

6. Schweißen für Anfänger

Sie haben noch nie eine Schweißung durchgeführt, möchten dies aber gerne einmal tun - kein Problem - in diesem Kapitel wird Ihnen jeder Handgriff schrittweise erklärt.

Vergessen Sie jedoch niemals:



Schweißen ist gefährlich und kann bei unsachgemäßer Anwendung schwere Verletzungen hervorrufen! Wir übernehmen ausdrücklich keine Haftung für die in diesem Kapitel beschriebenen Tätigkeiten und daraus evtl. resultierenden Verletzungen oder Beschädigungen! Stellen Sie sicher, dass Sie die vorangegangenen Kapitel gelesen und vollinhaltlich verstanden haben. Im speziellen Kapitel 1 - Sicherheitshinweise.

6.1. Was wird gebraucht

Der Einfachheit halber wird die erste Schweißung eine MMA (Handelektroden) Schweißung sein. Sie werden auf einer Platte mittig eine „unnötige“ Schweißnaht setzen (das nennt man Auftragsschweißen).

Folgende Komponenten werden benötigt:

- Schweißerschutz mit Schutzglas (eine Sonnenbrille ist NICHT ausreichend!), Gehörschutz, Schweißhandschuhe, Lederschürze
- Schweißgerät (tauglich für MMA Handelektroden), Elektrodenhalter und Werkstückklemme
- Einige rutilumhüllte Stabelektroden RC3, Ø3,2mm
- 2 Baustahlplatten unlegiert, nicht gehärtet (das nennt man Weichstahl). Die Stärke sollte in etwa 5-8mm sein. Die Abmessungen sind eigentlich egal, jedoch sollten die Platten nicht kleiner als 20x30cm sein.
- Einen geschützten, windstillen Arbeitsplatz an dem Sie niemanden (auch nicht sich selbst) gefährden.

6.2. Was ist Schweißen eigentlich

Unter Schweißen versteht man die Vereinigung von Grundwerkstoffen unter Anwendung von Wärme, mit oder ohne Druck bzw. mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff.

Durch die Vereinigung ergibt sich ein kontinuierlicher innerer Aufbau der verbundenen Metalle. Das Ergebnis des Schweißens ist die Schweißnaht. Schweißverbindungen können somit eine ideale Verbindung von Stahlbauteilen sein, da die Kräfte unmittelbar, das heißt ohne weitere Stoßbauteile, übertragen werden.

6.2.1 Elektrodenschweißen (MMA / E-Hand)

Stahlkern und Umhüllung der Stabelektrode gehen beim MMA (E-Hand)-Schweißprozess durch die Wärme des Lichtbogens in Schmelze und Gas über. Gleichzeitig wird ein Teil des Grundmaterials aufgeschmolzen. Die abgekühlte Stahlschmelze wird zur Schweißnaht, die abgekühlte Schmelze der Umhüllung zur Schlacke.

Vorteile	Nachteile
Einfache Handhabung, geringe Einrichtungskosten	Immer erneutes Ansetzen beim Wechseln der Elektrode (Kerben, Aufhärtungen)
Breites Anwendungsgebiet durch beliebige Schweißposition	Geringe Effizienz (Erzeugung Schweißgut je Zeiteinheit)
Auch für Zwangspositionen sicher einsetzbar.	Große Erfahrung des Schweißers notwendig

Das Schweißverhalten und Nahtaussehen werden maßgeblich von der Umhüllung bestimmt. Verwendung finden rutilumhüllte und basische Stabelektroden.

Rutilumhüllte Elektroden haben einen feintropfigen Werkstoffübergang und führen zu feinschuppigen, glatten und flachen Nähten. Sie sind sowohl an Gleichstrom als auch an Wechselstrom verschweißbar. Die Schlacke lässt sich leicht entfernen, zum Teil ist sie selbstlösend.

Wegen der besseren Schweiß Eigenschaften werden wesentlich mehr rutilumhüllte Stabelektroden verarbeitet als die nachfolgend beschriebenen mit basischer Hülle.

Basisch umhüllte Elektroden sind ausschließlich mit Gleichstrom (Elektrode am Pluspol) verschweißbar. Wegen des größeren Tropfenüberganges lassen sie sich gut in Zwangspositionen schweißen. Aufgrund ihrer guten Spaltüber-

brückbarkeit werden sie häufig für Wurzelnähte eingesetzt. Im Vergleich zu den rutilumhüllten Stabelektroden ist hier die Naht grobschuppiger und die Schlacke vergleichsweise schlechter zu entfernen. Bei beiden Hüllentypen ist mit möglichst kurzem Lichtbogen zu arbeiten.

Feuchtigkeit in der Elektrodenumhüllung kann Schweißverhalten und Schlackenabgang verschlechtern sowie zu offenen Poren und bei empfindlichen Stählen (z.B. Feinkornstähle, nichtrostende ferritische Stähle) zu Kaltrissen führen. Basisch umhüllte hochlegierte Stabelektroden sind weniger porenempfindlich als rutilumhüllte.

6.2.2. Basis-Richtwerte MMA Schweißstrom

Ø Elektrode [mm]	Schweißstrom (= +) [A]
2,5	70 - 100
3,2	110 - 160
4,0	170 - 220
5,0	230 - 280

6.3. Übungsvorbereitung

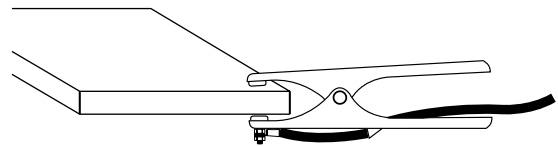
- Entfernen Sie alle „Stolperfallen“ aus Ihrem Arbeitsbereich (Schläuche, Kabel, usw.).
- Stellen Sie sicher, daß während des Schweißvorgangs kein Gegenstand in den Arbeitsbereich fallen kann.
- Stellen Sie sicher, daß keine anderen Personen während des Schweißvorgangs gefährdet werden können.

Das Werkstück:

- Reinigen Sie die Oberfläche. Entfernen Sie Schmutz, Staub, Fett, Altlacke, o.ä.
- Legen Sie das Werkstück flach auf eine passende, nicht brennbare Unterlage.
- Stellen Sie sicher, dass der Hauptschalter des Schweißgerätes ausgeschaltet ist!
- Schließen Sie den Gerätestecker der Werkstückklemme am (-) POL des Schweißgerätes an.
- Klemmen Sie die Werkstückklemme an der Metallplatte (Ihrem Werkstück) an.



Achten Sie auf einen guten elektrischen Kontakt mit dem Werkstück.



- Schließen Sie den Gerätestecker des Elektrodenhalters an den (+) POL des Schweißgerätes an. Nicht vergessen - der Hauptschalter bleibt ausgeschaltet!
- Klemmen Sie die 3,2mm Elektrode in den Elektrodenhalter ein.

Ihr Arbeitsplatz:

- Sie sollten die meisten Schweiß Tätigkeiten nach Möglichkeit im Sitzen ausführen. In einer verspannten (z.B. gebückten) Position zu Schweißen ist niemals zu empfehlen - schon gar nicht für Anfänger.
- Legen Sie das Werkstück so vor sich, daß sie die Schweißnaht quer führen können (z.B. von links nach rechts). Keinesfalls sollte die Naht von Ihnen weg oder zu Ihnen verlaufen.
- Ziehen Sie sich die Schutzkleidung an. Lederschürze, Gehörschutz, Schweißhelm mit Schutzglas, Schweißhandschuhe. Kontrollieren Sie, daß alle Hautstellen bedeckt sind.

Trockenübung:

- Setzen Sie sich an Ihren Arbeitsplatz.



Nicht vergessen - der Hauptschalter des Schweißgerätes bleibt vorerst ausgeschaltet!

- Nehmen Sie den Elektrodenhalter samt Elektrode und proben Sie die Durchführung einer Quer-Schweißnaht. Dabei sollten Sie darauf achten, ob Sie während der Querbewegung irgend etwas behindert oder stört (z.B. ein Hängenbleiben des Elektrodenkabels o.ä.)

6.3.1. Hinweise zur Werkstück Vor-/Nachbereitung

Bei den meisten Stahlarten hängt das Schweißergebnis wesentlich von der Nahtvorbereitung ab. Eine der wichtigsten Voraussetzungen ist die Sauberkeit der Schweißnahtkanten. Diese müssen nicht nur metallisch blank, d.h. frei von Oxiden und Zunder sein, sondern dürfen auch keine Verunreinigungen durch Fette, Öle oder andere organische Stoffe aufweisen, die zu Aufkohlungen und Einschlüssen in den Schweißnähten führen können. Am besten nach der Reinigung die Nahtstellen mit einem passenden Entfettungsmittel behandeln.



Am Ende jeder Schweißarbeit müssen die Schlacken entfernt werden!

6.4. Schweißübungen

6.4.1. Die erste Schweißung



Anfänglich werden Sie einige Schwierigkeiten beim Zünden der Elektrode haben. Vermutlich wird die Elektrode „picken“ bleiben. Das liegt daran, daß das Timing zwischen Berühren des Werkstücks zwecks Zünden und das darauf folgende Entfernen der Elektrode vom Werkstück nicht stimmt.

Die meisten Anfänger berühren das Werkstück zu hart und ziehen die Elektrode viel zu spät weg. Dies fällt umso stärker auf, je niedriger die Schweißstromstärke eingestellt ist.

Ein Tipp: Versuchen Sie eine ähnliche Bewegung wie beim Anzünden eines Streichholzes.

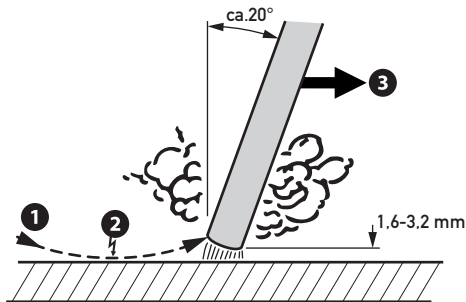


Das zweite Problem, welches vermutlich auftreten wird, ist, daß der Lichtbogen öfters erlischt. Dies liegt daran, daß Sie die Elektrode zu weit vom Werkstück entfernen. Der Abstand sollte 1,6-3,2mm betragen. Sie dürfen sich aber nicht vorstellen, daß Schweißer mit der Schiebelehre stetig den Abstand messen. Den korrekten Abstand HÖRT man am Geräusch des Lichtbogens. Es ist ein gleichmäßiges, ruhiges Geräusch. Egal ob zu nah oder zu weit entfernt ändert sich dieses Geräusch. Nebenbei sieht man einen falschen Abstand auch an einer ungleichmäßigen Schweißnaht.



Das dritte Problem, welches auftreten wird ist, daß Sie ein Gefühl für die Vorwärtsbewegung der Elektrode bekommen müssen. Nach der Zündung sollte die Elektrode 20° geneigt gehalten werden. Sie müssen die Elektrode so schnell vorwärts bewegen, wie der Werkstoff aufschmilzt. Das Schweißbild sollte Schuppenartig sein.

Bewegen Sie die Elektrode zu schnell ist die Schweißnaht zu schmal und es entstehen einzelne Punkt-schweißungen. Bewegen Sie die Elektrode zu langsam wird die Schweißnaht zu breit und zu hoch.



- Schutzbekleidung muss angezogen, Helm und Augenschutz muss aufgesetzt sein!
- Nehmen Sie den Elektrodenhalter zur Hand und stellen Sie sicher, dass die Elektrode nichts berührt bzw. legen Sie den Elektrodenhalter isoliert ab.
- Schalten Sie den Hauptschalter des Schweißgerätes ein und stellen Sie den Schweißstrom auf 120 Ampere.
- Setzen Sie sich an Ihren Arbeitsplatz.
- Wie in obiger Abbildung gezeigt, führen Sie Ihre erste Schweißung durch - oder Ihre ersten Schweißungen. Üben Sie, bis Sie ein Gefühl für Zündung, Elektrodenabstand und Vorschub bekommen haben.
- Sobald Sie genug geübt haben, legen Sie den Elektrodenhalter isoliert ab und schalten Sie den Hauptschalter des Schweißgerätes aus.

6.4.2. Die zweite Schweißübung



Das Reinigen des Werkstückes, Anlegen der Schutzkleidung, Ein-/Ausschalten des Gerätes sowie das Ablegen der Elektrode wird hier nicht mehr gesondert angeführt! Bitte beachten Sie die angeführten Schritte in 6.3. und 6.4.1.

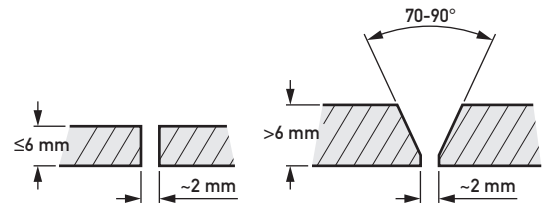
Nachdem Sie einige Erfahrung im Umgang mit der Elektrode gesammelt haben, besteht die zweite Übung darin 2 Platten auf Stoß miteinander zu verschweißen.

Dazu sagt man: „I-Stoß in Wannenposition“.

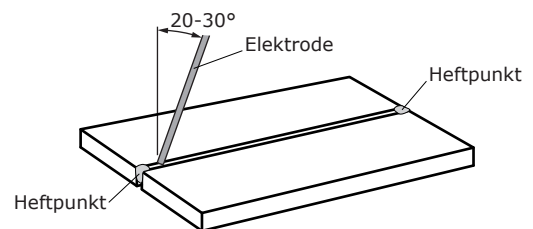
- Nehmen Sie 2 gleich große Metallplatten (nicht legiert oder gehärtet, Stärke ca. 5mm) und legen Sie diese in einem Abstand von ca. 2mm auf den Arbeitsplatz.



Sollten Sie nur Metallplatten mit einer Stärke >6mm zur Hand haben, müssen die Stoßkanten so angeschliffen werden, daß sich ein Öffnungswinkel von 70-90° ergibt. Dies gewährleistet, daß die Einbrandtiefe groß genug ist.



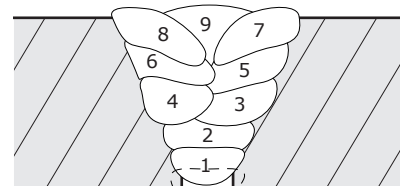
- Verwenden Sie wieder eine RC3 Elektrode, Ø3,2mm
- Setzen Sie an beiden Kanten kurze Schweißpunkte um die Platten zu fixieren. Dieses Heften hat weiters den Vorteil, daß die Platten während des Abkühlvorgangs nicht aus der Form geraten - aber dazu später.



- Schweißen Sie im Anschluss den Verbindungsstoß an der Oberseite. Sie werden im Gegensatz zur ersten Übung eine Veränderung in der Handhabung feststellen. Die Vorwärtsbewegung muss wieder so erfolgen, daß die Geschwindigkeit dem Aufschmelzvorgang entspricht. Reduzieren Sie die Geschwindigkeit keinesfalls so weit, dass sich die entstehende Schlacke vor den Lichtbogen legt.



Bei dicken Platten werden Sie feststellen, daß bei korrektem Vorschub die Nut nicht vollständig aufgefüllt wird. Es muss eine zweite Schweißung über die erste Naht gesetzt werden. Dazu muss die Schlacke mit einer Drahtbürste entfernt werden - im Anschluss kann die zweite Naht darüber gesetzt werden - und so weiter. Als Faustregel gilt, daß die Schweißnahtbreite nicht größer als 3x Elektrodendurchmesser sein sollte. In unserem Übungsbeispiel also ca. 10mm. In der Abbildung unten sieht man den beispielhaften Aufbau einer Mehrlagenschweißung.



10. Abschlussschweißung an der Unterseite

- Sobald die Obernaht fertig ist, drehen Sie das Werkstück um, entfernen an der Unterseite ebenfalls die Schlacke und führen die abschließende Schweißnaht an der Unterseite aus.
- Abschließend entfernen Sie beidseitig die Schlacke.

6.5. Weitere Verbindungsarten

6.5.1. Horizontal-Vertikal Naht

Fixieren Sie ihr Werkstück und führen Sie wie vorher erwähnt an beiden Eckpunkten eine kurze Heftnaht durch. Im Anschluss kann die Schweißung durchgeführt werden.

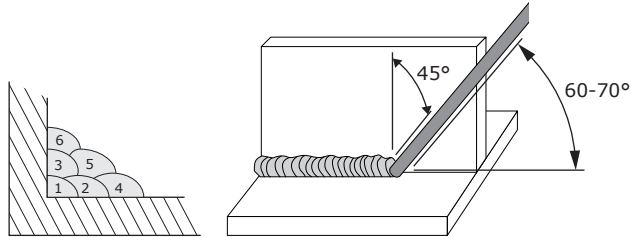


Wie schon unter 6.4.2. erwähnt kann es auch hier notwendig/sinnvoll sein eine Mehrlagenschweißung durchzuführen. Bei dieser Schweißart ist zu beachten, daß die Schweißnaht einer Lage nicht breiter als 2x Elektrodendurchmesser sein sollte, da ansonsten das Schmelzbad Richtung Basis abrutscht.

Bringen Sie nach dem Zünden des Lichtbogens die Elektrode sofort in folgende Position:

- 45° von der vertikalen Platte entfernt
- 60-70° von der horizontalen Platte

Beim Mehrlagenschweißen ist darauf zu achten, daß immer zuerst die Wurzellage, dann die untere und erst abschließend die obere Lage geschweißt wird (siehe Abbildung).



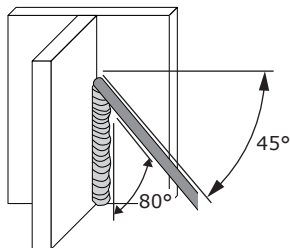
6.5.2. Steigende Naht

Auch hier, zuerst Werkstück fixieren und an den Eckpunkten heften. Nun kann die Schweißnaht ausgeführt werden.

Bringen Sie nach dem Zünden des Lichtbogens die Elektrode sofort in folgende Position:

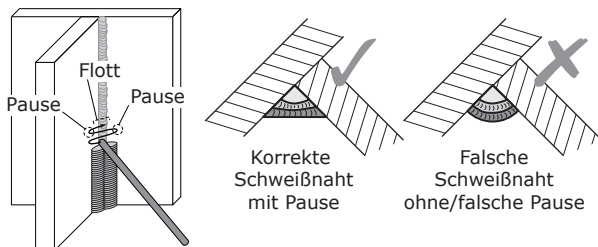
- 45° horizontaler Abstand (mittig zwischen den Platten)
- Elektrode ca. 10° nach unten geneigt (in der Zeichnung mit 80° nach oben angedeutet).

Führen Sie die Schweißung mit kurzem Lichtbogen durch. Die erste Lage muss gerade geführt werden (kein wandern).



Beim Mehrlagenschweißen und dem Entfernen der Schlacke sind die Folgelagen in einem Arbeitsschritt durch hin- und herwandern der Elektrode zu erzeugen (Dauer ca. 1s).

Achten Sie darauf, daß Sie an den Eckpunkten der Mehrlage länger verweilen als in der Mitte (über der ersten Naht), da ansonsten der Eckübergang nicht korrekt verschweißt wird.



6.5.3. Fallende Naht

Eine fallende Naht ist in der Regel einfach auszuführen. Sie müssen lediglich darauf achten, daß die Elektrode vor der Schlackenbildung gehalten wird.

Elektrodenposition:

- 45° horizontaler Abstand (mittig zwischen den Platten)
- Elektrode ca. 45° nach unten geneigt

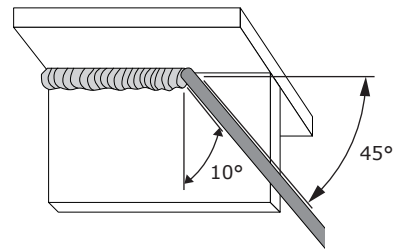
6.5.4. Überkopfnah

Abgesehen von der umständlichen Körperhaltung beim Arbeiten ist eine Überkopfnah nicht schwieriger durchzuführen als eine fallende Naht.

Wie schon zuvor erwähnt wird der zu schweißende Teil vorerst an den Ecken angeheftet.

Bringen Sie nach dem Zünden des Lichtbogens die Elektrode in folgende Position:

- 45° von vertikaler und horizontaler Platte entfernt
- Elektrode 10° geneigt in Schweißrichtung



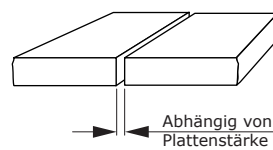
Sie werden feststellen, daß die Schweißnaht deutlich mehr gewölbt ist, als bei anderen Schweißnähten. Dies ist normal und durch die Schwerkraft bedingt.

6.5.5. Typische Fugenformen

In den meisten Fällen ist es möglich Stahl ohne besondere Nahtvorbereitungen zu schweißen. Bei dicken Werkstücken und bei Reparaturarbeiten schleift man jedoch in der Regel die Verbindungsnaht an um eine korrekte Eindringtiefe der Schweißnaht in das Grundmaterial zu gewährleisten.

Typische Fugenformen sind:

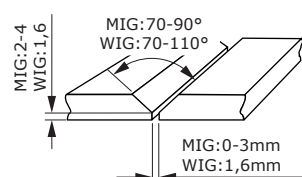
I-Stoß



Abhängig von Plattenstärke

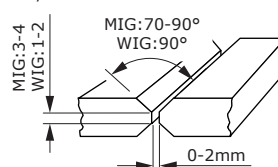
V-Stoß

MIG: ab Plattenstärke 10mm
WIG: Plattenstärke 5-12mm

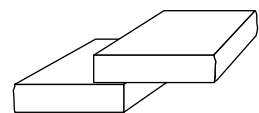


X-Stoß

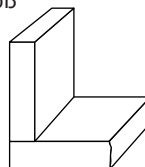
MIG/WIG: ab Plattenstärke 10mm



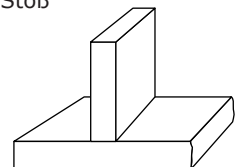
Überlappstoß



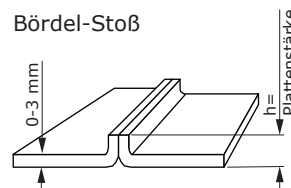
Eckstoß



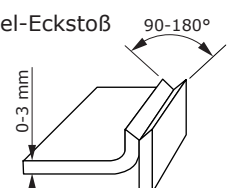
T-Stoß



Bördel-Stoß



Bördel-Eckstoß



6.6. Anmerkungen zu Werkstoffen

Vor Beginn von Schweißarbeiten ist es ratsam, die Verarbeitungsempfehlungen der Stahlhersteller und Schweißzusatzwerkstoffhersteller sowie die jeweiligen Normen und Regelwerke zu beachten. Die DIN EN 1011-3 gibt Empfehlungen zum Schweißen und Nachbehandeln.

Folgende Aufstellung soll nur erste Einblicke und Anregungen bei der Bearbeitung der unterschiedlichen Werkstoffe darstellen.

6.6.1. Un-/niedriglegierte Stähle

Der wohl bekannteste Effekt beim Schweißen dieser Stähle ist, daß aufgrund von Erwärmen und Abkühlen des Werkstoffs während des Schweißprozesses Material Aufhärtungen und Schrumpfungen entstehen, welche bei unsachgemäßer Behandlung zu Spröbbrüchen oder Rissen führen können.

☞ siehe dazu Kapitel 6.11.

„Durch Schweißung bedingte Distorsion“

6.6.2. Nichtrostende Stähle (Edelstahl)

Mit wenigen Einschränkungen können austenitische und ferritische nichtrostende Stähle sowohl mit MMA (E-Hand) als auch im Schutzgasschweißverfahren (MAG/WIG) gefügt werden. Bei nichtrostenden Stählen wird fast ausschließlich das Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG) angewendet, da sich im Vergleich zum WIG-Schweißen hohe Abschmelzleistungen erreichen lassen. Verwendet werden sowohl Massiv- als auch Fülldrahtelektroden.

Bei der Vorbereitung nichtrostender Stähle (Edelstahl) gilt zusätzlich zur normalen Reinigung/Entfettung folgendes:

- Schleifen nur mit kunstharzgebundene Korundscheiben (Fe- und S-frei).
- Mechanische Reinigung mit Bürsten aus rostfreiem Stahl.

In beiden Fällen darf das Werkzeug nicht vorher für die Bearbeitung un- und niedriglegierter Stähle benutzt worden sein! Nach dem Schweißen ist das Werkstück von Schlackenresten, Schweißspritzern, Anlauffarben oder anderen Oxidationsprodukten zu reinigen. Je feiner und glatter die Oberfläche, desto größer ist die Korrosionsbeständigkeit.

Geschweißt wird mit Gleichstrom, Drahtelektrode am Pluspol. Für Massivdrahtelektroden wird als Schutzgas üblicherweise Argon mit 1 bis 3% Sauerstoff oder mit max. 2,5% CO₂ verwendet (höhere CO₂-Gehalte können zu einer Aufkohlung des Schweißgutes führen und vermindern dadurch die Korrosionsbeständigkeit).

In Wannen- und Horizontalposition wird in der Regel mit dem Sprühlichtbogen gearbeitet, der bei geringer Spritzerneigung einen kurzschlußfreien, feinsttropfigen Werkstoffübergang ergibt. Der Kurzlichtbogen wird angewendet, wenn geringes Wärmeeinbringen gefordert ist, z.B. für dünne Bleche, Wurzellagen und in Zwangspositionen.

Beim Schweißen nichtrostender austenitischer Stähle sind gegenüber den un- und niedriglegierten Stählen die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften zu beachten:

- der höhere Wärmeausdehnungskoeffizient,
- die niedrigere Wärmeleitfähigkeit,
- der größere elektrische Widerstand.

Diese Unterschiede beeinflussen die Wahl des Schweißverfahrens und die Ausführung der Schweißarbeiten. Der relativ hohe Wärmeausdehnungskoeffizient und die niedrige Wärmeleitfähigkeit austenitischer Stähle wirken sich besonders auf den Verzug beim Schweißen aus.

Abhilfemaßnahmen sind:

- Wärmeabführung durch Kupferschiene
- Schweißen mit niedriger Streckenenergie
- Schweißen in Vorrichtungen
- Heften in kürzeren Abständen

Beim Heften und Schweißen wird davon abgeraten, die Elektrode außerhalb des Nahtbereichs zu zünden, da die entstehenden Zündstellen die Korrosionsbeständigkeit dort herabsetzen können. Bei den voll-austenitischen Stählen sollten die Heftstellen beschliffen und ggf. von Endkraterrissen befreit werden.

Beim Schweißen einseitig zugänglicher Nähte ist die Wurzel-lage vor Oxidation zu schützen. Dazu verwendet man inerte (Ar/He) Schutzgase zur Gegenspülung.

6.6.3. Aluminium

Grundsätzlich führen hohe Wärmeleitfähigkeit und Ausdehnungskoeffizient zu einem stärkeren Verzug beim Schweißen von Aluminium. Dies ist in Konstruktion und im Vorrichtungsbau zu berücksichtigen.

Aluminium bildet an Atmosphäre sofort eine Oxidschicht im Wesentlichen aus amorphem Al₂O₃. Die Dicke der Oxidschicht nimmt mit Zeit, Temperatur und Sauerstoffangebot zu, hat einen Schmelzpunkt von ca. 2.000°C (im Gegensatz zum Schmelzpunkt des Grundmaterials von 550-660°C) und muß jedenfalls kurz vor dem Schweißen entfernt werden (diese bildet sich zwar sofort wieder - ca.5ms - ist jedoch sehr dünn und durch den Lichtbogen leicht aufzubrechen).

Zum Aufbrechen der Oxidschicht (Vorbereitung) können folgende Werkzeuge verwendet werden:

- Schleifen nur mit keramisch gebundenen Scheiben.
- Mechanische Reinigung mit Bürsten aus rostfreiem Stahl.
- Beizen mit 10-20% Ätznatron-Lösung (Natriumhydroxid) für 30-60s bei 60-80°C. Anschließend in Wasser spülen und in 20% Salpetersäure neutralisieren. Danach wiederum spülen und trocknen.

Als Zusatzwerkstoff kann für fast alle Aluminiumlegierungen, ausgenommen Reinaluminium, Werkstoff 3.356 (AlMg5) verwendet werden.

Als Schutzgas kommen ausschließlich inerte Gase wie Argon (Ar), Helium (He) und deren Mixturen zum Einsatz. Neben der eigentlichen Schutzfunktion, kann über die Zusammensetzung der Gase, Einfluss auf das Einbrandprofil, das Entgasungsverhalten, aber auch auf die Lichtbogenstabilität, also auf das Schweißverhalten, genommen werden.

Die hohe Dichte von Argon schirmt das Schweißbad gut ab, der Lichtbogen zündet leicht.

Bei Helium ist aufgrund der geringen Dichte die Abschirmwirkung eher gering (daher hoher Durchfluss notwendig, ca. Faktor 3 zu Argon). Die sehr gute Wärmeleitfähigkeit und die höhere Ionisationsspannung wirken sich jedoch sehr vorteilhaft auf das Schweißen mit Aluminium aus.

Mögliche Schweißverfahren:

- WIG-DC (+)
Schweißen von Aluminium mit (+, POSITIVER) Polarität, da bei negativer Polarität die Energie des Lichtbogens nicht ausreicht, um die Oxidschicht aufzubrechen. Nachteil: unruhiger Lichtbogen und die Wolframelektrode verschleißt aufgrund von Überhitzung schnell.
- MIG (+)
Der Lichtbogen sollte so kurz wie möglich, der Brennerwinkel 10-20° stechend sein. Gasfluß muß höher als beim Stahlschweißen eingestellt werden. Es sollte nach Möglichkeit eine Badsicherung verwendet werden. Drahtvorschubrollen müssen für Aluminiumdraht geeignet sein (U-Profil). Bei den weichen AlSi-Legierungen sollte eine Schlauchlänge von 3m nicht überschritten werden.

Das Auftreten von Kondensation während des Schweißvorgangs ist unbedingt zu vermeiden!

Das Schweißen von anodisiertem (eloxiertem) Aluminium ist nicht möglich, da die Energie des Lichtbogens nicht ausreicht die doppelte Oberfläche aufzubrechen.

6.6.4. Kupferlegierungen

Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit dieses Werkstoffs muss beim Schweißen unbedingt Vor- und Nachgewärmt werden.

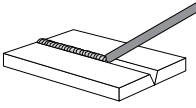
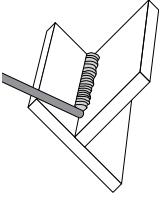
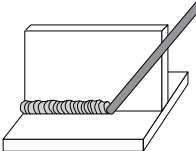
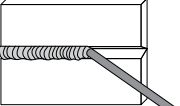
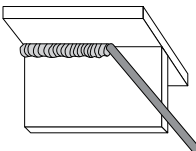
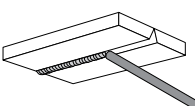
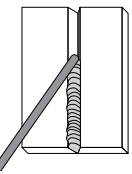
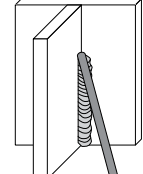
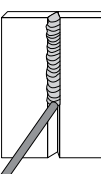
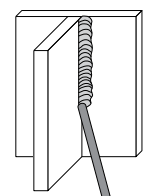


Es gibt eine Vielzahl von Werkstoffen, unzählige, übliche und unübliche Legierungen. Fragen Sie Ihren Stahlhändler nach Werkstoffeigenschaften und Bearbeitungshinweise für das Schweißen. Sofern die Materialzusammensetzung bekannt ist, können Ihnen auch Elektrodenlieferanten Auskunft über passende Zusatzwerkstoffe und Verarbeitungshinweise geben.

6.7. Markierungen auf Zusatzwerkstoffen

Genormte Markierungen auf den Zusatzwerkstoffen bzw. auf deren Datenblättern geben dem Schweißer Informationen über mögliche Schweißpositionen sowie notwendige Geräteeinstellungen.

6.7.1. Zeichen erlaubter Schweißpositionen

Bezeichnung	Stumpfnah	Kehlnah
PA Wannenposition → Kurzzeichen: PA, w, 1G, 1F → übliche Symbole: 		
PB Horizontal-Vertikalposition → Kurzzeichen: PB, h, 2F → übliche Symbole: 		
PC Querposition → Kurzzeichen: PC, q, 2G → übliche Symbole: 		
PD Horizontal-Überkopfposition → Kurzzeichen: PD, hü, 4F → übliche Symbole: 		
PE Überkopfposition → Kurzzeichen: PE, ü, 4G → übliche Symbole: 		
PF Steigposition → Kurzzeichen: PF, s, 3G, 3F, 5Gup → übliche Symbole: 		
PG Fallposition → Kurzzeichen: PG, f, 3G, 3F, 5Gdown → übliche Symbole: 		

6.7.2. Geräteeinstellungen

Neben den erlaubten Schweißpositionen, dem Schweißstrom bzw. -spannung ist bei den Elektroden ebenfalls die Polarität und evtl. Schutzgasmenge und -art angeführt.

Übliche Kennzeichnung der Polarität:

-  Gleichstrom, Elektrode positiv
-  Gleichstrom, Elektrode negativ
-  Wechselstrom
-  Kombinationen aus obigen Werten möglich

6.8. MIG/MAG Schutzgasschweißen

Das Schweißbad wird durch das Schutzgas vor dem Zutritt der Luft geschützt. Die nicht umhüllte Elektrode wird automatisch nachgeführt und dient gleichzeitig als Schweißzusatzwerkstoff.

Vorteile	Nachteile
Naht während des Schweißvorgangs sichtbar	Gasschutz wird bei Wind weggeblasen, somit wetterabhängig
Tiefer Einbrand möglich	Zusätzliche Einrichtungen (Wetterschutz) beim Schweißen im Freien notwendig
Verfahren gut regelbar, Beliebige Schweißpositionen	

Es kommen beim Schutzgasschweißen

- inerte Gase (völlig reaktionsunfähige Gase, MIG)
- aktive Gase (MAG-Schweißen)
- sowie Gasgemische zur Anwendung.

Vergleich der Schutzgasschweißverfahren:

	inertes Gas	Gasgemisch	aktives Gas
Gas	Argon	Gemisch aus Argon und CO ₂	CO ₂
Verfahren	MIG	MAG	MAG
Einbrandtiefe	sehr klein	klein	mittel
Nahtaussehen	sehr glatt, breit	glatt	grob, überwölbt
Spritzerbildung	gering	gering	groß

Eine Sonderform des MIG-Schutzgasschweißens ist das sogenannte Innershield-Schweißverfahren (auch Füll-/Röhrchendrahtschweißen genannt). Hier befindet sich das „Schutzgas“ in Pulverform innerhalb des Schweißdrahtes.

Gegenüberstellung MAG- / Fülldraht-Schweißverfahren:

	MAG	Innershield
Schweißdraht	Volldraht	Füll-/Röhrchendraht
Draht Ø	Ø 0,6 - 1,2 mm	Ø 0,9 - 1,1 mm
Schutzgas	CO ₂ (Mischgas)	nicht notwendig
Drahtpolarität	positiv (+)	negativ (-)
Materialstärke	ab 0,5 mm	1,2 - 8,0 mm ¹⁾
Einbrand	gut	hervorragend
Rauchentwicklung	gering	hoch
Schlackenbildung	keine	leicht entfernbar

¹⁾ Mehrlagenschweißen empfohlen

6.8.1. Der Schweißvorgang

Während des Schweißvorgangs beeinflussen zwei Stellgrößen das Ergebnis: Drahtvorschub und Schweißspannung

Der Schweißstrom ergibt sich durch den Drahtvorschub. Umso schneller der Drahtvorschub, umso größer ist der Schweißstrom. Weniger Drahtvorschub verringert den Schweißstrom, verlängert jedoch den Lichtbogen (tritt vor allem bei höheren Schweißspannungen auf).

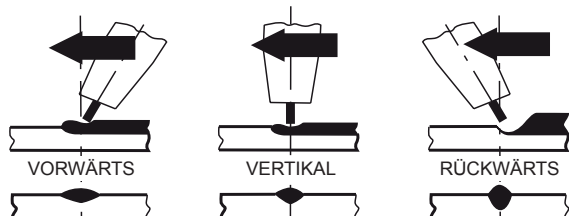
 Sollte der Drahtvorschub für die gewählte Schweißspannung zu schnell sein kann der Draht im Schmelzbad nicht aufschmelzen. Die Folge ist eine unzureichende Schweißung.

 Sollte die Schweißspannung für den gewählten Drahtvorschub zu hoch sein entstehen am Ende der Elektrode große Tropfen, dies führt zu starker Spritzerbildung.

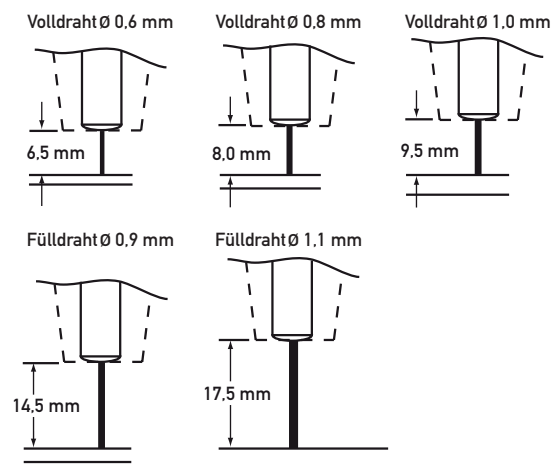
Eine korrekte Einstellung lässt sich am Schweißbild und an einem gleichmäßigem Ton des Lichtbogens erkennen.

Der Vorschub (wie schnell wird der Brenner über die Schweißnaht geführt) beeinflusst die Nahtbreite und den Einbrand.

Der Führungswinkel des MIG-Brenners hat wiederum Einfluss auf die Nahtbreite:



Idealer Abstand zwischen Brennerdüse und Werkstück:



6.8.2. Badsicherung

Bei manchen Schweißprozessen (z.B. beim Aluminiumschweißen) kann es sinnvoll/nötig sein, eine Badsicherung (in der Regel aus Kupfer, Edelstahl oder Keramik) zu verwenden. Diese schützt die Wurzel vor Oxidation, unterstützt die Wurzelbildung, kühlt das geschweißte Material und erhöht die Schweißgeschwindigkeit.

Die Form der Badsicherung ist von der Stärke des Werkstücks abhängig.

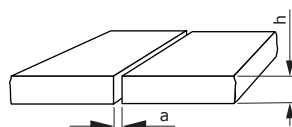
Materialstärke [mm]	A [mm]	B [mm]
≤ 1,5	10	0,2 - 0,5
≤ 6,0	10 - 15	1,0 - 2,5
> 6,0	10 - 15	2,5 - 3,5

Bei falsch dimensionierter Badsicherung kann es zu folgenden Problemen kommen:

- zu Flach:
Schweißbad kühlt zu schnell ab, es kommt zu Fehlern in der Schweißnaht.
- zu Tief:
Bewirkt eine große Wurzel und ein zu großes Schweißbad. Daraus erfolgt eine niedrige Schweißgeschwindigkeit und eine falsche Form der Naht.

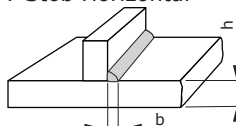
6.8.3. Richtwerttabellen MIG/MAG Schweißverfahren

I-Stoß



Dicke h [mm]	Spalt a [mm]	Ø Elektrode [mm]	Schweiß Strom [A]	Schweiß Spg. [V]	Vorschub cm/min	Gasmenge [l/min]
1,2	0	1,0	70-80	17-18	45-55	10
1,6	0	1,0	80-100	18-19	45-55	10-15
2,0	0-0,5	1,0	100-110	19-20	50-55	10-15
2,3	0,5-1,0	1,0-1,2	110-130	19-20	50-55	10-15
3,2	1,0-1,2	1,0-1,2	130-150	19-21	40-50	10-15
4,5	1,2-1,5	1,2	150-170	21-23	40-50	10-15

T-Stoß Horizontal

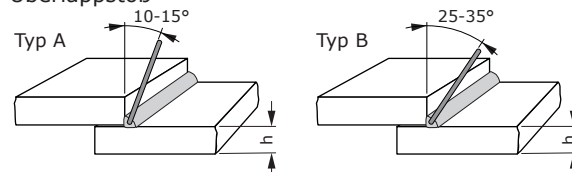


Dicke h [mm]	Naht b [mm]	Ø Elektrode [mm]	Schweiß Strom [A]	Schweiß Spg. [V]	Vorschub cm/min	Gasmenge [l/min]
1,2	2,5-3,0	1,0	70-100	18-19	50-60	10-15
1,6	2,5-3,0	1,0-1,2	90-120	18-20	50-60	10-15
2,0	3,0-3,5	1,0-1,2	100-130	19-20	50-60	10-20
2,3	3,0-3,5	1,0-1,2	120-140	19-21	50-60	10-20
3,2	3,0-4,0	1,0-1,2	130-170	19-21	45-55	10-20
4,5	4,0-4,5	1,2	190-230	22-24	45-55	10-20

T-Stoß Vertikal

Dicke h [mm]	Naht b [mm]	Ø Elektrode [mm]	Schweiß Strom [A]	Schweiß Spg. [V]	Vorschub cm/min	Gasmenge [l/min]
1,2	2,5-3,0	1,0	70-100	18-19	50-60	10-15
1,6	2,5-3,0	1,0-1,2	90-120	18-20	50-60	10-15
2,0	3,0-3,5	1,0-1,2	100-130	19-20	50-60	10-20
2,3	3,0-3,5	1,0-1,2	120-140	19-21	50-60	10-20
3,2	3,0-4,0	1,0-1,2	130-170	21-22	45-55	10-20
4,5	4,0-4,5	1,2	200-250	23-26	45-55	10-20

Überlappstoß



Dicke h [mm]	Schweiß Type	Ø Elektrode [mm]	Schweiß Strom [A]	Schweiß Spg. [V]	Vorschub cm/min	Gasmenge [l/min]
1,2	A	1,0	80-100	18-19	45-55	10-15
1,6	A	1,0-1,2	100-120	18-20	45-55	10-15
2,0	A / B	1,0-1,2	100-130	18-20	45-55	15-20
2,3	B	1,0-1,2	120-140	19-21	45-50	15-20
3,2	B	1,0-1,2	130-160	19-22	45-50	15-20
4,5	B	1,2	150-200	21-24	40-45	15-20

6.9. MSG-Löten

Das MSG-Löten unterscheidet sich vom MIG- bzw. MAG-Schweißen durch die Verwendung von Drahtelektroden auf Kupferbasis als Zusatzwerkstoff. Dieses Verfahren wird üblicherweise in der Kurzlichtbogentechnik in sämtlichen Positionen eingesetzt.

6.9.1. Verwendungsbereich

In vielen Bereichen werden verzinkte Bleche eingesetzt. Da Zink bei etwa 420°C zu schmelzen und bei etwa 906°C zu verdampfen beginnt, ist ein Schweißen äußerst problematisch. Durch Verwendung von Zusatzwerkstoffen auf Kupferbasis, welche einen geringen Schmelzpunkt besitzen, wird der Grundwerkstoff nicht aufgeschmolzen, d.h. die Verbindung entspricht einer Lötung. Eine Besonderheit ist das Fügen von artverschiedenen Grundwerkstoffen, z.B. von Kupferlegierung mit Stahl. Diese Verbindungen besitzen aufgrund der unterschiedlichen Schmelzbereiche der Grundwerkstoffe einen Doppelcharakter: auf der Stahlseite liegt eine Lötverbindung, auf der Kupferseite eine Schweißverbindung vor.

Auch Edelstahl kann sinnvoll mit den Lichtbogenlötprozessen gefügt werden. Insbesondere die geringere Wärmeeinbringung kann bei langen Nähten (mehrere Meter) und dünnen Blechen von erheblichem Vorteil sein, da der Bauteilverzug wesentlich verringert wird.

MSG-Löten wird in der Regel bei unbeschichteten und metallisch überzogenen Stahlblechen bis 3mm Stärke eingesetzt.

6.9.2. Lötzubereitung

Auf eine besondere Nahtzubereitung wird meist verzichtet. Damit es zu einer metallurgischen Wechselwirkung zwischen dem Grundwerkstoff und dem benetzenden flüssigen Lot kommt, sollte die Grenzfläche zum Lot weitgehend metallisch blank und frei von Verunreinigungen sein. Schmutz, Fett, Bearbeitungsrückstände, Wachs, Klebstoffe oder Öl führen zu einer Qualitätsminderung (Porenbildung, Bindefehler etc.) und sollten entweder durch chemische und/oder mechanische Oberflächenbehandlungsverfahren entfernt werden.

6.9.3. Schutzgas

Zum Lichtbogenlöten werden üblicherweise Argon oder Argonmischungen mit Beimischungen von CO₂ oder O₂ eingesetzt. Bei Lötwerkstoffen mit Si- oder Sn-Anteil sind geringe Aktivanteile von CO₂ oder O₂ vorteilhaft.

Bei Lötwerkstoffen mit Al-Anteilen bieten sich Ar-He-Gemische ohne Aktivanteil an.

6.9.4. Hinweise zum Löten

Bei den Lichtbogenlötprozessen sind üblicherweise keine Flussmittel erforderlich.

Als Drahtdurchmesser kommt hauptsächlich Ø1,0 mm zum Einsatz. Am gebräuchlichsten sind die Zusatzwerkstoffe CuSi3 (für verzinkte Bleche) sowie CuAl8 (das Löten von Edelstahl, Aluminium, sowie für Verbindungen bei denen das optische Aussehen der Nahtoberfläche wichtig ist).

Damit bei Dünnblechen die Zinkverdampfung möglichst gering bleibt, wird mit geringer Leistung gelötet. Stellen Sie daher eine niedrige Grundstromstärke ein.

Da die Zusatzwerkstoffe im Vergleich zu Stahl weicher sind, müssen Drahtvorschubrollen mit Halbrundnut verwendet werden (Al-Rollen).

Die Brennerschlauchpakete müssen mit einer Kunststoffseile ausgestattet und sollten nicht länger als 3m sein.

Wichtig ist auch die Brenneranstellung und -führung:

Bei stechend gelöteten Blechen wärmt der vorlaufende Lichtbogen die Zinkschicht so weit vor, dass sie unmittelbar vor dem Ablösen des Zusatzdrahttropfens bis auf eine Restschicht verdampfen kann. Die Wärmeenergie des schmelzflüssigen Zusatztropfens verdampft die verbleibende Restzinkschicht. Da es sich lediglich um geringe Mengen an Zinkdampf im noch schmelzflüssigen Lot handelt, reicht die Entgasungszeit bis zum Erstarren aus, um eine Porenbildung zu vermeiden.

6.10. WIG Schutzgasschweißen

Das WIG (Wolfram Inert Gas, im englischen TIG - Tungsten) Schweißen eignet sich für alle Schweißpositionen und besonders gut für dünne Bleche und Wurzellagen. Wenn ein metallischer Werkstoff überhaupt schmelzschweißgeeignet ist, dann läßt er sich mit diesem Verfahren fügen.

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

Die Elektrode schmilzt wegen des hohen Schmelzpunktes von Wolfram (3380°C) bei richtiger Anwendung des Verfahrens nicht ab. Sie ist nur Lichtbogensträger. Der Schweißzusatz wird von Hand in Stabform zugegeben.

Vorteile	Nachteile
Naht während des Schweißvorgangs sichtbar	Gasschutz wird bei Wind weggeblasen, somit wetterabhängig
Tiefer Einbrand möglich	Zusätzliche Einrichtungen (Wetterschutz) beim Schweißen im Freien notwendig
Verfahren gut regelbar, Beliebige Schweißpositionen	Große Erfahrung des Schweißers notwendig
Dünne Bleche im Bördelstoß ohne Zusatzwerkstoff verschweißbar.	

6.10.1. Schutzgas

Beim WIG-Schweißen dürfen nur inerte Gase (Sauerstoff freie Gase, welche nicht mit der Umgebungsluft reagieren) verwendet werden. Gebräuchlich ist Schweißargon (Bezeichnung „I1“), Helium (Bezeichnung „I2“) sowie Argon/Helium-Mischgase (Bezeichnung „I3“) nach DIN EN 439. Unter Helium ist der Lichtbogen heißer. Vor allem aber ist die Wärmeverteilung zwischen dem Kern und dem Rand des Lichtbogens gleichmäßiger.

Der optimale Gasschutz ist beim WIG-Schweißen extrem wichtig. Ein (auch geringer) Anteil von Sauerstoff hat zur Folge, dass zum einen die Elektrode oxidiert (Blaufärbung) und zum anderen Schweißfehler durch Sauerstoffeinschlüsse auftreten. Zugluft ist beim Schweißen in jedem Fall zu vermeiden.

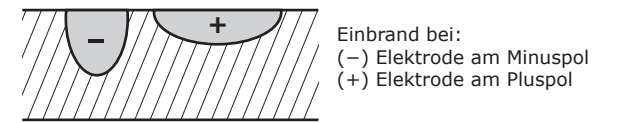
Als Richtwert kann bei Argon von einem Volumenstrom von 5-10 l/min und einer Nachspülzeit von min. 30s (das Material muss auf <300°C abgekühlt sein) ausgegangen werden. Bei Verwendung von Helium muß aufgrund der geringeren Dichte, das Volumen deutlich höher sein.

Die Keramik um die Elektrode sollte nicht zu klein sein, damit die Elektrode (und die Schweißnaht) entsprechend durch Schutzgas geschützt sind.

Unter Umständen ist die Zugabe von Schutzgas an der Nahtrückseite von Nöten (Formieren). Dies unterbindet Oxidation und hilft bei der Formung der Wurzelrückseite.

6.10.2. Polung

In der Regel liegt der kältere Minuspol an der Elektrode und der heißere Pluspol am Werkstück. Die Strombelastbarkeit und die Standzeit der Elektrode sind bei dieser Polung wesentlich größer. Ebenso gibt es Unterschiede im Einbrandverhalten. Dies ist beim Gleichstromschweißen am Minuspol am besten.



Bei Aluminium und seinen Legierungen, sowie bei anderen Werkstoffen, die hochschmelzende oder sehr zähflüssige Oxide bilden, wird dagegen der Pluspol an der Elektrode bzw. Wechselstrom verwendet.

6.10.3. Elektrodentypen

Wolframelektroden werden wegen des hohen Schmelzpunktes nicht durch Gießen, sondern durch sintern hergestellt.

Neben Elektroden aus Reinwolfram gibt es auch solche, denen vor dem Sintern in Gehalten von etwa 0,5 bis 4% Oxide wie Thoriumoxid, Zirkonoxid, Lanthanoxid oder Ceroxid zugemischt wurden. Rein-Wolframelektroden bilden einen sehr ruhigen Lichtbogen, jedoch haben die oxidhaltigen Elektroden bessere Zündfreudigkeit, Strombelastbarkeit und eine höhere Standzeit.

Die Wolframelektrode wird so im Brenner installiert, daß sie je nach Durchmesser 3mm bei dünnen bzw. bis 5mm bei dickeren Elektroden über die Gasdüse hinaus heraus ragt.

Übersicht der Elektrodentypen:

Kurz- zeichen	Zusammensetzung			Kenn- farbe
	Oxidzusatz		Wolfram % [m/m]	
% [m/m]	Art			
WP	-	- ¹⁾	99,8	grün
WT 4	0,35-0,55	ThO ₂ ²⁾	Rest	blau
WT 10	0,80-1,20			gelb
WT 20	1,70-2,20			rot
WT 30	2,80-3,20			violett
WT 40	3,80-4,20			orange
WZ 3	0,15-0,50	ZrO ₂ ³⁾	Rest	braun
WZ 8	0,70-0,90			weiß
WL 10	0,90-1,20	LaO ₂ ⁴⁾	Rest	schwarz
WC 20	1,80-2,20	CeO ₂ ⁵⁾		grau

1) Undotierte Elektroden zum Aluminium Wechselstromschweißen.

2) Mit steigendem Thoriumgehalt verbessern sich Zündeigenschaften, Standzeiten, Strombelastbarkeit. Haupteinsatzgebiet ist das Gleichstromschweißen von hochlegierten und rostfreien Stählen. Wegen der Radioaktivität des Thoriums ist ein Einsatz dieser Elektroden möglichst konsequent zu vermeiden.

3) Durch Zirkoniumzusatz geringere Gefahr der Schmelze-Verunreinigung durch Wolfram. Einsatzgebiet Wechselstromschweißen, für Gleichstromschweißen nur bedingt geeignet.

4) Lanthanierte Elektroden (WL) übertreffen cerierte (WC) im Niederstrombereich - hier ist die WL Reihe die erste Wahl. Höherer Lanthangehalt wirkt sich auf die Zündfreudigkeit aus.

5) Die cerierte Elektrode WC 20 ist die Universalelektrode für nahezu alle Anwendungen: Gleichstrom und Wechselstrom, unlegierter Stahl, hochlegierter Stahl, Aluminiumlegierungen, Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kupferlegierungen, Magnesiumlegierungen. Ähnliches Verhalten wie thoriierte Elektroden.

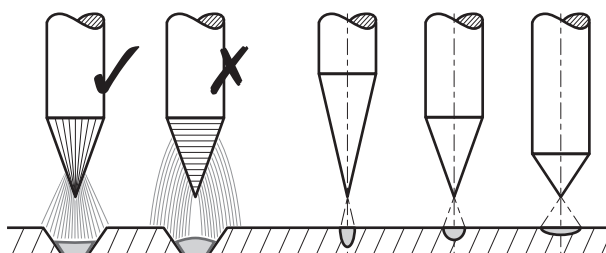
6.10.4. Elektroden vorbereiten

Beim Schweißen an Gleichstrom (Minuspole) wird die Wolframelektrode durch Schleifen kegelförmig angespitzt. Das Schleifen sollte so erfolgen, daß auf der angeschliffenen Spitze nur Schleifriefen in Längsrichtung zurückbleiben.

Der Lichtbogenansatz ist dann ruhiger. Der Anspitzwinkel ergibt sich aus dem Verhältnis des Elektrodendurchmessers zur Länge der Spitze. Dieses Verhältnis sollte etwa 1:2,5 sein. Bei richtig eingestellter Stromstärke schmilzt nur ein kleiner Teil der Elektrodenspitze auf und bildet dort eine kleine Kugel. Daran brennt der Lichtbogen besonders ruhig.

Beim Schweißen mit Gleichstrom (Pluspol), erfolgt gar kein Anschleifen der Elektrode.

Die Form der Elektrodenspitze beeinflusst das Einbrandverhalten wesentlich. Bei spitzer Elektrode ergibt sich ein schmaler, tiefer Einbrand, bei stumpfer Elektrode ist der Einbrand unter sonst gleichen Bedingungen breiter und flacher.

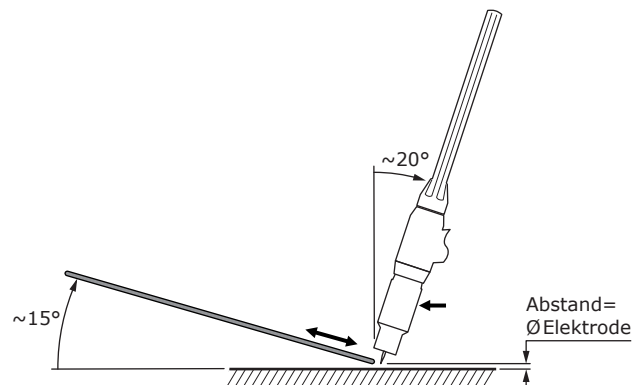


6.10.5. Der Schweißvorgang

Folgende Faktoren sind für ein gutes Schweißergebnis bei der Wolfram Elektrode zu berücksichtigen:

- Wolframelektrodenart (Farbe)
In der Regel kann man für fast alle Anwendungen die WC20 (grau) Elektrode verwenden.
- Elektrodendurchmesser
siehe 6.10.6. Richtwerttabelle
- Abstand der Elektrode zum Werkstück
Als praxisgerecht hat sich erwiesen, dass der verwendete Elektrodendurchmesser auch der Abstand zum Werkstück sein sollte, also bei einer Ø 2,4mm Elektrode auch 2,4mm Elektrodenabstand zum Werkstück. Bei
- Sauberer und richtiger Anschliffwinkel
siehe 6.10.4.

Der Schweißstab wird in allen Positionen, außer der Fallnahtschweißung, in Schweißrichtung vor dem Brenner geführt. Der Brenner wird in einem Winkel von ca. 20° zur Senkrechten in Schweißrichtung stechend angestellt, der Schweißstab wird dabei von vorn, flach (ca. 15°) zur Werkstückoberfläche zugeführt.



Der Lichtbogen schmilzt zuerst ein Schmelzbad auf. Darin schmilzt der Schweißstab dann unter dem Lichtbogen ab, wobei der Schweißer durch Vor- und Zurückbewegungen des Stabes tupfende Bewegungen ausführt. Dabei darf der Stab beim Verbindungsschweißen nicht zu weit unter den Lichtbogen geschoben werden, weil sonst der Einbrand in den Grundwerkstoff vermindert wird.

6.10.6. Richtwerttabellen WIG-Schweißverfahren

Stromstärken der Elektroden:

Elektroden Ø [mm]	Minuspole an Elektrode		Pluspol an Elektrode	
	Wolfram rein	Wolfram mit Oxid	Wolfram rein	Wolfram mit Oxid
1,6	40-130	60-150	10-20	10-20
2,0	75-180	100-200	15-25	15-25
2,5	130-230	170-250	17-30	17-30
3,2	160-310	225-330	20-35	20-35
4,0	275-450	350-480	35-50	35-50
5,0	400-625	500-675	50-70	50-70

Elektroden, Gasdüsen und Zusatzwerkstoff in Abhängigkeit der Blechdicke:

Blechdicke [mm]	Ø Wolframelektrode [mm]	Gasdüsengröße [Nr.]	Ø Zusatzwerkstoff [mm]
1	1,0	4	1,6
2	1,6	4 - 6	2,0
3	1,6	6	2,5
4	2,5	6 - 8	3,0
5	2,5 - 3,0	6 - 8	3,2
6	3,2	8	4,0
8	4,0	8 - 10	4,0

Schweißen von un-/niedriglegiertem Stahl:
Polung: Gleichstrom (-), Schutzgas: Argon (I1)

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

Schweißen von hochlegiertem Stahl:
Polung: Gleichstrom (-), Schutzgas: Argon (I1)

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

6.11. Durch Schweißung bedingte Distorsion

Durch die Erwärmung des Metalles während des Schweißprozesses entstehen beim Abkühlvorgang immer Distorsionen (Verzerrungen im Metallgefüge).

Manchmal sind diese Distorsionen irrelevant bzw. bedürfen keiner weiteren Beachtung. Sie können aber bei komplexen Schweißungen oder bei Anwendung eines falschen Schweißvorgangs (Schweißstrom, Elektroden Durchmesser, Werkstoffe, usw.) zu Sprödbrüchen oder Rissen führen!

Das Thema Distorsion beim Schweißen ist so komplex, daß hier lediglich eine Einführung sinnvoll ist.

Distorsion tritt auf weil:

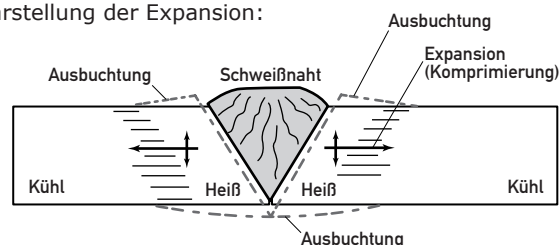
- Das aufgeschmolzene Material schrumpft:
Das Volumen geschmolzenen Stahls schrumpft während des Abkühlvorgangs auf Raumtemperatur um ca. 11%, d.h. daß ein Quader geschmolzener Stahl sich um ca. 2,2% in jeder Dimension zusammenzieht.
Über die Schweißnaht sind Werkstoffe fest miteinander verbunden und können daher nicht frei schrumpfen. Daher wird das Metallgefüge der Schweißnaht gestreckt man spricht von plastischer Verformung. Bei sehr kleinen Querschnitten des Grundwerkstoffs kann diese Verformung auch zu Sprödbrüchen im Grundwerkstoff führen.
- Expansion und Kontraktion des der Schweißnaht umgebenden Materials:
Während des Schweißvorgangs wird ein relativ kleiner Bereich des umgebenden Grundwerkstoffs auf eine hohe Temperatur erhitzt und will expandieren. Die Expansion wird jedoch durch das umliegende kalte Material sowie durch die Expansion des Schmelzbades teilweise unterbunden. Dort wo die Expansion möglich ist bilden sich Ausbuchtungen, das restliche Material verformt sich plastisch.
Während des Abkühlvorgangs versucht das Material sich im gleichen Verhältnis zu kontrahieren, wie es zuvor expandiert hat. Jedoch zieht sich das Material aufgrund der entstandenen Ausbuchtungen zu einer anderen Form zusammen. Daraus entstehen auf das benachbarte Material starke Zugbelastungen.

Daher kann Distorsion zu folgenden Effekten führen:

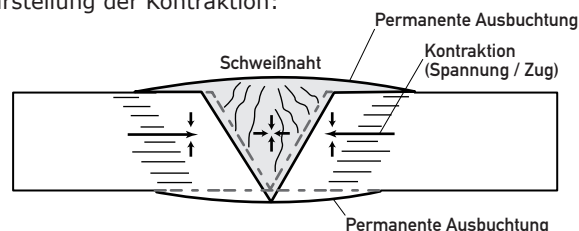
- Das Metall um die Schweißnaht kann durch plastische Verformung die Kräfte aufnehmen.
- Das Werkstück wird durch die entstandenen Kräfte beim Abkühlvorgang verformt.
- Es kommt zu Sprödbrüchen oder Rissen.

Auf jeden Fall verbleiben sehr hohe Spannungen im Metallgefüge des Werkstücks (siehe Abbildung).

Darstellung der Expansion:

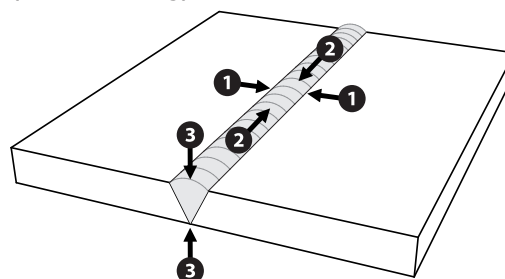


Darstellung der Kontraktion:



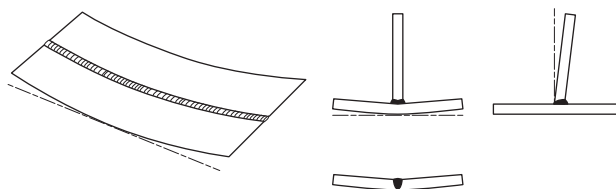
Die beim Abkühlen infolge von Kontraktion entstehenden Spannungen treten in 3 Achsen auf:

- (1) in Richtung quer zur Naht in Blechebene
- (2) in Längsrichtung der Naht in Blechebene
- (3) in Richtung quer zur Naht normal zur Blechebene (Dickenrichtung).



Die Kontraktion längs und quer zur Naht in Blechebene ist abhängig von Nahtlänge, Blechdicke, Konstruktion, Anzahl der Lagen, usw. Die Schrumpfung normal zu Blechdicke hängt vorwiegend von der Blechdicke selbst ab.

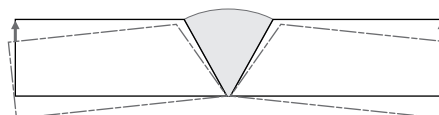
Beispiele von durch Distorsion bedingte Verformungen:



6.11.1. Minimierung von Distorsionsverformungen

Es gibt viele Wege um Verformungen aufgrund von Distorsionen zu unterbinden bzw. zu minimieren, die gebräuchlichsten sind folgend erwähnt:

- Das Werkstück einspannen:
Sofern möglich ist das Einspannen, Fixieren des Werkstücks bzw. der Werkstücke auch möglich um eine Verformung zu unterbinden.
- Das Werkstück verfestigen:
Dies geschieht indem man nach abgeschlossenem Schweißvorgang das aufgewölbte Metall durch Klopfen mit einem Hammer abflacht.
Die Abhilfe ist jedoch nur oberflächlich und empfiehlt sich nicht bei Mehrlagenschweißungen.
- Das Werkstück vorab verformen:
Manchmal weiß man aus Erfahrung um wieviel sich ein Werkstück bei der gewählten Schweißart verformt. Daher ist es möglich das Werkstück vorab zu verformen. Um nach dem Schweißvorgang das gewünschte Ergebnis zu erhalten.

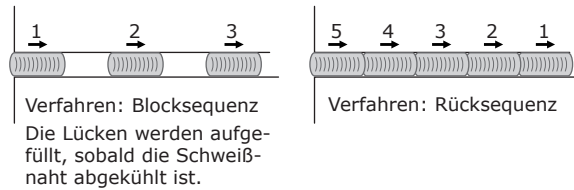


- Distorsionsverteilung:

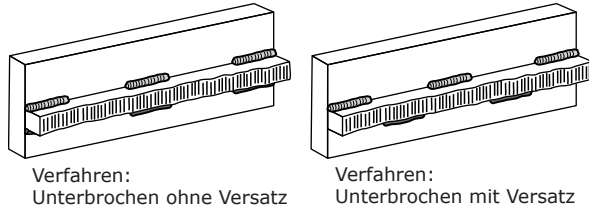
Man kann Schweißverfahren so wählen, daß sich die entstehenden Distorsionen aufheben.

Dies kann z.B. durch sequentielles Schweißen erfolgen. Auch kann gleichzeitiges und beidseitiges Schweißen Distorsion minimieren. Wo man das Verfahren anwenden kann ist es wohl die effektivste Methode um Verformungen zu minimieren.

Stumpfnähte:



Kehlnähte:



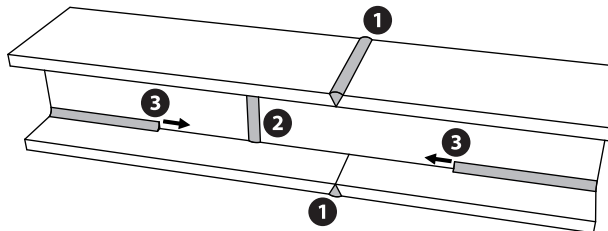
- Das Werkstück vor- und nachwärmen:

Eine zusätzliche Wärmequelle auf das Werkstück wirken zu lassen hat den Vorteil, daß man Expansion und Kontraktion des gesamten Werkstücks gezielt steuern und somit Distorsion weitestgehend unterbinden kann.

6.11.2. Hinweise für die Praxis

- Einen dreiachsigen Spannungszustand durch Art der Konstruktion wegen Spröbruchgefahr unbedingt vermeiden.
- Die Schweißfolge sollte so festgelegt werden, daß die Schrumpfung möglichst ungehindert eintreten kann.
- Möglichst spannungsfrei oder spannungsarm glühen.

Schweißfolge-Beispiel mit Rücksicht auf die Querschrumpfung anhand eines I-Trägers:



6.12. Abschließende Anmerkungen



Bitte beachten Sie immer, daß die Herstellung von Schweißnähten große Sorgfalt in Planung, Vorbereitung und Ausführung verlangt. Anspruchsvolle Schweißarbeiten (vor allem Schweißarbeiten an Maschinen und Geräten, welche bei einem Bruch der Schweißnaht oder des Werkstoffs eine Gefährdung darstellen könnten) dürfen nur von geprüften Schweißern durchgeführt werden!

Sollten Sie als Betrieb Schweißarbeiten durchführen wollen muß der Betrieb als Schweißaufsichtsperson

- für die Herstellerqualifikation Klasse D über einen Schweißfachingenieur
- für die Herstellerqualifikation Klasse B über einen Schweißfachmann

verfügen.

Die generellen Anforderungen für die Prüfung von Stahlschweißern sind in DIN EN 287 Teil 1 (Mai 2004) festgelegt.