3				
C1	zunehmend	abnehmend	zunehmend	zunehmend

Beim Schweißen von CrNi-Stählen wird zur Vermeidung von Kohlenstoffzubrand der CO_2 -Anteil in Mischgasen meistens auf 2-3% begrenzt. Argon- O_2 -Gemische (1-3%) ergeben größere Oxidmengen auf der Raupe. In Sondergasen wird beim Schweißen von CrNi-Stählen und Nickelbasiswerkstoffen ein Teil des Argons durch Helium ersetzt (weniger Oxide auf der Raupe und höhere Schweißgeschwindigkeiten möglich).

Beim MIG-Schweißen von Aluminium und seinen Legierungen kommen aus metallurgischen Gründen nur Schutzgase der Gruppe I1, I2 und I3 zum Einsatz, siehe auch Kapitel 2.20, Tabelle 30. Die Vorteile von heliumhaltigen Schutzgasen gegenüber Argon sind

- Verbesserung der Nahtgeometrie (breiter, tiefer), Abbildung 26
- höhere Schweißgeschwindigkeit
- geringe Porenbildung, Abbildung 27
- Reduzierung des Vorwärmmaufwandes bzw. Zwischenwärmern bei dickwandigen Al-Bauteilen, siehe auch Kapitel 2.20.

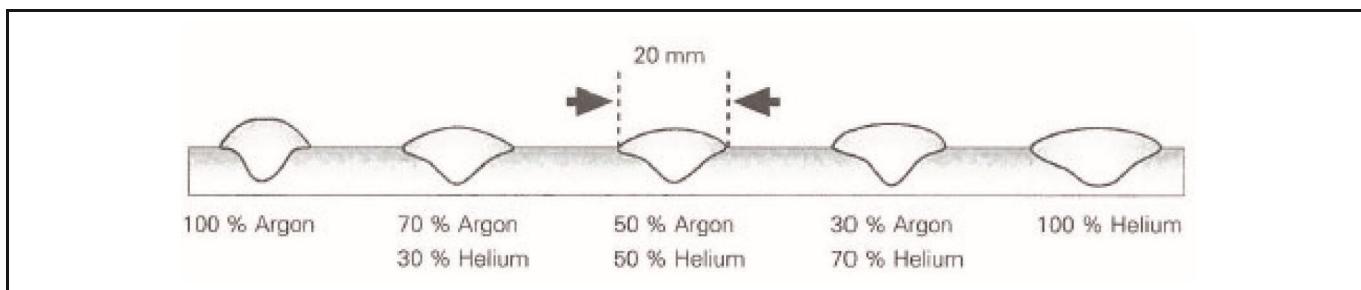


Abbildung 26: Einbrandformen bei verschiedenen Schutzgasen beim MIG-Schweißen, Grundwerkstoff AlMg4,5Mn, Schweißstrom 240 A, Blechdicke 20 mm (Quelle Messer Group)

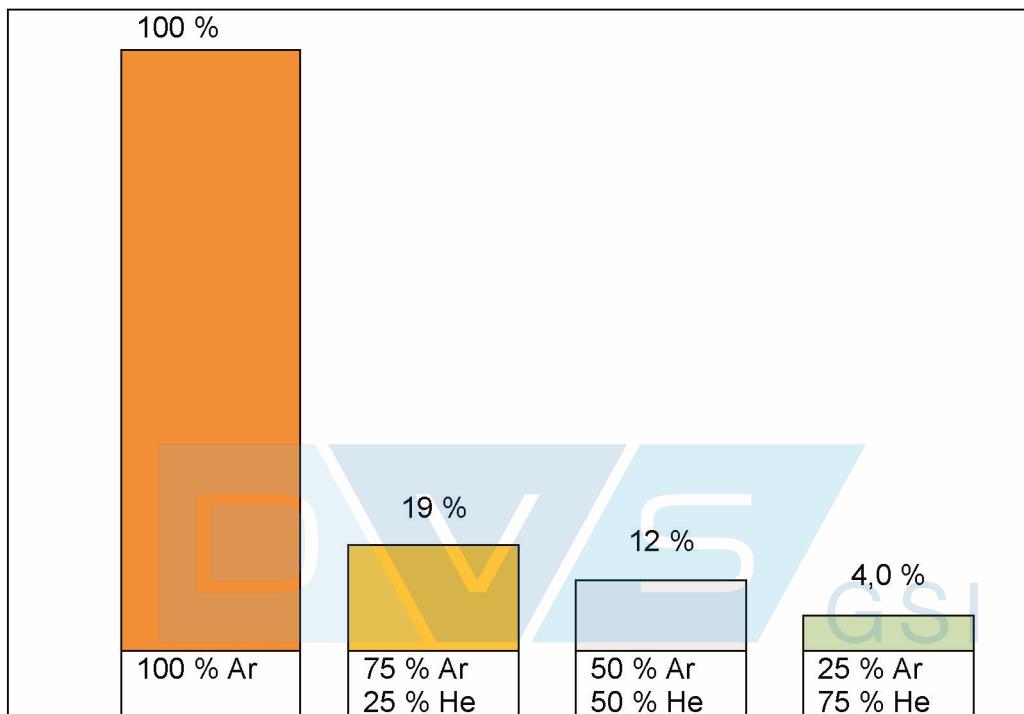


Abbildung 27: Porenreduktion beim MIG-Schweißen (Quelle PanGas)

Besonderheiten heliumhaltiger Schutzgase zum MIG-Schweißen sind

- erhöhte Spannung
- höhere Gasmenge aufgrund geringerer Dichte
- Durchflussmesser für Argon können weiter verwendet werden. Korrekturfaktoren zur tatsächlichen Durchflussmengenermittlung, *siehe auch Kapitel 1.06.*
- höherer Preis

In der Praxis haben sich die heliumhaltigen Schutzgase der Gruppe I3 bestens bewährt, wobei bei zunehmender Wandstärke auch der Heliumanteil zunimmt.

6 Einstellgrößen beim Schweißen mit stufengeschalteten Schweißgleichrichtern

Einfache Stromquellen besitzen 2 Knöpfe zum Einstellen des Lichtbogens, die Spannungseinstellung und den Drahtvorschub. Dazu kommt bei aufwendigeren Geräten noch eine verstellbare Induktivität (Drossel) um bei Werkstoffübergängen mit Kurzschlüssen Stromstärkespitzen zu glätten.

Die Zusammenhänge beim Einstellen und Verstellen der Arbeitspunkte im Lichtbogenkennlinienfeld werden mit Darstellung des Raupenprofils aufgezeigt.

Die Bewegung des Arbeitspunktes auf der eingestellten statischen Kennlinie durch Änderungen der Drahtgeschwindigkeit bewirkt Veränderungen der Stromstärke zeigt Abbildung 28.

Die Bewegung des Arbeitspunktes, bei gleichbleibender Drahtgeschwindigkeit, bei Anwendung verschiedener statischen Kennlinien zeigt Abbildung 29.

Die Bewegung des Arbeitspunktes auf der Lichtbogenkennlinie durch gleichzeitiges Verstellen der statischen Kennlinie und der Drahtgeschwindigkeit zeigt Abbildung 30

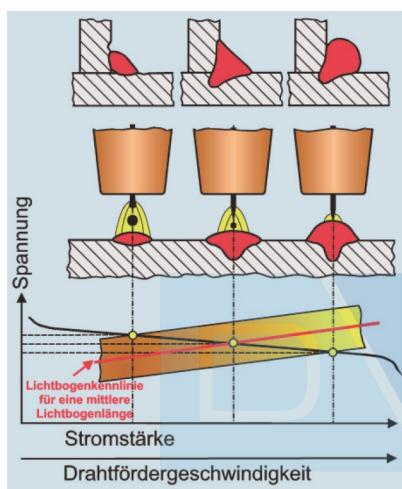


Abbildung 28: Bewegung des Arbeitspunktes auf der statischen Kennlinie durch Änderungen der Drahtgeschwindigkeit

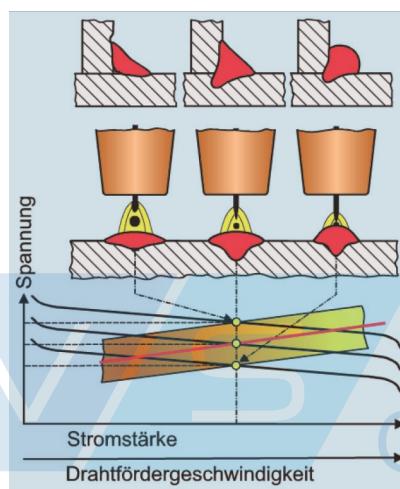


Abbildung 29: Bewegung des Arbeitspunktes, wenn bei gleichbleibender Drahtgeschwindigkeit verschiedene statische Kennlinien zur Anwendung kommen

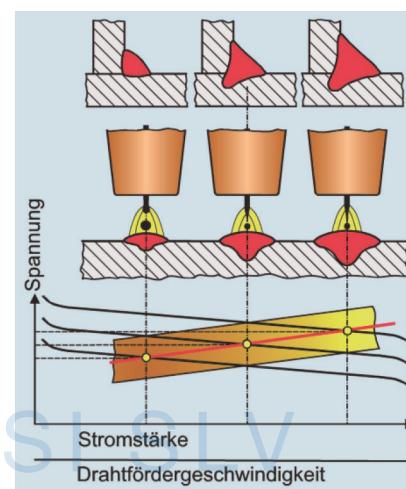


Abbildung 30: Bewegung des Arbeitspunktes auf der Lichtbogenkennlinie durch gleichzeitiges Verstellen der statischen Kennlinie und der Drahtgeschwindigkeit

Zusammenfassend dargestellt, wie sich bei Verschiebungen des Arbeitspunktes die effektive Lichtbogenlänge und das Raupenprofil verändern zeigt Abbildung 31.

Veränderungen der Schutzgaszusammensetzung können bei gleichbleibender Drahtgeschwindigkeit und Spannung die Lichtbogenlänge beeinflussen. Beispiele von Arbeitskennlinien von verschiedenen Schutzgasen zeigt Abbildung 32.

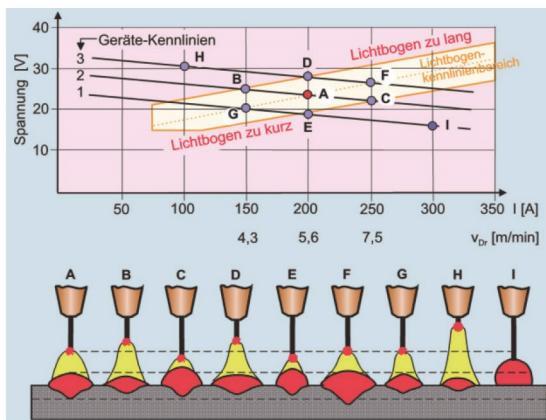


Abbildung 31: Verändern des Arbeitspunktes im Lichtbogenkennlinienbereich durch das Verstellen von Drahtfördergeschwindigkeit und/oder statischer Kennlinie der Schweißstromquelle. Die Auswirkungen auf die effektive Lichtbogenlänge, Stromstärke und das Raupenprofil sind im unteren Bildteil schematisiert dargestellt

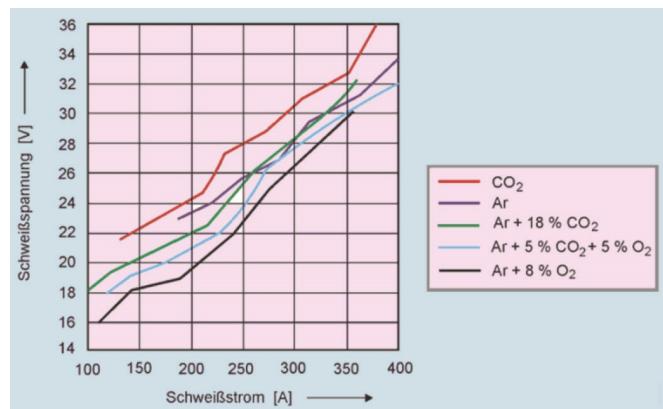


Abbildung 32: Arbeitsspannung und Schweißstrom bei verschiedenen Schutzgasen (Werte aus Versuchsreihen). Drahtelektrode: 3Si1, Durchmesser 1,2 mm.

7 Einflussgrößen auf die Nahtgeometrie beim MSG-Schweißen

In Folgendem sind verschiedene Einflussgrößen auf die Nahtgeometrie beim MSG-Schweißen beschrieben.

7.1 Lichtbogenspannung (Lichtbogenlänge)

Die Lichtbogenspannung bestimmt die Lichtbogenlänge, die Raupenbreite, Metalldampfmenge, die magnetische Ablenkbarkeit des Lichtbogens und den Lichtbogendruck auf das Schweißbad. Ist die Lichtbogenspannung groß, wird die Raupe flach und breit und es können Randkerben entstehen. Eine zu geringe Spannung ergibt schmale, stark überhöhte Raupen.

7.2 Drahtvorschubgeschwindigkeit

Die Drahtgeschwindigkeit ist direkt proportional zur Abschmelzleistung und steht in einem fast linearen Verhältnis zur Schweißstromstärke. Eine zunehmende Drahtgeschwindigkeit erhöht neben der Abschmelzleistung die Stromstärke und die Einbrandtiefe.

7.3 Stromkontaktrohrabstand

Der Stromkontaktrohrabstand ist definiert als Abstand zwischen Stromkontaktrohrende und der Werkstückoberfläche. In der Praxis werden im unteren Strombereich geringere (etwa 10-15 mm) und im oberen Strombereich größere (15-20 mm) Werte eingestellt, um das Stromkontaktrohr und die Gasdüse thermisch zu entlasten. Der Einfluss des Stromkontaktrohrabstandes auf die Stromstärke und damit auch auf die Einbrandtiefe zeigt Abbildung 33/Abbildung 33.

Bei Kehlnähten in spitzen Winkeln kann das Stromkontaktrohr aus der Gasdüse vorstehen

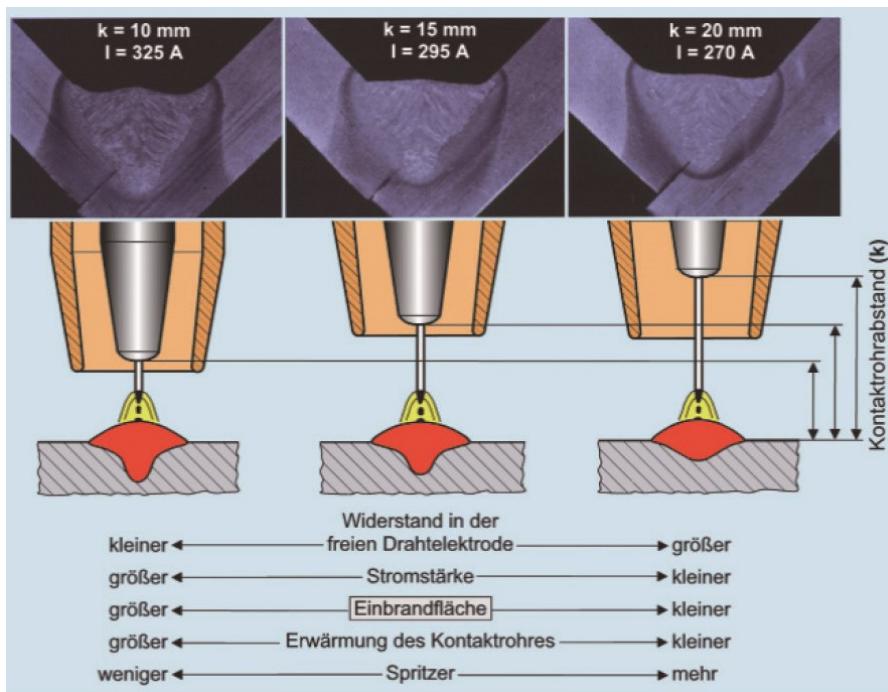


Abbildung 33: Einflüsse der freien Drahtelektrodenlänge

7.4 Schweißgeschwindigkeit

Bei konstanten Schweißdaten verringert eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit den Raupenquerschnitt, siehe Abbildung 34. Soll bei erhöhter Schweißgeschwindigkeit gleiche Nahtgeometrie erreicht werden, so müssen die Schweißspannung und die Drahtgeschwindigkeit erhöht werden.

Beim Handschweißen sind Schweißgeschwindigkeiten von 40-60 cm/min sinnvoll, beim mechanisierten Schweißen kann die Schweißgeschwindigkeit bis zur Verfahrensgrenze gesteigert werden. Schweißgeschwindigkeiten von 1-1,5 m/min sind bei vielen Schweißaufgaben in der Serienfertigung üblich. Wird die Schweißgeschwindigkeit auf Werte unter 40 cm/min verringert, so kann ein vorlaufendes Schweißbad den Einbrand stark vermindern, sodass Bindefehler auftreten können, siehe Abbildung 35. Mehrlagenschweißen ist dann anzuwenden.

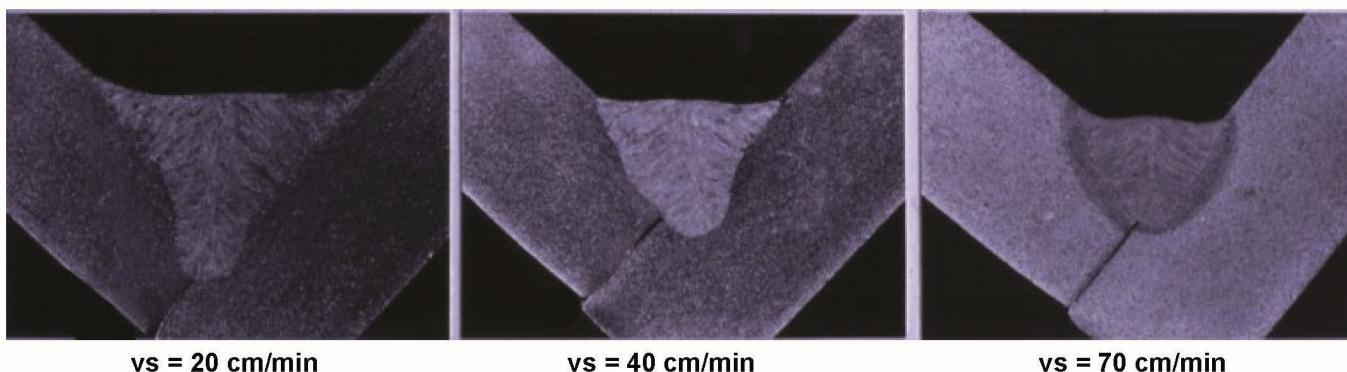


Abbildung 34: Einfluss der Schweißgeschwindigkeit auf das Raupenprofil beim Schweißen von Kehlnähten. Gleichbleibende Parameter: $v_{Dr} = 10 \text{ m/min}$; $I_s = 300 \text{ A}$; $U_s = 29 \text{ V}$; Schutzgas: M21-ArC-18.

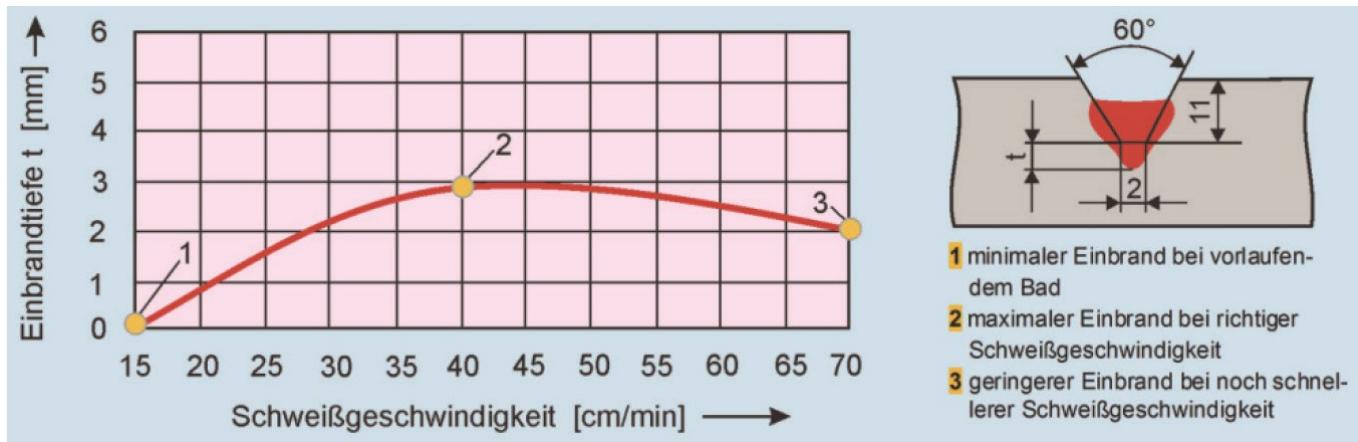


Abbildung 35: Einfluss der Schweißgeschwindigkeit auf die Einbrandtiefe

7.5 Drahtelektrodenstellung

Die Führung der Drahtelektrode hat entscheidenden Einfluss auf das Raupenprofil und auf die Flankenbe netzung. Eine Orientierung zum Wurzelfußpunkt vermeidet Bindefehler.

7.6 Stirnflächenabstand (I-Nähte)

Stirnflächenabstände, Fugenspalte, verbessern die Einschmelztiefe und verringern die Raupenhöhe, siehe Abbildung 36. Die gleiche Tendenz ergibt sich auch bei anderen Stoß- und Fugenformen mit Spalten

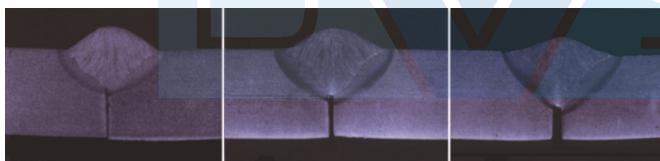


Abbildung 36: Einfluss des Stirnflächenabstandes beim MAG-Schweißen von I-Nähten

7.7 Brenneranstellwinkel

Die Brenneranstellung, stehend, neutral, oder schleppend, beeinflusst die Einbrandform und die äußere Nahtgeometrie.

Eine stechende Brenneranstellung breitet die Raupe, der Einbrand und die Raupenhöhe werden aber geringer. Bei schleppender Brennerstellung wird die Naht schmal und überhöht sowie der Einbrand tiefer, Abbildung 37.

Die Brenneranstellung beim Schweißen von Fallnähten sollte etwa 90° bis leicht schleppend zur Blechoberfläche sein.

Al-Werkstoffe sollten immer stehend geschweißt werden. Beim schleppenden Schweißen entsteht meist ein dunkler Belag (Kondensat der Dämpfe aus dem Lichtbogenraum auf und neben der Raupe).

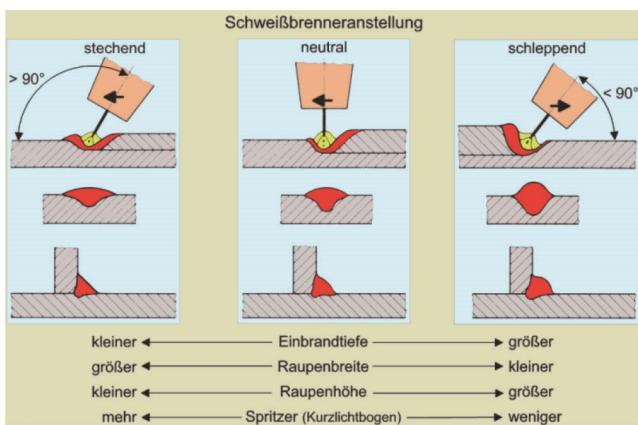


Abbildung 37: Übersicht über die Einflüsse der Brenneranstellung auf das Raupenprofil

Die Schweißnahtpositionen sind mit Kurzzeichen oder Winkelangaben (Nahtdreh- und Nahtneigungswinkel) in DIN EN ISO 6947 eingeteilt.

Beim Schweißen in den waagrechten oder horizontalen Nahtpositionen lassen sich die höchsten Abschmelzleistungen erreichen. Das Schweißen von Fallnähten mit ausreichendem Einbrandprofil, ist nur mit optimierten Parametern und begrenzter Nahtdicke erreichbar. Einen besonderen Einfluss hat die Schweißgeschwindigkeit, Abbildung 38.

Der Lichtbogen wird in der Fallnahtposition kurz (bis an die Spritzergrenze) eingestellt, Kurz- und Übergangslichtbogen sind dafür geeignet. Fallnahtschweißen an Al-Werkstoffen ist wegen der relativ kleinen Viskosität der flüssigen Werkstoffe erheblich schwieriger im Vergleich zu Stahl.

Am sich drehenden Rohr oder mit Positioniereinrichtungen sind alle Nahtneigungswinkel einstellbar. Auswirkungen auf die Nahtgeometrie, Abbildung 39.

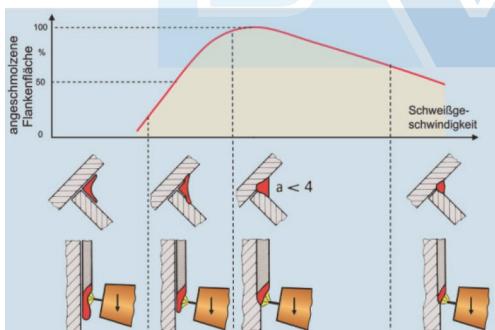


Abbildung 38: Einfluss der Schweißgeschwindigkeit auf die Flankenaufschmelzung bei Fallnähten

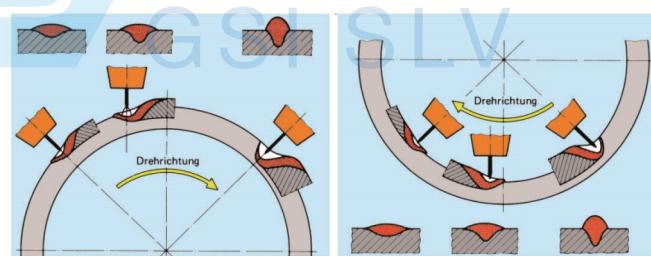
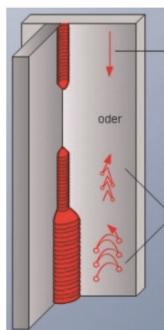


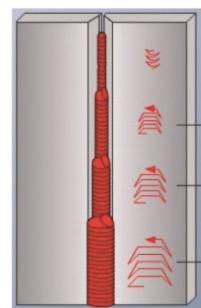
Abbildung 39: Neigungswinkel mit Einfluss auf die Nahtgeometrie

Die steigende Nahtposition für dickere Nähte ist mit pendelnder Brennerbewegung und eingeschränkter Lichtbogenleistung gut formbar, die Schweißgeschwindigkeit und die Abschmelzleistung sind dabei kleiner. Die „Pendelmuster“ sind bei Kehl- und Stumpfnähten unterschiedlich, Kehlnähte siehe Abbildung 40, Stumpfnähte siehe Abbildung 41.



Strichraupe in Position PG

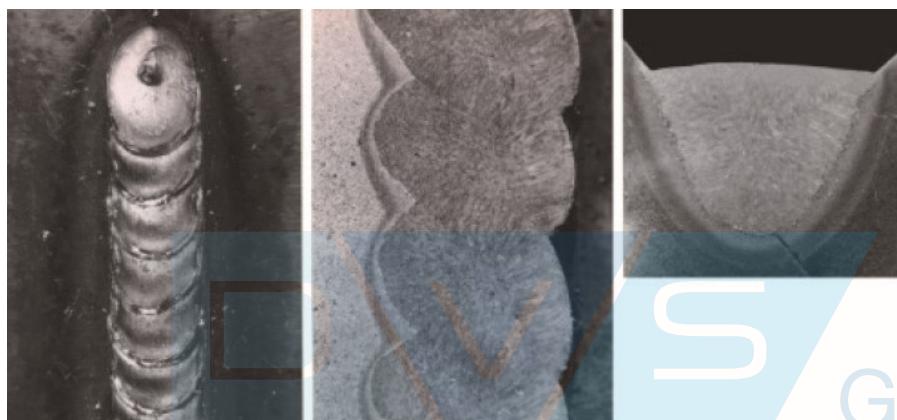
Lichtbogenspur an den Werkstückflanken entlang



Lichtbogenspur an den Fugenflanken entlang

Abbildung 40: Drahtelektrodenführung und Lagenaufbau beim Schweißen von senkrechten Kehlnähten**Abbildung 41:** Drahtelektrodenführung und Lagenaufbau beim Schweißen von senkrechten Stumpfnähten

Mit Intervallschaltungen bei stufenförmiger Einstellung der Stromquelle oder mit periodisch wechselnder Lichtbogenleistung bei elektronischen Schweißanlagen sind Steignähte *ohne* Pendelbewegung zügig und bindefehlerfrei schweißbar, siehe Abbildung 42.

**Abbildung 42:** Steignaht in Intervallen geschweißt, $a = 4,5 \text{ mm}$

8 Drahtelektrodenpolung, Kräfte am Lichtbogen und Werkstoffübergangsarten (Lichtbogenarten)

Die Polung der Drahtelektrode und der Werkstoffübergang von der Drahtelektrode zum Werkstück haben wesentlichen Einfluss auf die Nahtgeometrie, das Raupenprofil und dem Lichtbogen.

8.1 Polung der Drahtelektrode

Beim MSG-Schweißen wird in der Regel mit plusgepolter Drahtelektrode, bei einigen Fülldrähten aber auch mit minusgepolter Drahtelektrode geschweißt. Die wichtigsten Einflüsse der Drahtelektrodenpolung enthält Abbildung 43. Die Reinigungswirkung beim MIG/MAG-Schweißen mit dem Impulslichtbogen von Stahl und Aluminium zeigt die Abbildung 44.

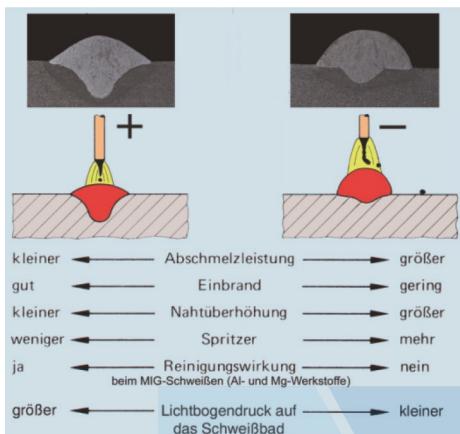


Abbildung 43: Übersicht über die Einflüsse der Drahtelektrodenpolung



MIG-Auftragschweißung auf Stahl mit vorauseilendem Reinigungshof (Impulslichtbogen, Pluspolung)

MIG-Auftragschweißung auf einem Al-Werkstoff mit vorauseilendem Reinigungshof (Impulslichtbogen, Pluspolung)

8.2 Einfluss der Drahtelektrodendurchmesser auf die Abschmelzleistung und Raupenprofile

Je nach Schweißaufgabe wird der Drahtelektrodendurchmesser, 0,8 mm, 0,9 mm, 1,0 mm, 1,2 mm, 1,6 mm, gewählt. Die Strombelastbarkeit und die Abschmelzleistung nimmt mit dem Drahtelektrodendurchmesser zu, Abbildung 45. Wichtige Einflüsse, die bei der Wahl der Drahtelektrodendurchmesser zu berücksichtigen sind, enthält Abbildung 46. Abbildung 47 gibt einen Überblick, wie sich bei verschiedenen Drahtdurchmessern beispielsweise bei gleicher Abschmelzleistung oder Stromstärke die Raupenprofile verändern.

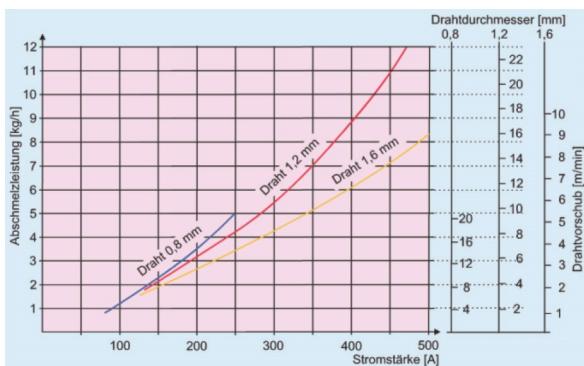


Abbildung 45: Abschmelzleistung in Abhängigkeit vom Schweißstrom für verschiedene Drahtdurchmesser

Einflüsse der Drahtelektrodendurchmesser beim MSG-Schweißen		
kleiner	Lichtbogen- und Tropfenkräfte	größer
größer	Widerstandserwärmung der freien Drahtlänge	kleiner
kleiner	Einbrandtiefe bei gleicher Abschmelzleistung	größer
größer	Drahtkosten	kleiner
leichter	Lichtbogenzündung	schwieriger
kleiner	Knicksteifigkeit	größer

Abbildung 46: Einflüsse der Drahtelektrodendurchmesser beim MSG-Schweißen

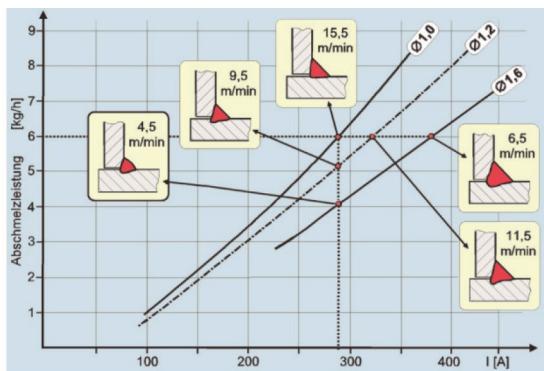


Abbildung 47: Einfluss der Drahtelektrodendurchmesser mit Beispielen für die Veränderung des Raupenprofiles bei gleichbleibender Abschmelzleistung oder Stromstärke

8.3 Kräfte am Lichtbogen

Am Drahtelektrodenende, dem Lichtbogenansatz am Draht und Schweißbad, und im Lichtbogen wirken unterschiedliche Kräfte, die den Werkstoffübergang von der Drahtelektrode zum Schweißbad und das Raupenprofil beeinflussen können. In Abbildung 48 sind die wichtigsten Kräfte schematisch dargestellt und weitere Kräfte genannt. Zusätzlich spielt die Temperatur und die Temperaturverteilung am Drahtende eine wichtige Rolle bei der Tropfenablösung.

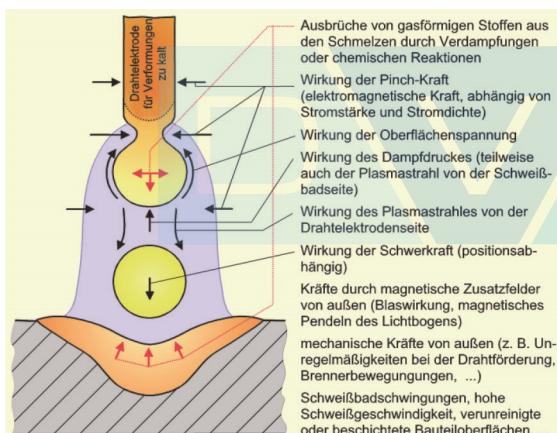


Abbildung 48: Kräfte und Einflüsse im Lichtbogenbereich beim MSG-Schweißen

Die Pinchkraft ist eine elektromagnetische Kraft, die an jedem stromführenden Leiter wirkt, im Quadrat zur Querschnittsfläche abnimmt und im Quadrat zur Schweißstromstärke wächst. Diese Kraft nicht sehr groß und kann nur wirksam werden, wenn das Drahtende teigig oder flüssig ist. Bei geringer Stromstärke (geringe Erwärmung der Drahtelektrode) reicht die Pinchkraft nicht aus, um bei der Tropfenbildung ausreichend mit zu wirken. Es gehen große Tropfen in das Schweißbad über. Bei kleiner Stromstärke sind die Schwerkraft und Oberflächenspannung die wichtigsten Einflüsse beim Werkstoffübergang. Bei hoher Stromstärke wird die sog. kritische Stromstärke überschritten. Die Pinchkraft kann dann das flüssige Drahtende einschnüren und kleine Tropfen ablösen. Voraussetzung ist allerdings, dass Schutzgase mit geringer Wärmeleitfähigkeit ($\text{Ar}, \text{Ar} + \text{O}_2, \text{Ar} + \text{CO}_2 < 20\%$) zur Anwendung kommen, um größere Rückstoßkräfte zu vermeiden.

Eine oft markante Kraft ist der Dampfdruck, der durch das Überhitzen der Schweißbadoberfläche und besonders dem flüssigen Drahtelektrodenende entsteht. Bei ungünstiger Form der Lichtbogenansatzstelle kann der Dampfdruck der Tropfenablösung entgegenwirken, Abbildung 49. Bei größeren Lichtbogenleistungen und kurzer Lichtbogenlänge kann der Lichtbogen in der Mulde im Schweißbad arbeiten, es wird eine große Einbrandtiefe erreicht und der Spritzerauswurf und die Metalldampfbildung wird minimiert, Abbildung 50.



Abbildung 49: Pinch-Kraft und Rückstoßkraft formen im Widerstreit zeitweise fladenförmige Werkstoffübergänge (Impulslichtbogen, 82% Ar + 18% CO₂)

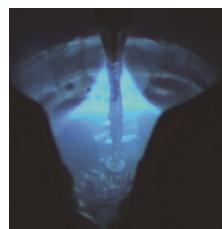


Abbildung 50: Die Summe der Kräfte im Lichtbogenbereich ermöglicht das Eindringen des Lichtbogens in das Schweißbad (V-Naht, 30°) bei größerer Lichtbogenleistung und angepasster Arbeitsspannung

8.4 Werkstoffübergang (Lichtbogenarten)

Eine Übersicht über die Arbeitsbereiche und einige Merkmale der Lichtbogenarten beim MAG-Schweißen zeigt Abbildung 51. Ohne Beachtung einiger Randbedingungen an einer Schweißanlage sind keine genauen Angaben über Stromstärken möglich. Als Orientierungshilfe dienen die Drahtelektrodengeschwindigkeit mit 10 m/min, der Drahtelektrodendurchmesser von 1,2 mm und die Stromstärke mit ca. 280 bis 300 A.

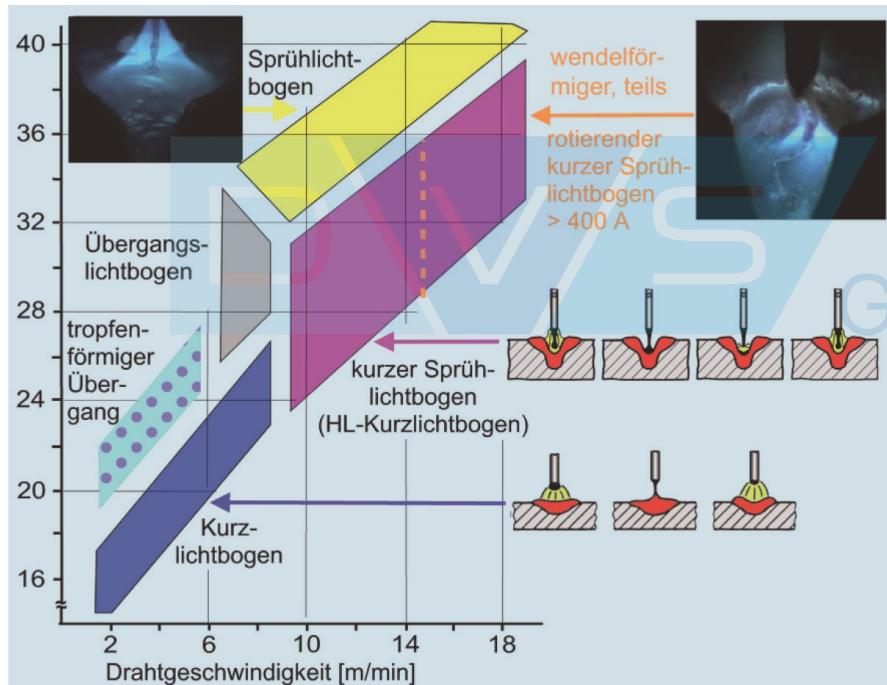


Abbildung 51: Übersicht über die Arbeitsbereiche der Lichtbogenarten beim MAG-Schweißen Schutzgas: 89% Ar, 5% CO₂, 6% O₂; Drahtelektrode: EN ISO 14341 G3 Si1, Durchmesser 1,2 mm

Die wichtigsten Lichtbogenarten und ihre Kurzbezeichnung sind in den Regelwerken zusammengefasst und in der Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Unterscheidung des MSG-Schweißens nach Art des Lichtbogens (in Anlehnung an DIN 1910-100 und Bezeichnungen nach DIN EN ISO 4063)

Benennung	Werkstoffübergang beim MSG- Schweißen und seine zeitliche Folge	Kurzzeichen nach DIN 1910-100	Kurzzeichen nach DIN EN ISO 4063
Impulslichtbogen (-schweißen)		p	P Pulsed transfer
Sprühlichtbogen (-schweißen)	praktisch kurzschlussfrei, gleichmäßig, feintropfig	s	S Spray transfer
Langlichtbogen (-schweißen)	unregelmäßig im Kurzschluss, grobtropfig		G Globular transfer
Übergangslichtbogen (-schweißen)	nur im Kurzschluss, teils kurzschlussfrei, fein- bis grobtropfig	ü	
Kurzlichtbogen (-schweißen)	nur im Kurzschluss	k	D Short-circuit transfer (dip transfer)

8.4.1 Kurzlichtbogen

Mit dem Begriff Kurzlichtbogen wird der Lichtbogenprozess bezeichnet, bei dem der Werkstoffübergang immer im Kurzschluss erfolgt, d.h. der Lichtbogen erlischt nach dem Eintauchen der flüssigen Drahtelektrode in das Schweißbad. Der ansteigende Kurzschlussstrom bewirkt die Lichtbogenwiederzündung, Abbildung 52.

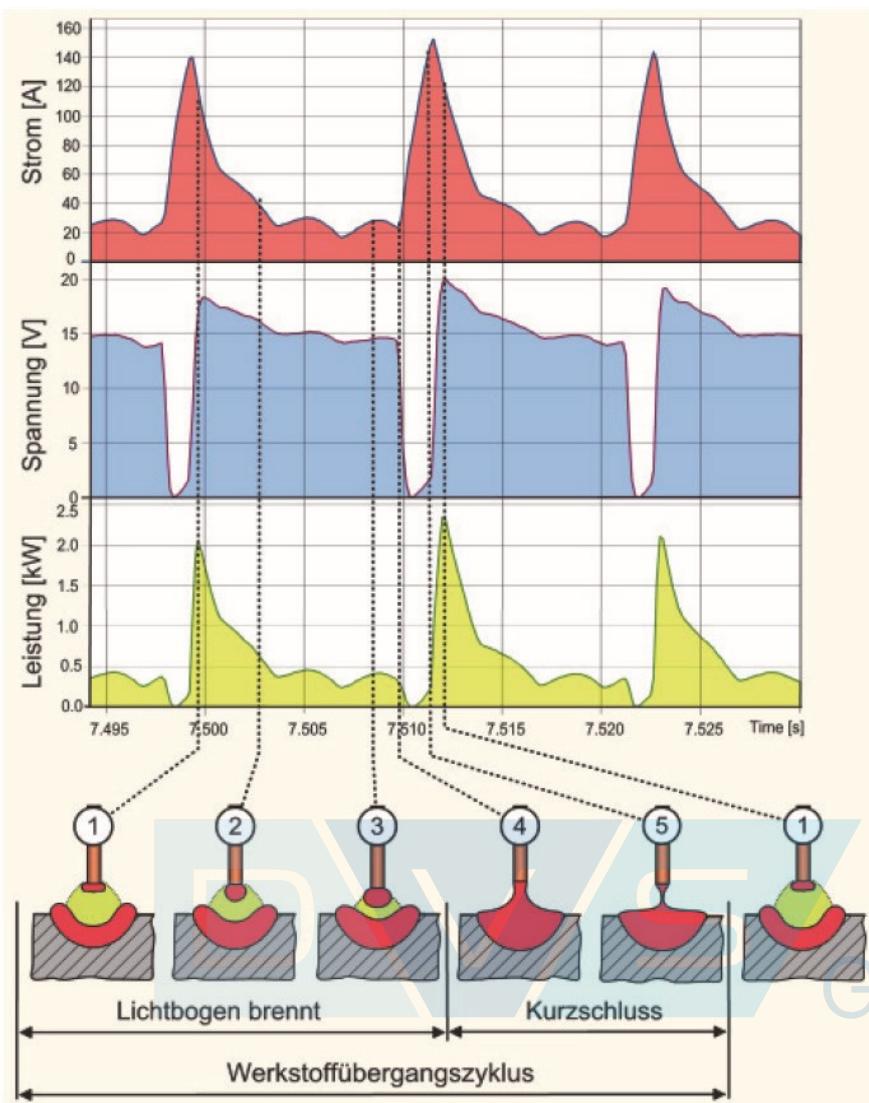


Abbildung 52: Werkstoffübergang im Kurzlichtbogen und typischer Strom-, Spannungs- und Leistungsverlauf (Stromquelle ohne Leistungselektronik)

8.4.2 Übergangslichtbogen

Diese Lichtbogenart tritt beim Schweißen mit argonreichen Mischgasen im Grenzbereich zwischen Kurz- und Sprühlichtbogen auf. Bei angehobener Arbeitsspannung im Übergangslichtbogenbereich geht ein Teil des angeschmolzenen Drahtwerkstoffes bereits ohne Kurzschlüsse, aber bedingt durch die geringere Stromstärke (geringere Pinchkraft als beim Sprühlichtbogen) grobtropfig über.

Ist der Lichtbogen relativ kurz, treten häufig Kurzschlüsse beim Werkstoffübergang auf. Diese Kurzschlüsse in Verbindung mit verhältnismäßig hohen Kurzschlussstromstärken, können stärkere Spritzer verursachen, die am Bauteil festschweißen. Der Übergangslichtbogen sollte gemieden werden, ist aber besonders bei Fallnahtpositionen nicht immer vermeidbar. Der Impulslichtbogen kann diesen Stromstärkebereich sehr spritzerarm überdecken.

8.4.3 Langlichtbogen

Beim Schweißen unter 100 % CO₂ oder argonreichen Mischgasen mit mehr als 25 % CO₂ erfolgt der großvolumige Werkstoffübergang ohne Lichtbogenunterbrechungen und größerem Spritzerauswurf (langer Langlichtbogen), Abbildung 53. Neben den Lichtbogenwanderungen tragen die gute Wärmeleitfähigkeit von CO₂ und der größere Spannungsabfall im CO₂-Lichtbogen zum großflächigen, meistens U-förmigen Einbrandprofil bei, Abbildung 53.

Bei abnehmender Arbeitsspannung geht der Werkstoffübergang von Kurzschlüssen begleitet, in das Schweißbad über. Die durch verhältnismäßig hohe Kurzschlussströme entstehenden Spritzermengen sind auch bei gut abgestimmten Schweißparametern meistens wesentlich stärker als bei argonreichen Mischgasen.

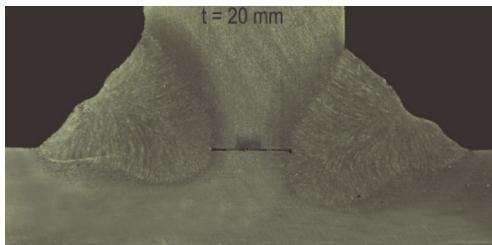


Abbildung 53: Typisches Raupenprofil beim Schweißen mit dem Langlichtbogen (CO₂-Lichtbogen, Pos. PA)

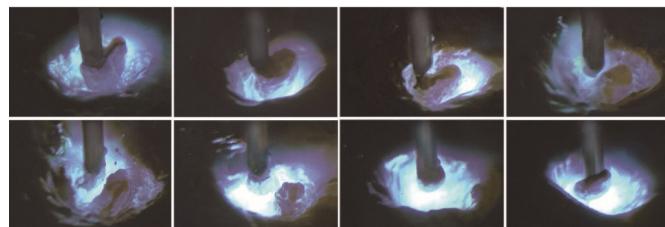


Abbildung 54: Typischer Werkstoffübergang beim „langen Langlichtbogen“ mit größerer Arbeitsspannung ohne Lichtbogenunterbrechungen und Spritzer.

8.4.4 Sprühlichtbogen

Die Stromstärke für den Beginn des Sprühlichtbogens ist abhängig vom Drahtdurchmesser und der Schutzgaszusammensetzung, Abbildung 55. Da beim Schweißen mit dem Sprühlichtbogen mit freiem Tropfenflug im Lichtbogen keine größere Widerstandsänderungen auftreten, ist der Schweißstromverlauf sehr gleichmäßig.

Bei steigenden CO₂-Gehalten, >20% im Schutzgas, ist der Tropfenübergang ins Schweißbad weniger feintropfig.

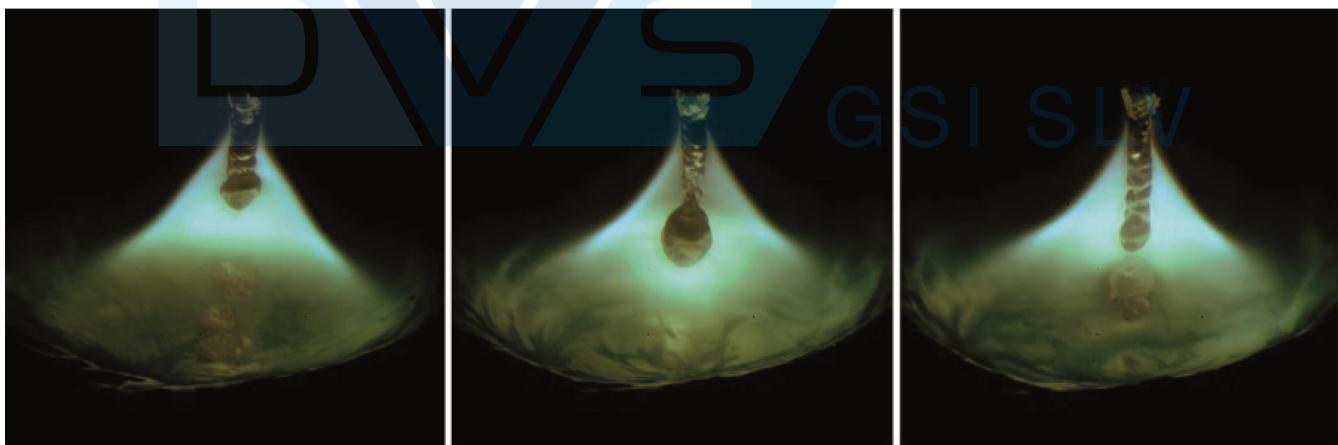


Abbildung 55: Werkstoffübergang ohne Lichtbogenunterbrechung durch relativ große Lichtbogenlänge beim Sprühlichtbogenschweißen von Stahl. Schutzgas: M20-ArC-8; Drahtelektrode: 3Si1, Ø 1,2 mm.

In der Praxis bei der Anwendung des Sprühlichtbogens haben sich nachfolgende Vorteile im Vergleich zum kurzen und langen Sprühlichtbogen ergeben:

- Gute Lichtbogensteifigkeit und -richtungsstabilität
- Zunahme der Einbrandtiefe
- weniger Energieverluste durch Strahlung und Konvektion
- weniger Metalldampfbildung,
- Reduzierung der Abbrandverluste und Schlackenmenge
- weniger Einbrandkerben
- weniger Spritzer und Poren beim Auftreten von Blaswirkung

8.4.5 Impulslichtbogen

Der Impulslichtbogen verwendet an Stelle eines Gleichstromes einen impulsförmigen Strom. Den Prozessablauf für eine Periode zeigt Abbildung 56. Im Idealfall wird mit jedem Impuls ein Tropfen am Drahtende geformt und abgelöst. Der Werkstoffübergang ins Schweißbad erfolgt etwas verzögert kurzschluss- und spritzerfrei. Die Abbildung 57 zeigt den Arbeitsbereich des Impulslichtbogens.

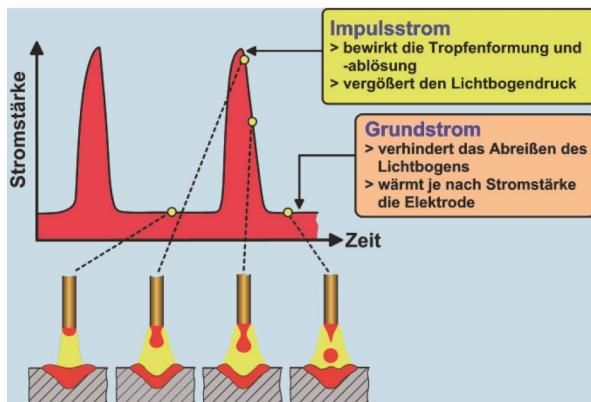


Abbildung 56: Stromverlauf und Werkstoffübergang beim Schweißen mit dem Impulslichtbogen

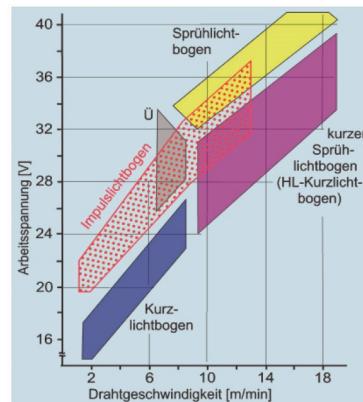
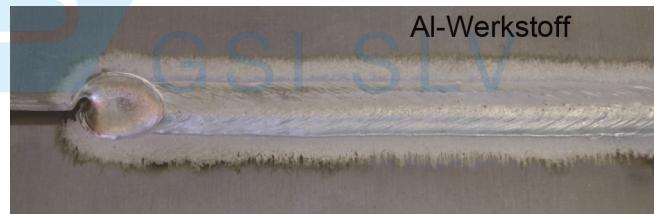


Abbildung 57: Arbeitsbereich des Impulslichtbogens Drahtelektrode: 3Si1, Ø 1,2 mm, Schutzgas: 82% Ar + 18% CO₂.

Für das Impulsschweißen von Baustählen werden Mischgase mit über 21% CO₂-Anteile nicht empfohlen. Ein Anwendungsbeispiel für das Schweißen mit dem Impulslichtbogen am Überlappstoß, Werkstoff Stahl und Aluminium, zeigt Abbildung 58.



Abbildung 58: Kehlnaht am Überlappstoß mit Impulslichtbogen geschweißt



Eine Ergänzung zur *Tabelle 10*, Unterscheidung des MSG-Schweißens nach Art des Lichtbogens (in Anlehnung an DIN 1910-100 und Bezeichnungen nach DIN EN ISO 4063), ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Lichtbogenarten beim konventionellen MIG/MAG-Schweißen mit Anwendungs- und Bewertungshinweisen in Tabelle 10 enthalten.

Tabelle 10: Zusammenfassung der wichtigsten Lichtbogenarten beim MIG/MAG-Schweißen mit Anwendungs- und Bewertungshinweisen

Lichtbogenart	Anwendung	Werkstoffüber-gang	Spritzerbildung	Bemerkungen
MIG/MAG-Kurzlichtbogen	Dünnblechbereich, Zwangslagen, Wurzelschweißung	Im Kurzschluss	gering, mit geeigneter Stromquelle	geringe Wärmeeinbringung, geringe Abschmelzleistung
MIG/MAG-Übergangslichtbogen (Mischlichtbogen)	mittlere Blechdicken, Zwangslagen	Werkstoffübergang z.T. im Kurzschluss	hoch und am Werkstück haftende Spritzer	mittlere Leistung
MIG/MAG-Sprühlichtbogen	mittlere und dicke Bleche in Position PA, PB	feintropfiger Werkstoffübergang ohne Kurzschlüsse	gering	hohe Abschmelzleistung
MAG-Langlichtbogen (unter CO ₂ oder hohen CO ₂ -Anteilen im Schutzgas)	mittlere und dicke Bleche in Position PA, PB	Werkstoffübergang z.T. im Kurzschluss	hoch und am Werkstück haftende Spritzer	hohe Abschmelzleistung
MIG/MAG-Impulslichtbogen	großer Arbeitsbereich	kurzschlussfrei	sehr gering	höhere Wärmeeinbringung als im Kurzlichtbogen



9 Vor- und Nachteile des MSG-Schweißens

9.1 Vorteile des MIG/MAG-Schweißens

Mit dem MIG/MAG-Schweißen können fast alle schweißgeeigneten Werkstoffe verbunden werden, die als Zusatzwerkstoff zu einem Draht mit entsprechenden Durchmesser ziehbar sind. Unlegierte und legierte Stähle, sowie CrNi-Stähle werden mit dem MAG-Schweißen (aktive, CO₂- und/oder sauerstoffhaltige Schutzgase) verschweißt. Andere Werkstoffe wie Aluminium, Magnesium, Nickelbasiswerkstoffe, Kupfer, Titan usw. erfordern das MIG-Schweißen mit inerten Schutzgasen. Die erreichbare Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit sind hoch, bei guter Nahtqualität.

Das Verfahren kann leicht mechanisiert werden (Robotereinsatz). Bauteile ab 0,8 mm Dicke können im Stumpf- oder T-Stoß verschweißt werden. Nahtwurzeln können frei mit entsprechender Nahtvorbereitung oder mit Hilfseinrichtungen (Badsicherungen) geschweißt werden. Das Verfahren lässt sich in Zwangslagenpositionen einsetzen.

9.2 Nachteile des MIG/MAG-Schweißens

Nahtanfangs- und Nahtansatzbindefehler sind nicht immer vermeidbar, da gleichzeitig mit Beginn der Wärmeeinbringung durch den Lichtbogen auch Zusatzdraht abgeschmolzen wird. Bei zu geringer Schweißgeschwindigkeit sind Bindefehler durch vorlaufendes Schweißbad möglich. Beim Schweißen im Freien oder zugigen Hallen muss durch geeignete Vorrichtungen die Schutzgasatmosphäre aufrechterhalten werden.

10 Merkblatt DVS 0973 – Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens

Die MSG-Prozessregelungsvarianten gehören prinzipiell zu dem Metall-Schutzgasschweißen (13) – Metall-Inertgas-Schweißen (MIG, 131) / Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG, 135). Die geregelten Prozesse sind entsprechend den Empfehlungen des jeweiligen wissenstragenden Herstellers einzusetzen und in ihren Eigenschaften zu bewerten. Vergleiche zwischen verschiedenen MSG Prozessvarianten erfordern ein tieferes prozesstechnisches Verständnis. Das mögliche Prozessfenster des MSG-Schweißens wird durch die Prozessregelvarianten erweitert, Abbildung 59.

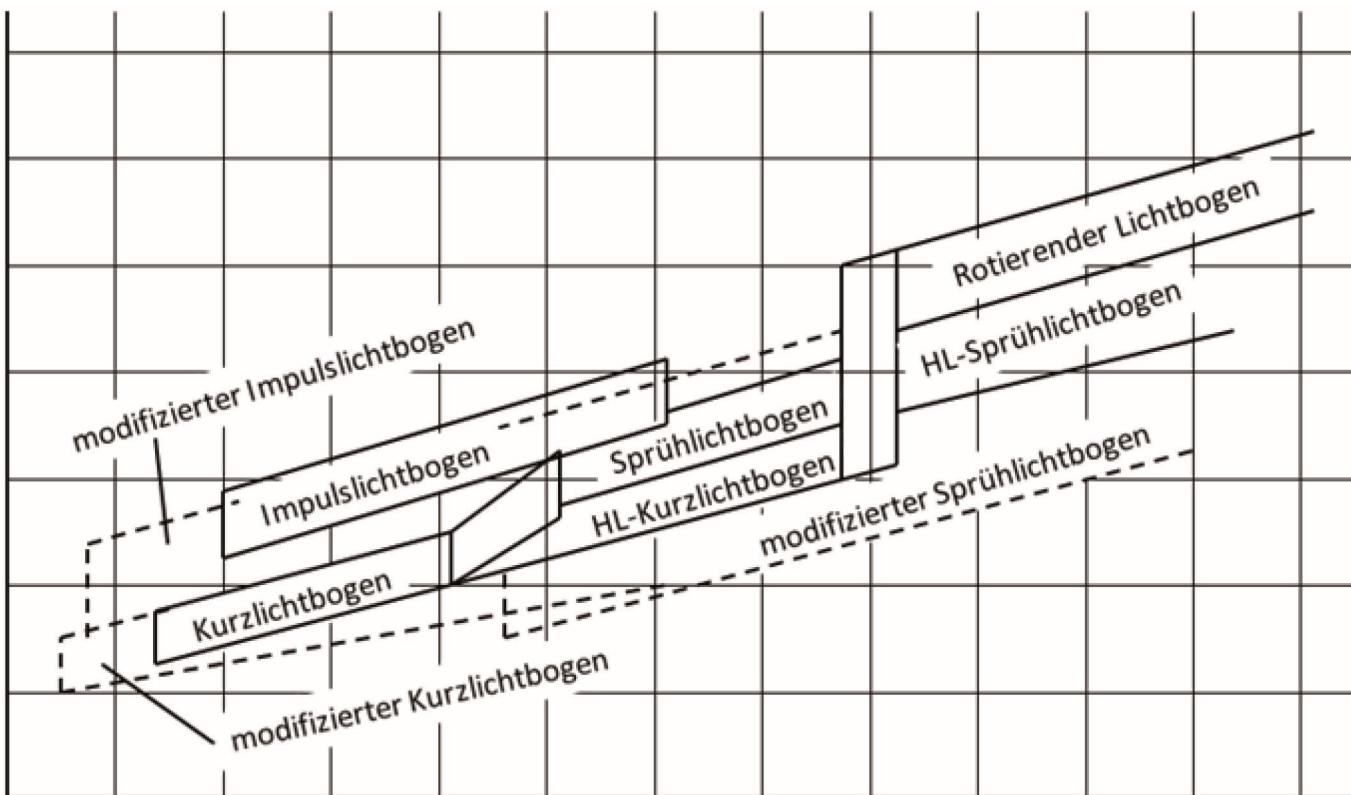


Abbildung 59: Mögliche Prozessfenster des MSG-Schweißens, Schweißstrom, Drahtvorschubgeschwindigkeit erweitert durch die Prozessregelvarianten.

10.1 Geregelter / modifizierter Kurzlichtbogen

Bei geregelten Kurzlichtbogenprozessen werden sowohl Kurzschluss als auch Lichtbogenbrennphase von der Geräteelektronik detektiert und separat (entsprechend ihrer Programmierung) ausgeregelt. Dies kann sogar in mehreren zeitlichen Sektoren (Intervallen) unterteilt geschehen (sektorgesteuerte Regelung).

Folgende Ausprägungen sind festzustellen:

- Spritzerarmer Kurzlichtbogen
- Energiereduzierter Kurzlichtbogen
- Leistungsgesteigerte Kurzlichtbogen

10.1.1 Spritzerarmer Kurzlichtbogen

Bei diesen Ausprägungen geregelter Kurzlichtbogenprozesse wird steuerungs- und regelungstechnisch dafür gesorgt, dass der Strom im Moment des Wiederzündens des Lichtbogens (Auflösen der Kurzschlussphase) unterhalb eines bestimmten kritischen Wertes ist.

Angewandte Methoden:

- Detektion des Beginns des Aufreißens der Kurzschlussbrücke (ereignisorientiert)
- Vorhersage des wahrscheinlichen Endes des Kurzschlusses (prognoseorientiert)
- Beschleunigung der Stromabsenkung im Kurzschluss durch leistungselektronische Mittel
- Steuerung des Endes des Kurzschlusses durch mechanisches Zurückziehen der Drahtelektrode

10.1.2 Energiereduzierter Kurzlichtbogen

Diese Ausprägung geregelter Kurzlichtbogenprozesse ist auf geringeren Energieeintrag speziell parametrisiert.

Es gibt 2 Aspekte für energiearme Kurzlichtbogenprozesse:

- Energiereduziert (energieeffizient) im Sinne eines geringen Energieverbrauchs beim Schweißen zur Ressourcenschonung
- Energiereduziert im Sinne eines geringen Wärmeeintrages in das Werkstück

Die Energiereduktion bezieht sich im Allgemeinen zum ungeregelten Kurzlichtbogenprozess gleicher Drahtvorschubgeschwindigkeit.

Hierfür ausgeprägte Methoden sind:

- Maßnahmen zur zeitlichen Verkürzung der Lichtbogenphase
- Maßnahmen zur Reduktion des erforderlichen Stromes während der Lichtbogenphase
- einhergehend ist damit im Allgemein eine Erhöhung der Kurzschluss-Frequenz bzw. der Kurzschluss-Dauer

Kurzschluss-Dauer

- oft erfolgt eine Verschiebung des Wärmeeintrages mehr in die Kurzschlussphase, dabei Nutzung der energetisch effizienteren Widerstandserwärmung, weniger Energieabstrahlung durch Lichtbogenplasma

10.1.3 Leistungsgesteigerter Kurzlichtbogen

Die Abschmelzleitung des Kurzlichtbogenprozesses lässt sich mit prozessregelungstechnischen Mitteln steigern, in dem der Übergang in den Mischlichtbogen zu höheren Drahtgeschwindigkeiten hin verschoben wird. Im Vergleich zum Mischlichtbogen bringt der Kurzlichtbogen dabei weniger Energie in das Werkstück. Als Grundlage dient auch hier der konventionelle Kurzlichtbogen, wobei durch spezielle Stromformung in Kurzschluss- und Lichtbogenbrennphase das gewünschte Verhalten erzielt wird.

10.2 Modifizierter Sprühlichtbogen

Diese Entwicklungsrichtung zielt auf Modifikationen des Sprühlichtbogens zu einem konzentrierteren Verhalten und einem energetisch möglichst frühen Einsetzen (um den Mischlichtbogenbereich zu verkürzen).

Dies wird durch spezielle Regelung der statischen und dynamische Gerätewerte erreicht, bei der zum einen die „innere“ Lichtbogenlängenregelung verstärkt wird und zum anderen der Werkstoffübergang angeregt wird. Der konzentrierte Lichtbogen und der verkürzte Werkstoffübergang sorgen für eine höhere Energiedichte und einen höheren Lichtbogendruckpunkt tief in das Schmelzbad hinein. Vorteilhaft ist dies bei angepasster Fugengeometrie (z.B. enge Fugen und geringer Nahtöffnungswinkel), wo durch verringerte Materialeinbringung wirtschaftliche Vorteile erschlossen werden. Der modifizierte Sprühlichtbogen muss tendenziell kürzer gehalten werden, so dass sich auch eine geringere Lichtbogenspannung einstellt. Der kurze Sprühlichtbogen ist damit auch energieeffizienter, weniger Streckenergie wird eingebracht.

10.2.1 Kurzer Sprühlichtbogen

Durch eine Reduzierung der Lichtbogenlängen des Sprühlichtbogens mit freiem Tropfenflug steigt der Lichtbogendruck auf das Schweißbad an und bildet dadurch in der Schmelze einen kegelstumpfförmigen Arbeitsraum für den Lichtbogen. Diese Vertiefung bleibt auch bei kurzzeitigen Lichtbogenunterbrechungen erhalten.

Das Arbeiten des Lichtbogens in der Schweißbadmulde fördert die Einbrandtiefe und den Wirkungsgrad der elektrischen Entladung. Die nicht vollständig vermeidbaren kleineren Spritzer nach Lichtbogenunterbrechungen und anschließenden Wiederzündungen werden fast gänzlich in der Schweißbadvertiefung aufgefangen, Abbildung 60.

Für eine höhere Produktivität wird dieser Tiefeneinbrandeffekt durch kleinere Nahtöffnungs- und Flankenwinkel, mit einer Reduzierung des Schweißnahtvolumens, Anzahl erforderlicher Schweißraupen/Schweißlagen, genutzt, Abbildung 61.

Durch eine Reduzierung der Lichtbogenlängen des Sprühlichtbogens mit freiem Tropfenflug steigt der Lichtbogendruck auf das Schweißbad an und bildet dadurch in der Schmelze einen kegelstumpfförmigen Arbeitsraum für den Lichtbogen. Diese Vertiefung bleibt auch bei kurzzeitigen Lichtbogenunterbrechungen erhalten.

Das Arbeiten des Lichtbogens in der Schweißbadmulde fördert die Einbrandtiefe und den Wirkungsgrad der elektrischen Entladung. Die nicht vollständig vermeidbaren kleineren Spritzer nach Lichtbogenunterbrechungen und anschließenden Wiederzündungen werden fast gänzlich in der Schweißbadvertiefung aufgefangen, Abbildung 60.

Für eine höhere Produktivität wird dieser Tiefeneinbrandeffekt durch kleinere Nahtöffnungs- und Flankenwinkel, mit einer Reduzierung des Schweißnahtvolumens, Anzahl erforderlicher Schweißraupen/Schweißlagen, genutzt, Abbildung 61.

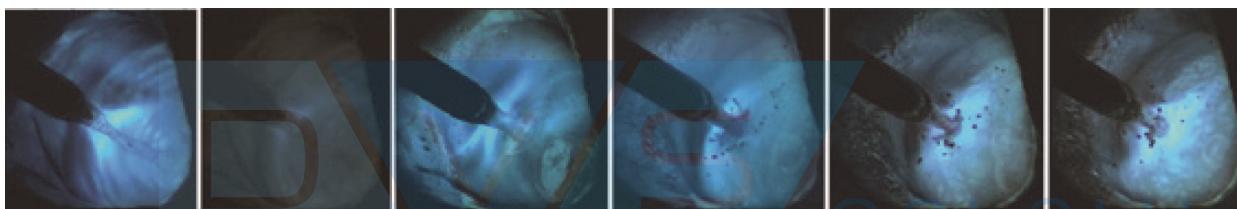


Abbildung 60: Lichtbogenunterbrechung und Wiederzündung des Lichtbogens beim Schweißen mit dem kurzen Sprühlichtbogen. Die Spritzer werden fast vollständig in der Schweißbadmulde aufgefangen.

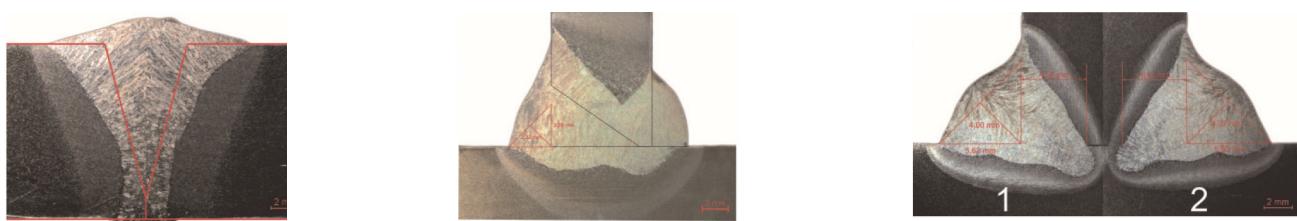


Abbildung 61: Beispiele für die Nutzung des Tiefeneinbrandeffektes beim Schweißen mit kurzen Sprühlichtbögen.(Alle Nähte mit einer Raupe geschweißt).

Beim Schweißen mit Stromstärken über ca. 400 A erfolgt der Werkstoffübergang rotierend, bogenförmig oder hakenförmig, Abbildung 62. Der rotierende Lichtbogen erweitert den Seiteneinbrand im Bereich der mittleren Raupenhöhe. Die Einbrandtiefe in der Raupenmitte wird etwas reduziert.



Abbildung 62: Teils wendelförmiger, rotierender oder hakenförmiger Werkstoffübergang beim Schweißen mit dem kurzen Sprühlichtbogen über 400 A.

10.3 Modifizierter Impulslichtbogen

Basis des modifizierten Impulslichtbogens ist der geregelte Impulslichtbogen. Gegenüber dem konventionellen Impulslichtbogen (im Sinne einer Thyristorsteuerung, vergl. Vorangegangener Abschnitt) zeichnen sich geregelte Impulslichtbogenprozesse durch die größere Anzahl an Parametern aus, welche im Allgemeinen eine Steuerung durch Synergiekennlinien erfordern.

Auf Grund der vielfältigen Parameter des Impulslichtbogens in möglicher Kombination mit anderen Effekten, Regelungsstrategien und Lichtbogentypen bestehen vielfältige Möglichkeiten der Modifikation des Impulslichtbogens mit dem Ziel der Optimierung bestimmter Prozesseigenschaften. Zur Ausprägung besonderer Eigenschaften sind Folgende Modifikationen bekannt:

- Abweichungen von der Konvention des „ein Tropfen pro Puls“-Prinzips
- wahlweise Nutzung einer Strom- oder Spannungsregelung in der Impulsphase
- Verkürzung der Lichtbogenlänge zum pulsangeregten Werkstoffübergang in einer geregelten Kurzschlussphase zur vorteilhaften Kombination der Eigenschaften des Impulslichtbogens mit denen des Kurzlichtbogens
- Nutzung einer temporär an den Impuls anschließenden kurzen Sprühlichtbogenphase zur vorteilhaften Kombination der Eigenschaften des Impulslichtbogens mit denen des Sprühlichtbogens

10.4 Wechselstromprozesse

Die Polarität der abschmelzenden Elektrode während der Lichtbogenphase beeinflusst stark den Prozess. Ein gesteuerter Wechsel der Polarität mittels zusätzlicher Leistungselektronik während bestimmter Phasen des Schweißprozesses ist damit ein weiterer Freiheitsgrad der Prozessführung. Die Anwendung von Wechselstrom (AC = alternative current) in Verbindung mit dem Impulslichtbogen ist hier am bekanntesten, gleichwohl nicht technisch darauf beschränkt. Vorteile entstehen hauptsächlich durch gute Spaltüberbrückungseigenschaften und in Anwendungen geringer Energieeinbringung und Aufmischung.

10.5 Kombinierte Prozessvarianten

Modifikationen der Steuerung und Regelung von Prozessen auf der Zeitebene jedes einzelnen Werkstoffübergangs mit bestimmten Eigenschaften gilt auch für die Wärmeführung, den Energieeintrag, das Einbrandprofil, die Nahtoberfläche (z.B. Schuppung). Kombinierte Prozessvarianten erreichen spezielle neue Eigenschaften. Die Kombination erfolgt hauptsächlich zeitlich zyklisch und zwar sowohl in unterschiedlicher energetischer Höhe, als auch untereinander vom Typ sich ständig abwechselnd. Die Ausprägungsrichtungen sind speziell aufgabenorientiert.

Zielwirkungen kombinierter Prozessvarianten:

- Erstarrungsverhalten, Oberflächenstruktur
- Erstarrungsverhalten im Positionsschweißen, (Badstütze)
- Einbrandverhalten, Aufmischung
- Verringerung des Gesamt-Energieeintrags

Unterscheidungsmerkmale kombinierter Prozessvarianten sind:

- Art und Existenz eines Führungsparameters
- Auswahl und Eigenschaften der einzelnen Prozessvarianten, welche kombiniert werden
- Zyklusfrequenz der Kombination(en)
- Einzelintervall-Zeiten der Prozessvarianten (Balance) in ihrer Kombination

10.6 Zykatische Drahtbewegung

Eine zyklische Veränderung der Drahtvorschubgeschwindigkeit kann bereits Merkmal von kombinierten Prozessvarianten sein. Durch die gewonnenen zusätzlichen Freiheitsgrade bei der Prozesssteuerung und Prozessregelung sind mit diesen Prozessvarianten vielfältige Verbesserungen am Schweißprozess möglich.

10.7 Herstellerbezeichnungen

Viele Stromquellenhersteller haben ihren Prozessregelvarianten eigene Namen gegeben. Das Merkblatt DVS 0973, Beiblatt 1 gibt eine Übersicht zu den auf dem Markt anzutreffenden Namen, den Herstellern und den genutzten Prozessregelvarianten, Tabelle 11.

Tabelle 11: Übersicht Prozessnamen, Hersteller und Prozessregelvarianten

Dezember 2015

DVS – DEUTSCHER VERBAND FÜR SCHWEISSEN UND VERWANDTE VERFAHREN E. V.	Tabellarische Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Schweißens	 Merkblatt DVS 0973 Beiblatt 1
--	---	--

1 Tabellarische Übersicht der Prozessregelvarianten für das MSG-Schweißen

Bezeichnung	Hersteller	5.3 Geregelter Kurzlichtbogen	5.3.1 Spritzerarmer KLB	5.3.2 Energiereducierter KLB	5.3.3 Leistungsgesteigerter KLB	5.5 Modifizierter SLB	5.6 Impulslichtbogen	5.7 Modifizierter ILB	5.8 Wechselstromprozess	5.9 Kombinierte Prozessvariante	5.10 Zyklische Drahtbewegung
CMT (Cold Metal Transfer)	Fronius	x	x	x	x						x
CMT Advanced	Fronius	x	x	x	x				x	x	x
CMT Pulse	Fronius							x		x	x
ColdArc	EWM	x	x	x							
ColdMIG	Merkle	x	x	x							
ColdWeld	Cloos	x		x					x		
ControlWeld	Cloos	x	x								
DeepArc	Merkle					x					
FOCUS.ARC	Rehm	x		x		x					
FOCUS.PULS	Rehm							x			
ForceArc	EWM					x					
HighUP	Merkle	x					x			x	
newArc	Kjellberg	x	x		x	x					
RapidWeld	Cloos					x					
RootArc	EWM	x	x	x							
LSC (Low Spatter Control) & LSC Advanced	Fronius	x	x	x							
PCS (Puls Controlled Spray Arc)	Fronius					x					
PMC (Pulse Multi Control)	Fronius							x			
POWER.ARC	Rehm	x		x							
ProSWITCH	Merkle									x	
SpeedArc	Lorch	x				x					
SpeedCold	Lorch	x	x	x							
SpeedPulse	Lorch						x	x			
SpeedRoot	Lorch	x	x								
SSA (SpeedShortArc)	SAF Oerlikon	x			x						
SpeedUp	Lorch	x					x	x		x	x
WiseRoot	Kemppi	x	x								
WiseThin	Kemppi	x		x							

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe Schweißen mit abschmelzender Elektrode MIG/MAG

11 Mögliche Fehler beim MIG/MAG-Schweißen

Fehler beim MIG/MAG-Schweißen können Risse, Poren, Schlackeneinschlüsse, Bindefehler, Einbrandkerben, Spritzer und eine ungünstige Nahtgeometrie sein.

11.1 Bindefehler am Nahtanfang, Nahtüberlappung und Nahtansatz, Endkrater am Raupenende

Alle Lichtbogenschweißverfahren mit abschmelzender Elektrode schmelzen gleichzeitig mit Beginn der Wärmeeinbringung durch den Lichtbogen auch Zusatzwerkstoff ab. Am Nahtanfang, bei Nahtansatzstellen und Nahtüberlappungen bleibt oft ein ungenügend verschweißter Bereich.

Elektronische MIG/MAG-Anlagen haben Start- und Endprogramme, die z. B. einen spritzerfreien Schweißbeginn und ein Nahtende mit praktisch keinem Endkrater ermöglichen. Eine 100 %-ige Fehlervermeidung ist aber auch mit Startprogrammen (Heißstart) nicht immer möglich. An- und Ablaufbleche können bei Schweißverbindungen mit großen Qualitätsanforderungen zu fehlerfreien Nahtenden beitragen. Die Hilfs-teile helfen bei größeren Schweißströmen bei ausreichender Dimension zur Reduzierung der Blaswirkung, Spritzer- und Porenbildung an den Raupenenden, Abbildung 63.

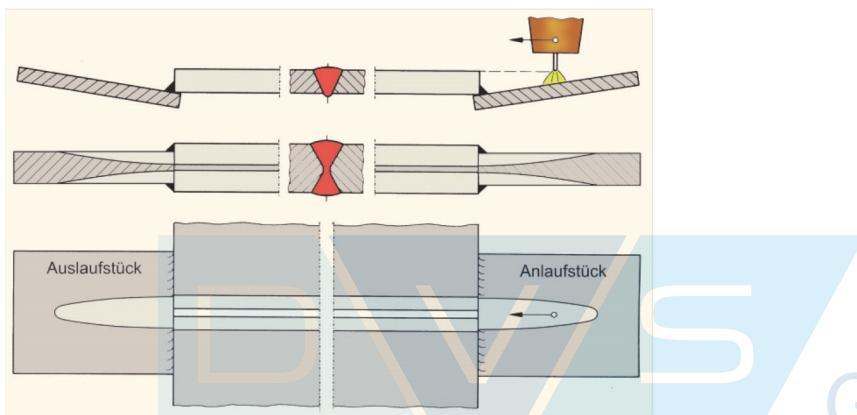


Abbildung 63: Beispiele von An- und Ablaufbleche beim Schweißen von dickeren Stumpfnähten.

Verbleibende Heftstellen und Ansatzstellen bei Raupenfortsetzungen müssen für das Erreichen von fehlerfreien Übergängen ausgeschliffen werden, Abbildung 64.

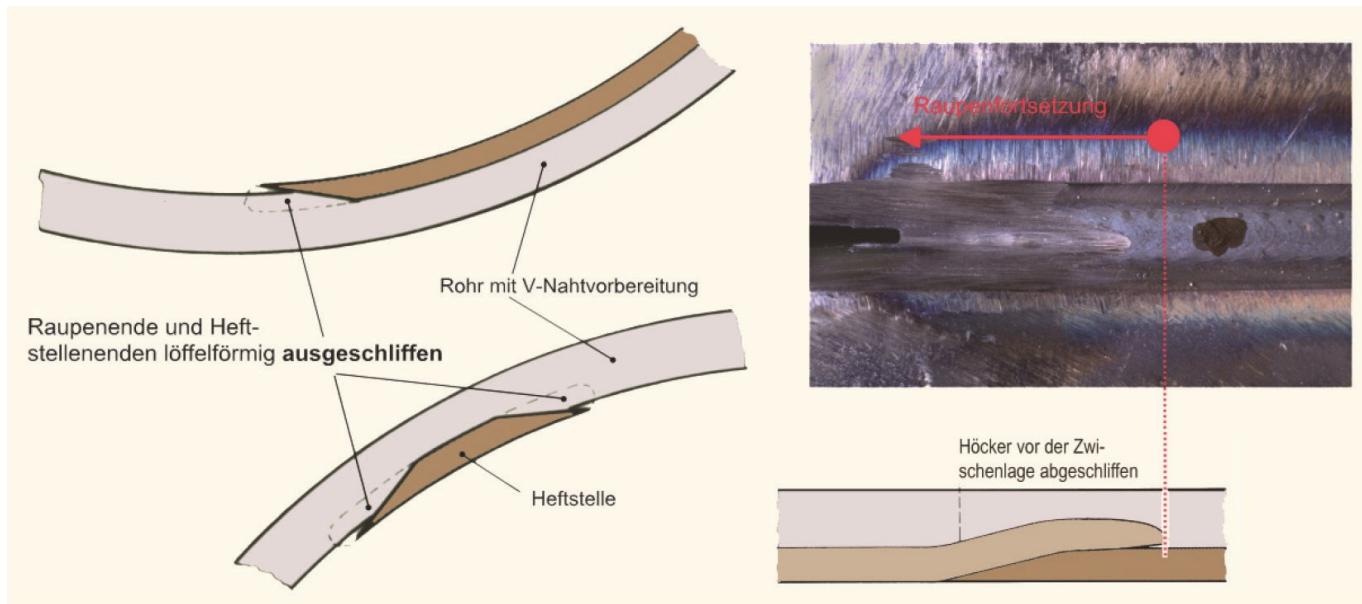


Abbildung 64: Vorbereitung von Nahtansatzstellen durch Schleifen zur Vermeidung von Ansatzbindefehlern

Bei großen Schweißbädern, durch hohen Strom und geringer Schweißgeschwindigkeit, kann am Ende ein sog. Endkrater auftreten. Dieser zeigt nicht nur eine unschöne Nahtoberraupe, sondern kann Anreicherungen von niedrigschmelzenden Verunreinigungen aufweisen, die ungünstige mechanische Gütekriterien (oft auch Risse) ergeben. Wenn der Fehler am Anfang oder Ende der Naht nicht ausreichend vermieden werden kann, so sind diese in Bereiche mit niedriger Belastung zu legen. Bei Rundnähten, die keine Fehler aufweisen dürfen, ist oft ein Ausschleifen unumgänglich.

11.2 Bindefehler in der Schweißnaht

Bindefehler in der Schweißnaht können durch nicht aufgeschmolzene Nahtflanken oder nicht aufgeschmolzene Schweißraupen entstehen. Es ist in der Regel nicht möglich, nur durch das heiße Schweißgut den Grundwerkstoff aufzuschmelzen. Die häufige Fehlerursache für Bindefehler ist ein vorlaufendes Schweißbad. Ein zu großes Schweißbad durch eine zu geringe Schweißgeschwindigkeit ist hier meistens die Ursache.

Andere Gründe für Bindefehler sind durch ungünstige Nahtgeometrie - zu kleiner Öffnungswinkel, fehlende Zugänglichkeit durch den Schweißbrenner oder einer ungünstigen Anordnung und Lage der vorher geschweißten Raupen – gegeben, Abbildung 65.

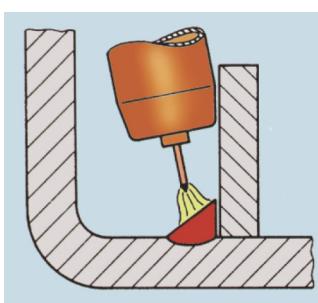


Abbildung 65: Bindefehler durch eingeschränkte Zugänglichkeit und Sicht

Die Ursachen beim Schweißen auf vorlaufender Schmelze können sein:

- Abschmelzleistung, Schweißbadvolumen zu groß
- Schweißgeschwindigkeit zu langsam
- Brennerneigung zu stark stechend
- Schweißraupen zu breit, zu dick
- Pendeln des Brenners nicht der Fugenform angepasst
- Nahtneigung in Schweißrichtung zu groß

11.3 Poren

Poren sind mit Gas(en) gefüllte kugel- oder schlauchförmige Hohlräume im erstarrten Schweißgut. Die Poren bilden sich im Schweißbad am Übergang von flüssig zu fest, wenn vor der Erstarrungsfront die gelösten Gase nicht rechtzeitig entweichen, Abbildung 66.

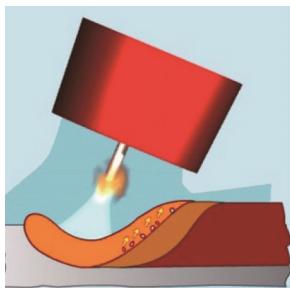


Abbildung 66: Porenvermeidung durch das Entweichen der gelösten Gase vor dem Erstarren des Schweißgutes

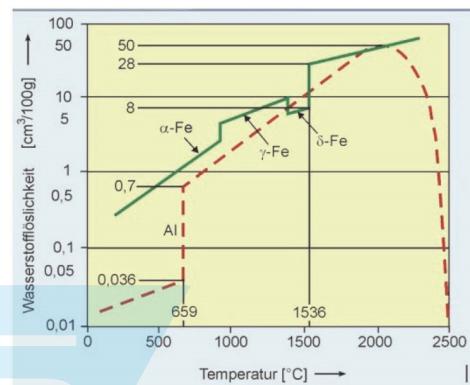


Abbildung 67: Wasserstofflöslichkeit in Aluminium und Eisen in Abhängigkeit von der Temperatur

Als porenerzeugende Gase kommen beim Schweißen von un- und niedriglegierten Stählen vor allem Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenmonoxid wegen ihres Lösungsvermögens im flüssigen Schweißgut in Frage. Beim Schweißen von Al-Werkstoffen werden Poren meistens durch zu hohe Wasserstoffgehalte verursacht. Der Grund ist die geringe Löslichkeit von Wasserstoff im erstarrten Aluminium und Eisen, Abbildung 67.

Poren lassen sich bei den meisten Werkstoffen vermeiden. Bei Aluminiumwerkstoffen ist aber eine absolut porenfreie Naht kaum möglich. Wenn durch die Nahtform und Schweißposition ein Ausgasen behindert wird, bleiben die Gaseinschlüsse im Schweißgut.

Wichtige Ursachen bei der Entstehung von Poren sind:

- Fehler am Brenner
- ungünstige Brennerführung
- Zugluft
- magnetische Blaswirkung
- zu langer Lichtbogen
- Seigerungen
- ungeeignetes Schutzgas oder ungeeignete Drahtelektrode
- Beschichtungen, Verschmutzungen, ungenügende Oxidentfernung bei Aluminium
- Schnittkanten beim Laserschneiden mit Stickstoff
- Hohlräume
- geringe Löslichkeit von Gasen (z.B. Wasserstoff bei Al)

Die Abbildungen 68 bis 72 zeigen Ursachen für die Porenbildung beim MIG/MAG-Schweißen.



Abbildung 68: Poren durch Fehler am Brenner



Abbildung 69: Porenbildung durch falsche Brennerhaltung

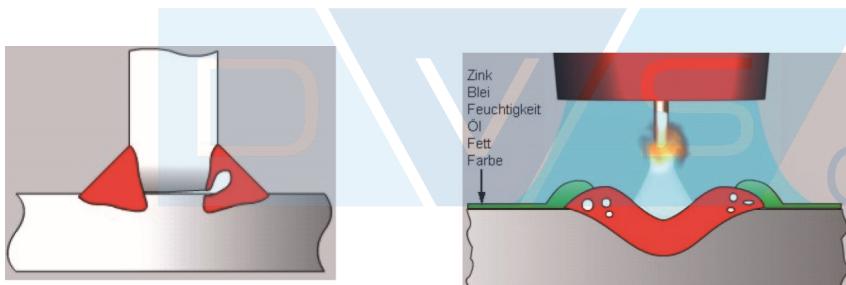


Abbildung 70: Porenbildung durch das Eindringen von Gasen und Dämpfen aus Hohlräumen (Porenbildung durch mechanische Ursachen)

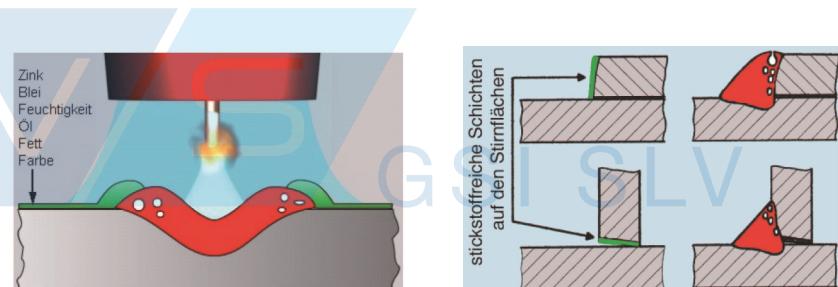


Abbildung 71: Poren durch Beschichtungen

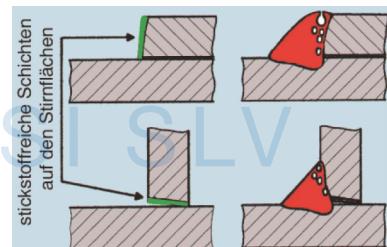
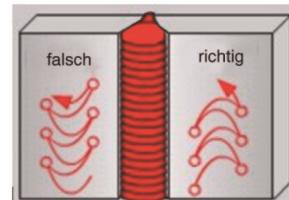
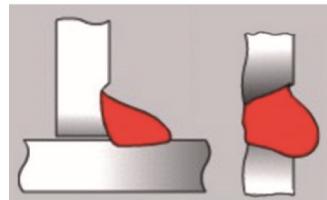


Abbildung 72: Poren durch Laser- und Plasmaschnitte mit N₂-haltigen Schneidgeschen

11.4 Kerben an den Raupenrändern

Randkerben oder zu stark überhöhte Nähte sind häufige Fehler an der sichtbaren Naht, Abbildung 73. Durch Änderung der Schweißdaten, Arbeitstechniken Nahtdreh- und Nahtneigungswinkel sind diese zu beheben.



- Spannung zu groß (Lichtbogen zu lang)
- Schweißgeschwindigkeit zu groß
- Brenner nicht gependelt
- Brenner nicht stehend geführt
- Brenner verkantet (einseitige Kerben)
- stark oxidierende Schutzgase (Schlackeablagerungen in den Kerben)
- Blaswirkung bei größeren Lichtbogenleistungen (Nahenden)
- Lichtbogenleistung zu groß
- Spannung zu groß (Lichtbogen zu lang)
- Drahtfördergeschwindigkeit zu klein
- Schweißgeschwindigkeit zu klein,
- Raupe zu dick, ungünstige Schweißposition
- Lichtbogenleistung zu groß
- Spannung zu groß
- Pendelbreite zu klein
- Verweildauer am Nahrand zu kurz
- Brennerführung ohne Bogen nach oben und Verweildauer an den Umkehrpunkten
- Schweißgeschwindigkeit zu groß

Abbildung 73: Ursachen für Randkerben

11.5 Risse

Beim MSG-Schweißen können Risse durch ungünstige Erstarrungsbedingungen und Werkstoffeigenschaften auftreten, Abbildung 74. Zu schwache Heftnähte, sehr starke Verformungsbehinderung der Bauteile, ungünstige Raupenprofile (schmale Raupen mit großer Raupenhöhe), zu hohe oder zu niedrige Bauteiltemperatur und heißrissanfällige Grundwerkstoffe fördern das Auftreten von Rissen. Rissarten und ihre Ursachen werden bei den Werkstoffen beschrieben.

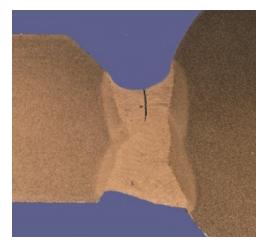
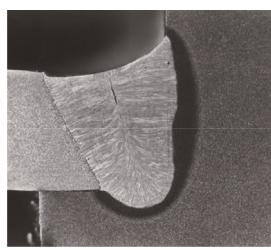


Abbildung 74: Risse beim MAG-Schweißen an Baustählen

12 Nahtvorbereitung (Überblick)

Die Wahl einer optimalen Nahtvorbereitung, Schweißposition, Nahtneigungswinkel und Nahtdrehwinkel erfolgt nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten und den Qualitätsanforderungen.

Die Stumpfnaht beispielsweise mit einer Wurzelschweißung ohne Schweißbadstütze erfordert einen sehr gut ausgebildeten Schweißer, ist sehr teuer aber bei dynamisch hoch belasteten Bauteilen oft nicht zu umgehen. In der Großserie werden Stumpfnähte ohne Schweißbadstütze kaum angewandt. Durch ein gezieltes Legen der Schweißnähte in Bereiche mit geringerer Beanspruchung können in vielen Fällen Kehl- und Überlappnähte anstelle von Stumpfnähten eingesetzt werden. Diese können in der Regel ohne Badsicherung und mit hoher Abschmelzleistung geschweißt werden.

Die Nahtvorbereitung für verschiedene Werkstoffgruppen ist genormt in:

DIN EN ISO 9692-1:

Schweißen und verwandte Prozesse – Empfehlungen zur Schweißnahtvorbereitung – Teil 1: Lichtbogenhandschweißen, Schutzgasschweißen, Gassschweißen, WIG-Schweißen und Strahlschweißen von Stählen

DIN EN ISO 9692-3:

Schweißen und verwandte Prozesse – Empfehlungen für Fugenformen – Metall-Inertgasschweißen und Wolfram-Inertgasschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen

DIN 8552-3:

Schweißnahtvorbereitung – Fugenformen an Kupfer und Cu-Legierungen, Gassschmelzschweißen und Schutzgassschweißen

DIN EN 12627:

Industriearmaturen – Anschweißenden für Armaturen aus Stahl

In den Tabellen 12 bis 16 sind einige Beispiele exemplarisch dargestellt.

Tabelle 12: Schweißnahtvorbereitung für Stumpfnähte, einseitig geschweißt (Auszug aus DIN EN ISO 9692-1)

Kennzahl Nr.	Werkstückdicke t mm	Art der Schweißnahtvorbereitung	Symbol (nach ISO 2553)	Schnitt	Winkel ^a α, β	Maße	Darstellung	Bemerkungen	
						Spalt ^b mm	Steghöhe c mm	Flanken-höhe h mm	Empfohlener Schweißprozess ^c (nach ISO 4063)
1.1	≤ 2	Kantenbördeln			-	-	-	-	3 111 141 512
1.2.1	≤ 4	I-Fuge			$\approx t$	$6 \leq b \leq 8$	-	-	3 111 141
1.2.2	$3 < t \leq 8$								13
	≤ 15								141 °
									52
1.3	$3 < t \leq 10$	V-Fuge			$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 4	≤ 2	-	3 111 13 141
1.4	> 16	Steilflanken V-Fuge			$5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$	$5 \leq b \leq 15$	-	-	111 13

^a Für Schweißen in Position PC nach ISO 6947 (Querposition) auch größer und/oder unsymmetrisch.

^b Die angegebenen Maße gelten für den gehaltenen Zustand.

^c Der Hinweis auf den Schweißprozess bedeutet nicht, dass er für den gesamten Bereich der Werkstückdicken anwendbar ist.

^d Mit Schweißzusatz.

Tabelle 13: Schweißnahtvorbereitungen für Stumpfnähte, beidseitig geschweißt (Auszug aus DIN EN ISO 9692-1)

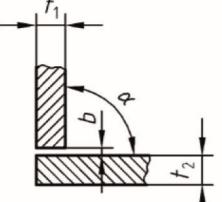
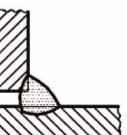
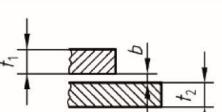
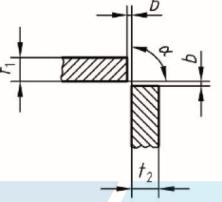
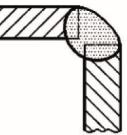
Kennzahl Nr.	Werkstückdicke t mm	Art der Schweißnahtvorbereitung	Symbol (nach ISO 2553)	Schnitt	Winkel ^a α, β	Maße			Empfohlener Schweißprozess ^c (nach ISO 4063)	Darstellung	Bemerkungen
						Spalt ^b b mm	Steghöhe c mm	Flankenhohe h mm			
2.1	≤ 8	I-Fuge			$\approx \frac{t}{2}$ $\leq \frac{t}{2}$ 0	-	-	-	111 141		-
									13		
	≤ 15								52		
2.2	$3 \leq t \leq 40$	V-Fuge		$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 3	≤ 2	-	111 141		Gegenlage ist angegeben
									13		
									111 141		
2.3	> 10	Y-Fuge		$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$2 \leq c \leq 4$	-	111 141		In Sonderfällen auch für kleinere Werkstückdicken und Prozess 3 möglich; Gegenlage ist angegeben
									13		
2.4	> 10	Doppel-Y-Fuge		$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \approx 60^\circ$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 6$	$h_1 = h_2 = \frac{t-c}{2}$	111 141		-
									13		
									111 141		

^a Für Schweißen in Position PC nach ISO 6947 (Querposition) auch größer und/oder unsymmetrisch.

^b Die angegebenen Maße gelten für den gehäfteten Zustand.

^c Der Hinweis auf den Schweißprozess bedeutet nicht, dass er für den gesamten Bereich der Werkstückdicken anwendbar ist.

Tabelle 14: Schweißnahtvorbereitungen für Kehlnähte, einseitig geschweißt (Auszug aus DIN EN ISO 9692-1)

Kennzahl Nr.	Werkstück-dicke t mm	Art der Schweiß-nahtvorbereitung	Symbol (nach ISO 2553)	Schnitt	Maße	Empfohlener Schweiß- prozess ^a (nach ISO 4063)	Darstellung	
					Winkel α, β	Spalt b mm		
3.1.1	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Stirnfläche rechtwinklig			$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$	≤ 2	3 111 13 141	
3.1.2	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Stirnfläche rechtwinklig			-	≤ 2	3 111 13 141	
3.1.3	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Stirnfläche rechtwinklig			$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$	≤ 2	3 111 13 141	

a) Der Hinweis auf den Schweißprozess bedeutet nicht, dass er für den gesamten Bereich der Werkstückdicken anwendbar ist.

b) Symbol ist nur für $\alpha = 90^\circ$ anwendbar.

Tabelle 15: Nahtvorbereitung für das MIG-Schweißen an Aluminium (Dünndraht)

Werkstück-dicke t mm	Nahtart	Nahtaufbau (schematisch)	Abstand b mm	Steghöhe c mm	Öffnungs-winkel α	Bemerkungen
1 4			0 ... 0,25 t	---	---	Badsicherung erleichtert das Schweißen
5 10			< 1,0	---	---	von beiden Seiten geschweißt
5....12			< 1,0	2,5	90°	Badsicherungen erleichtern das Herstellen fehlerfreier Wurzellagen
5....20			< 1,0	2,5	60°	Wurzellagen in Zwangspositionen können ohne Badsicherung leichter mit dem Prozess WIG oder WPL geschweißt werden

Tabelle 16: Nahtvorbereitung für das MIG-Schweißen an Aluminium (Dickdraht)

Werkstück-dicke t mm	Nahtart	Nahtaufbau (schematisch)	Abstand b mm	Steghöhe c mm	Öffnungs-winkel α	Bemerkungen
> 18			5....7	5	70°	Beilage mindestens 12 mm dick Drahtelektrodendurchmesser: 2,4 oder 3,2 mm
> 30				18 bei ca. 700 A	90°	Steghöhe abhängig von der Stromstärke Drahtelektrodendurchmesser: 2,4 oder 3,2 mm

13 Schweißbadsicherungen

Eine Schweißbadsicherung ist bei Stumpfnähten, seltener bei Kehlnähten, notwendig, wenn ein Gegen-schweißen von der anderen Seite vermieden werden soll oder nicht möglich ist. Es ist zu prüfen, welche Schweißbadsicherungen geeignet sind oder ob eine andere Naht geschweißt werden kann.

Beispiele von Schweißbadsicherungen für das MIG/MAG-Schweißen, Abbildung 75.

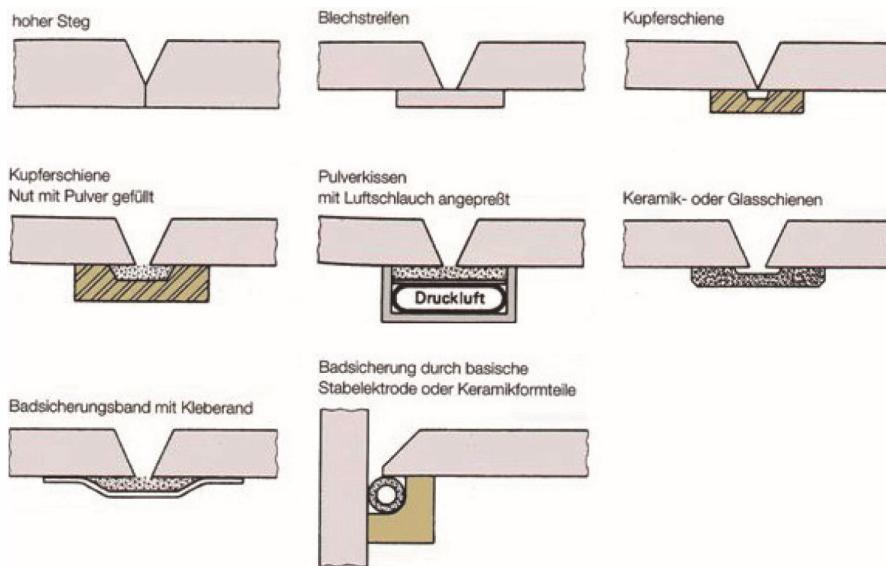


Abbildung 75: Schweißbadsicherungen für das MIG/MAG-Schweißen

Häufig angewandt werden bei kleineren, geraden Bauteilen Spannvorrichtungen mit Kupferschienen. Diese haben in der Regel eine Nut, die je nach Anforderungen und Werkstoff auch mit Schutzgas oder Formiergas gespült werden kann. Bei häufiger Benutzung sind diese Kupferschienen auch wassergekühlt. Kupferschienen ohne Nut können Fehler in der Nahtwurzel erzeugen.

Andere Schweißbadsicherungen sind aus Keramik, Glas oder verwenden ein pulverbeschichtetes Klebeband (alle nur einmal benutzbar). Auf ein Pulverkissen wird bei größeren Bauteilen geschweißt (siehe auch Unterpulverschweißen).

Bei Schweißbadsicherungen, die angeschweißt werden, ist zu beachten, dass Kerben und Spalten bleiben, die bei dynamischer und korrosiver Beanspruchung problematisch sein können.

Schweißbadsicherungen, die bei Drehteilen oder Pressteilen am Bauteil angebracht werden, können zugleich eine Fixierung bilden.

Sehr gut ist eine Schweißbadsicherung durch das Bauteil. Z.B. kann eine Y-Naht geschweißt werden, die auf der Gegenseite ausgekreuzt und gegengeschweißt wird.

Eine gute Methode ist die häufig beim UP-Schweißen angewandte, aber auch für das MIG/MAG-Schweißen geeignete Zweiseiten-Technik. Das Bauteil wird zuerst auf einer Seite geschweißt, dass mehr als die halbe Blechdicke aufgeschmolzen wird. Danach wird das Bauteil gewendet und auf der Gegenseite so geschweißt, dass sich die Nahtwurzeln überlappen.

In vielen Fällen, z. B. bei hohen Anforderungen und schwierigen Nahtverläufen ist es sinnvoll die Nahtwurzel mit dem WIG-Verfahren zu schweißen.

14 Verfahrensvarianten des MSG-Schweißens

14.1 MIG/MAG-Punktschweißen

Beim MIG/MAG-Punktschweißen wird der Brenner nicht oder z.B. bei Al-Werkstoffen nur ganz wenig über dem Werkstück positioniert. Dabei wird der Brenner mit einer Spezialgasdüse auf das Bauteil aufgesetzt. In der Düse sind Öffnungen für den Schutzgasaustritt und zum Beobachten der Schweißstelle, Abbildung 76 links. Geschweißt werden meist aufeinanderliegende Bleche (wie beim Widerstandspunktschweißen). Im oberen Blech ist meistens eine Bohrung, wodurch die Sicherheit der Verbindung deutlich gesteigert wird, besonders wenn zwischen Ober- und Unterblech ein Spalt vorhanden ist. Nur bei ganz dünnen Blechen und guter Passung kann das Loch im Oberblech entfallen. Anwendungen, wie sie in der Kfz-Reparatur üblich sind, Abbildung 76 rechts.

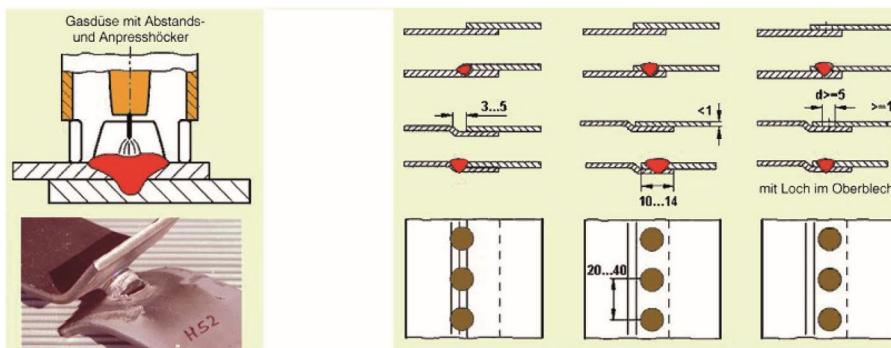


Abbildung 76: MAG-Punktschweißen mit Anwendungsbeispielen im Feinblechbereich

14.2 MSG-Löten

Die spezifischen Vorteile des MSG-Lötens verzinkter Bleche wurden mittlerweile auf weitere Anwendungen für aluminierte, unbeschichtete, niedriglegierte und hochlegierte Bleche erweitert. Speziell SG-CuSi3, SG-CuSn bzw. SG-CuAl8 werden häufig verwendet. Durch die niedrige Schmelztemperatur des Zusatzwerkstoffes von ca. 900-1100 °C erfolgt kein Aufschmelzen der Bleche. In der Praxis sind jedoch geringe Anschmelzungen der Werkstoff nicht immer vermeidbar. Wie bei anderen Lötprozessen werden im Idealfall die Werkstücke nur mit einer dünnen Diffusionsschicht benetzt, eine gute Spaltüberbrückung zeichnet dieses Verfahren zusätzlich aus.

Als Prozessgas werden Ar und zunehmend Mehr-Komponenten-Mischgase mit O₂, CO₂ sowie H₂ Anteile eingesetzt. Mit dem MSG-Löten im Pulsprozess sind beachtliche Lötgeschwindigkeiten bis 5 m/min möglich. Die Festigkeitswerte dieser Lötverbindungen sind zudem relativ hoch.

Die häufigsten Nahtarten sind in der Abbildung 77 dargestellt. Das Raupenprofil wird durch die Auswahl der Lichtbogenart beeinflussbar, Abbildung 78.



Abbildung 77: Häufige Nahtarten beim MSG-Löten

Kurzlichtbogen



Impulslichtbogen



Abbildung 78: Einfluss der Lichtbogenart auf das Profil der Lotraupe /2 /



MIG-gelötete B-Säulenverstärkung

Vorteile des MSG-Lötens an verzinkten Stählen können sein:

- weniger Wärmeeinbringung als beim Schweißen
- fast keine Spritzer und Poren
- gute Spaltüberbrückbarkeit
- hohe Lötgeschwindigkeit
- kein Flussmittel nötig
- keine Einbrandkerben am Raupenrand

Nachteilig beim MSG-Löten an Stählen sind:

- höhere Preise der Lotwerkstoffe im Vergleich zu Drahtelektroden aus Stahl
- an dünnen Werkstücken werden sehr flache Raupen meistens nur mit dem Impulslichtbogen erreicht
- in Werkstücksbereichen mit starken Verformungen (erhöhten Eigenspannungen) kann es zum Eindringen des flüssigen Lotes in den Grundwerkstoff entlang von Korngrenzen kommen.

Häufig verwendete Lotwerkstoffe: CuSi3, CuSi2Mn, CuAl8, CuAl8Ni2, CuMn13Al. Die höher legierten Lotwerkstoffe haben höhere Festigkeitseigenschaften.

Argon kann für alle Lotwerkstoffe als Schutzgas verwendet werden. Schwach oxidierende Schutzgase, wie Ar + 2% CO₂, Ar + 1% O₂, verbessern die Prozessstabilität deutlich.

14.3 MIG/MAG-Hochleistungsverfahren

Das MIG/MAG-Schweißen kann im Vergleich zu anderen Schweißverfahren schon in der konventionellen Form als Hochleistungsverfahren angesehen werden.

Eine Leistungserhöhung bedeutet entweder eine größere Abschmelzleistung, eine höhere Schweißgeschwindigkeit oder beides. Daneben kann die Wirtschaftlichkeit auch teilweise durch die Verminderung der Naht-Querschnittsflächen angehoben werden. Bei der Ausschöpfung der vielfältigen Möglichkeiten der MSG-Prozesse oder deren Kombinationen mit anderen Verfahren, müssen oft mehr Bedingungen erfüllt werden, um eine ausreichende Schweißnahtqualität zu gewährleisten. Die hohen Anforderungen an die Prozessstabilität können nur mit sehr guten Kontaktenschaften der Drahtelektroden und gut gestalteten Brennern erfüllt werden.

Dem manuellen MSG-Schweißen sind durch die thermische Belastung des Schweißers (auch bei guter Ausstattung mit Schutzbekleidung) und die hohen Anforderungen bei der Brennerführungsgenauigkeit Grenzen gesetzt. Beim teilmechanisierten MAG-Schweißen von Stählen liegen die maximale Abschmelzleistung bei ca. 9 kg/h (18 m/min bei 1,2 mm Drahdurchmesser) und die maximale Schweißgeschwindigkeit bei etwa 60 cm/min.

Überblick über die Leistungsbereiche von konventionellen und Hochleistungsschweißverfahren mit ein und zwei Drahtelektroden, Abbildung 79.

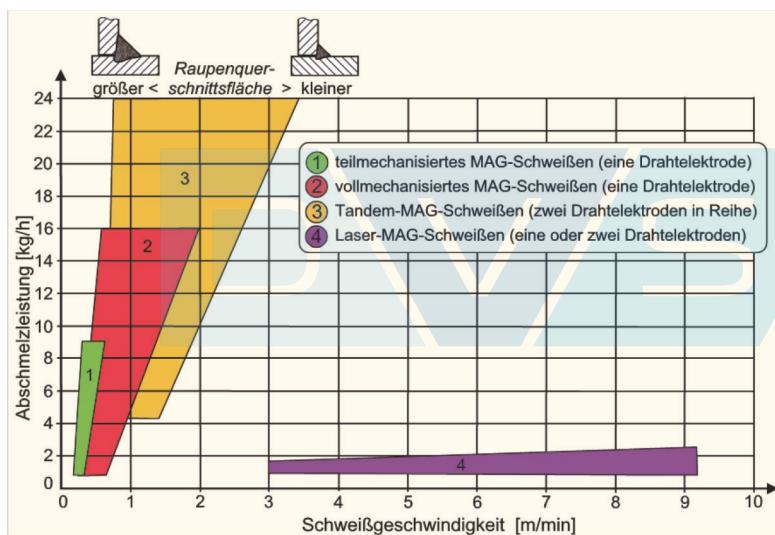


Abbildung 79: Leistungsbereiche des konventionellen MAG-Schweißens, des MAG-Hochleistungsschweißens mit einer und zwei Drahtelektroden sowie des Laser-MAG-Schweißens bei optimierten Randbedingungen

14.3.1 Hochleistungsverfahren mit einer Drahtelektrode

Die unterschiedlichen Arten des Werkstoffübergangs in Abhängigkeit von Drahtgeschwindigkeit und Spannung mit dem Raupenprofil, Abbildung 80.

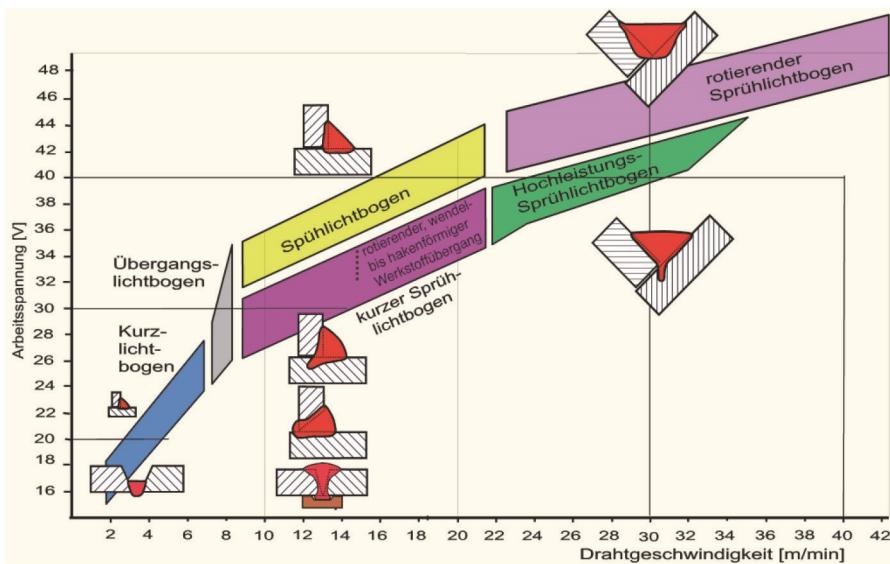
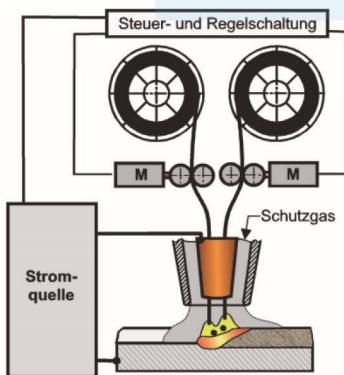


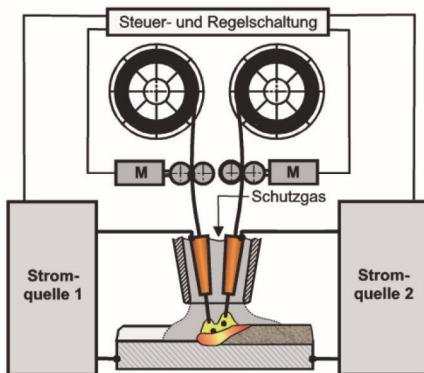
Abbildung 80: Arbeitsbereiche beim MAG-Schweißen mit einer Drahtelektrode und die typischen Raupenprofile, die dadurch erreicht werden.

14.3.2 Hochleistungsverfahren mit zwei Drahtelektroden

Es werden zurzeit zwei Verfahren mit zwei Drahtelektroden beim MIG/MAG-Schweißen eingesetzt. Das MIG/MAG-Doppeldraht- und das MIG/MAG-Tandemschweißen, **Abbildung 81**, Die Schweißstromzuführung ist bei beiden Verfahren unterschiedlich. Während bei Doppeldrahtschweißen beide Drahtelektroden von einer Stromquelle mit dem Schweißstrom versorgt werden, wird beim Tandemschweißen für jede Drahtelektrode eine eigene Stromquelle eingesetzt. Die einzusetzenden Brenner für MSG-Tandemschweißen, Abbildung 82.



- **MIG/MAG-Doppeldrahtschweißen:** argonreiches Mischgas, Impuls- oder Sprühlighbogen
- geringe bis sehr hohe Leistungen möglich
- sehr hohe Schweißgeschwindigkeiten erreichbar
- Verfahren mit zwei Drahtelektroden, einer Stromquelle, einem Brenner, einem Kontaktrohr
-



MIG/MAG-Tandemschweißen: argonreiches Mischgas, Kurz-, Impuls- oder Sprühlighbogen anwendbar

- geringe bis sehr hohe Leistungen möglich
- sehr hohe Schweißgeschwindigkeiten erreichbar
- Verfahren mit zwei Drahtelektroden, zwei Stromquellen, einem Brenner, zwei potentialgetrennten Kontaktrohren
- bessere Prozessstabilität und einfache Prozessoptimierung als beim MIG/MAG-Doppeldrahtschweißen möglich

Abbildung 81: MSG-Prozesse mit zwei Drahtelektroden

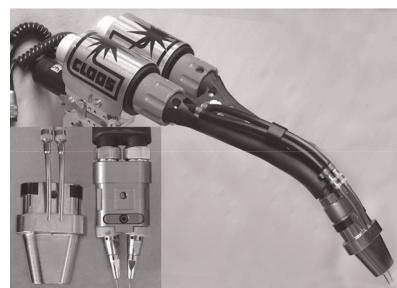
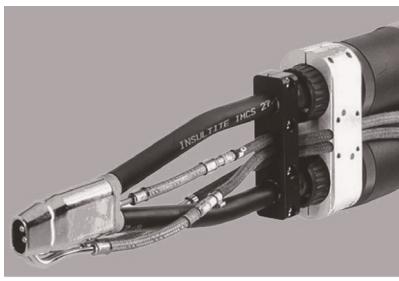


Abbildung 82: Brenner für das MSG-Tandemschweißen (Quelle Cloos)

14.3.2.1 MIG/MAG-Doppeldrahtschweißen

Durch das gemeinsame Kontaktrohr ist die Spannung an beiden Drahtelektroden annähernd gleich. Der Schweißstrom bildet sich nach dem Ohm'schen Gesetz (Parallelschaltung von Widerständen) aus. In der Regel wird die Stromstärke an beiden Drähten auch annähernd gleich sein. Leider gibt es auch Störungseinflüsse durch unterschiedliche Kontaktqualität zwischen den Drahtelektroden und dem Kontaktrohr durch Oberflächenmängeln der Drahtelektroden.

Es gibt aber auch die Möglichkeit, unterschiedliche Drahtgeschwindigkeiten, z. B. höhere Drahtgeschwindigkeit am ersten Draht (kurzer Lichtbogen) und einen etwas längeren Lichtbogen am zweiten Draht einzustellen. Damit kann ein tiefer Einbrand bei einer guten Nahtoberfläche erzielt werden.

Die magnetische Blaswirkung, die bei gleich gepolten Drahtelektroden zwei nebeneinander brennende Lichtbögen aufeinander zu bewegt, wird hier positiv genutzt. Durch den in Abhängigkeit von Schweißstrom und Schutzgas optimierten Drahtabstand bewirkt die magnetische Ablenkung, dass die übergehenden Tropfen in der Mitte zwischen den beiden Drähten das Schweißbad erreichen.

14.3.2.2 MIG/MAG-Tandemschweißen

Diese Verfahrensvariante wird z. Z. bevorzugt, da es gegenüber der Doppeldrahttechnik eine größere Stabilität bei Störungen bietet und beim Tandemschweißen die beiden Lichtbögen mit unterschiedlichen Einstellwerten besser an die Schweißaufgabe angepasst werden können. Die erreichbaren Abschmelzleistungen und Schweißgeschwindigkeiten sind dagegen weitgehend gleich.

Die magnetische Blaswirkung, die auch beim Tandemschweißen wirkt, kann aber durch den Einsatz von zwei Impulslichtbögen, die um 180° phasenverschoben sind, weitgehend aufgehoben werden. Die Abschmelzleistung bei Stahl mit phasenverschobenem Impulslichtbogen ist auf etwa 18 kg/h begrenzt. Ohne diese Phasenverschiebung werden im Sprüh- oder Impulslichtbogen Abschmelzleistungen von über 25 kg/h erzielt. Im Dünnblechbereich sind Schweißgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/min möglich.

Weitere Anwendungen sind das MIG/MAG-Tandem-Auftragschweißen und das Tandemschweißen mit Fülldrahtelektroden.

Beide Verfahren werden wegen der hohen Schweißgeschwindigkeit nur vollmechanisch angeboten. Als Schutzgase werden bei Stahl meistens handelsübliche argonreiche Zweistoffgemische eingesetzt.

Schweißnahtquerschnitte beim Mehrdrahtschweißen einer Kehlnaht und Tandemschweißen eines Überlappstoßes mit größeren Schweißgeschwindigkeiten, Abbildung 83, Abbildung 84.

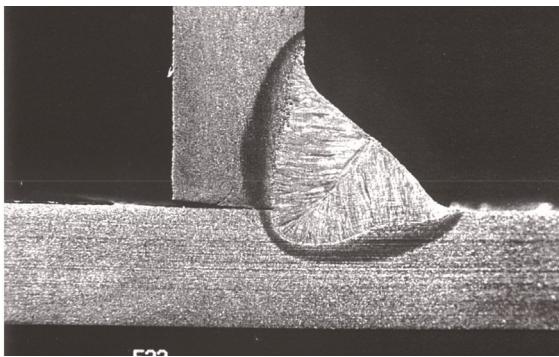


Abbildung 83: MAG-Mehrdrahtschweißen einer Kehlnaht a-Maß = 4 mm) an Stahl. Blechdicke 5 mm, Abschmelzleistung 14,8 kg/h, Schweißgeschwindigkeit 1,9 m/min

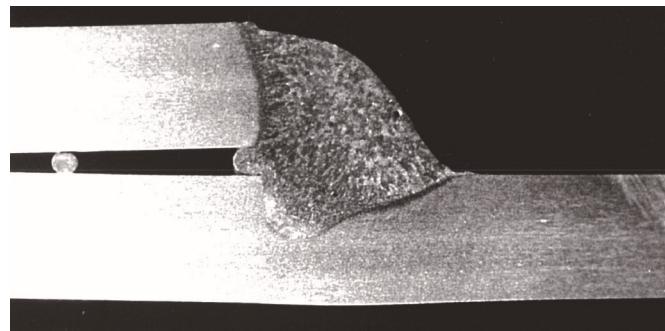


Abbildung 84: MIG-Tandemschweißen einer Überlapp-naht an AlMg2,7Mn, Blechdicke 4 mm, Abschmelzleistung 6,6 kg/h, Schweißgeschwindigkeit 3,0 m/min

14.4 Plasma-Metall-Schutzgasschweißen

Das Plasma-MSG-Schweißen mit konzentrisch angeordneten Plasmalichtbögen, Abbildung 85 links. Dieses Verfahren ist eine Kombination von Plasmabrenner und MSG-Brenner. Am Nahtanfang kann der ringförmige Plasmalichtbogen den Grundwerkstoff aufschmelzen, bevor die Drahtelektrode abgeschmolzen wird. Die Gefahr von Poren und Bindefehlern wird z. B. bei Al-Werkstoffen (über dem Feinblechbereich) dadurch verringert. Der Brennerkopf hat einen relativ großen Durchmesser. Der Plasma- und MSG-Lichtbogen können auch in Reihe angeordnet werden, Abbildung 85 rechts und Abbildung 86. Beide Varianten haben bislang keine große Verbreitung gefunden, können jedoch bei speziellen Anwendungen sinnvoll eingesetzt werden.

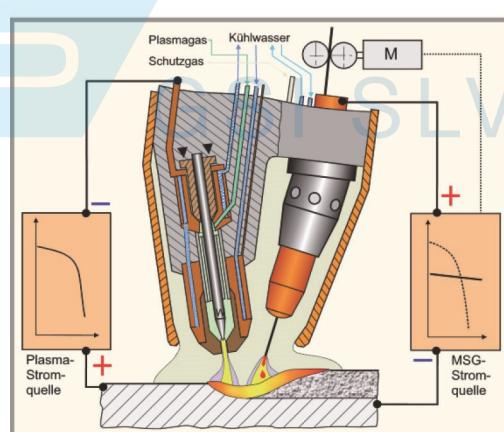
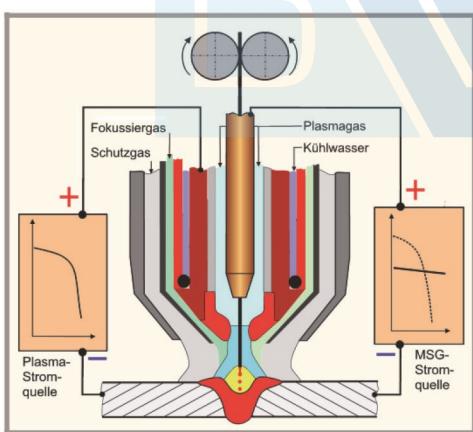


Abbildung 85: Schema des Plasma-MSG-Schweißens mit konzentrisch angeordnetem Plasmalichtbogen und mit in Reihe angeordneten Lichtbögen.

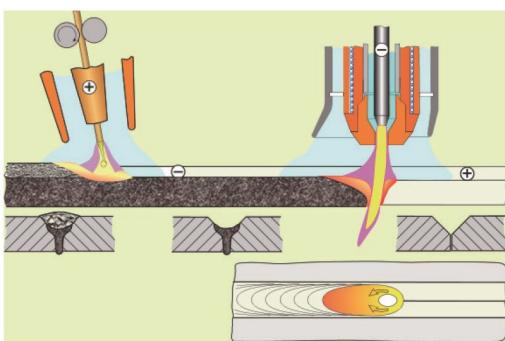


Abbildung 86: Schema des Plasma-MSG-Schweißens mit in Reihe angeordneten Brennern und zwei Schweißbädern

14.5 Laser-MSG-Schweißen

Beim Schweißen mit höheren Leistungen mit dem Laser an dickeren Bauteilen (Stähle und Al-Werkstoffe) sind die Raupen oft nicht ausreichend gefüllt. Durch die Kombination mit Lichtbogenprozessen können Bauteilabweichungen und Lageveränderungen der Werkstücke auch bei hohen Schweißgeschwindigkeiten besser ausgeglichen werden.

Eine Übersicht über die z. Z. angewendeten Prozesskombinationen mit dem Laser-MSG-Schweißen, siehe Abbildung 87.

Diese Variante hat bislang noch keine große Verbreitung gefunden, kann aber bei speziellen Anwendungen sinnvoll eingesetzt werden.

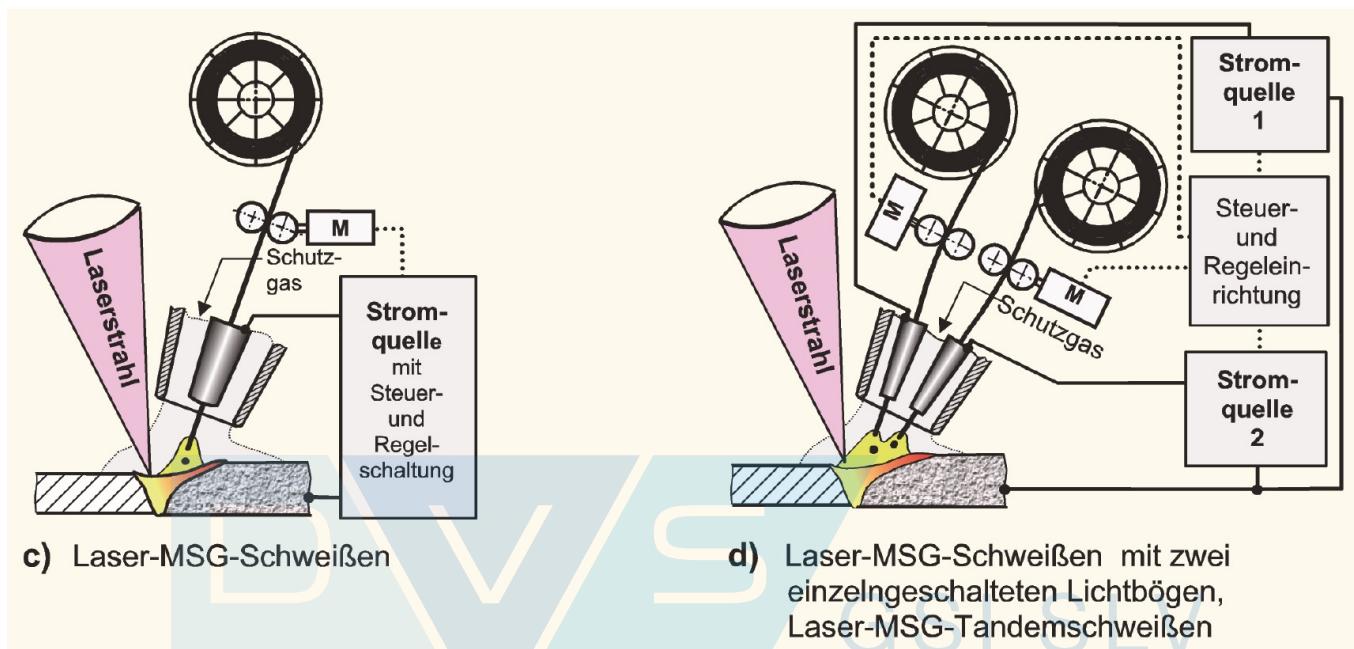


Abbildung 87: Schemen der Laser-MSG-Schweißen

15 Elektrogasschweißen

Dieser Prozess ist eine spezielle Variante des MSG-Schweißen und hat als Kennzahl gemäß DIN EN 4063 die Nummer 73.

Mit diesem Verfahren werden hohe dicke, senkrecht stehende Bauteile, mit hoher Abschmelzleistung als I-Naht mit Spalt verbunden. Es entsteht ein großes Schweißbad, das durch seitlich angebrachte wassergekühlte Kupferbacken gehalten wird. Die Vorrichtung mit Brenner und Kupferbacken wird bei steigendem Schweißbad kontinuierlich nach oben gezogen, Abbildung 88.

Die mechanischen Gütekriterien dieser Verbindungen können durch das große Schweißbad geringer sein als bei Nähten in Viellagentechnik. Durch Zusatzwerkstoffe mit Feinkornbildung sind Verbesserungen möglich. Bislang ist der Marktanteil dieser Variante jedoch gering.

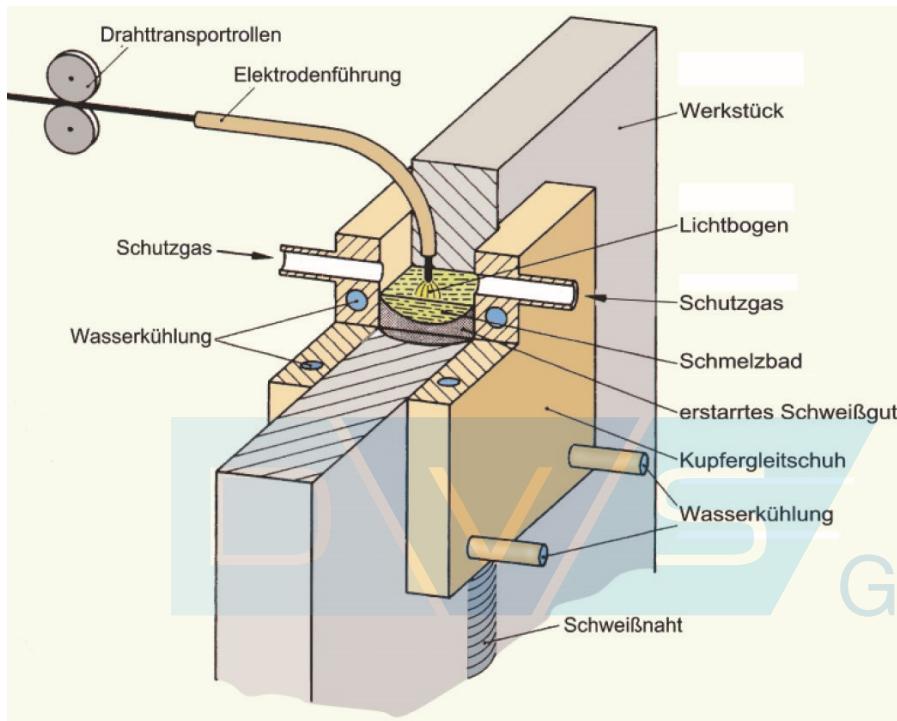


Abbildung 88: Schema des Elektrogassschweißens

16 Literatur

- /1/ DIN Taschenbuch 191, Schweißtechnik 4. Beuth-Verlag
- /2/ Baum L. und Fichter, V.: Der Schutzgassschweißer, Teil 2 – MIG/MAG-Schweißen. Die Schweißtechnische Praxis, Band 12 (1999), DVS-Verlag, Düsseldorf.
- /3/ Dilthey, U.: Energiebilanz der Bogensäule. DVS-Berichte 30 (1974), S.139-156.
- /4/ Knoch, R.: Schweißkennwerte für das MAG-Schweißen. DVS-Berichte, Band 91, DVS-Verlag.
- /5/ Merkblatt DVS 0913: MIG-Schweißen von Aluminium
- /6/ Merkblatt DVS 0912, Metallschutzgassschweißen von Stahl, Teil 1 – Vermeiden von Bindefehlern, Teil 2 – Vermeiden von Poren.
- /7/ Merkblatt DVS 0909-1: Grundlagen des MSG-Hochleistungsschweißens mit Massivdrahtelektroden, Definitionen und Begriffe.
- /8/ Merkblatt DVS 0926: Anforderungen an Energiequellen zum Metallschutzgassschweißen.
- /9/ Merkblatt DVS 0932: MAG-Einstellpraxis – Verfahrens- und bauteilabhängige Einflüsse auf die Nahtgeometrie.

