

# Aluminium Workshop

---

## Arbeitsunterlagen, Vorträge und Hinweise

### Inhalt:

Hinweise zum Workshop	2
Vortrag Grundlagen Aluminium	3-22
Auswahl von Schweißgasen	23-32
Schweißen von Aluminium Parameter	33-40
Schweißtechnische Verarbeitung von Aluminium	41-56
Auswahl von Zusatzwerkstoffen	57-57
Anwendungstechnische Hinweise	58-69
Verfahrenstechnik	70-80
Nahtvorbereitung	81-89

## **MSS GMBH**

**Magdeburger Schweißtechnik GmbH**

An der Sülze 6 · 39179 Barleben

Tel. 039203-75193 · Fax 039203-751940

[info@mss-schweisstechnik.de](mailto:info@mss-schweisstechnik.de) · [www.mss-schweisstechnik.de](http://www.mss-schweisstechnik.de)

## **MUNK GMBH**

SCHWEISSEN SCHNEIDEN UMWELTECHNIK

Ahornstraße 3b · 06246 Bad Lauchstädt

Tel: 034635-22022 · Fax: 034635-22025

[info@munk-online.de](mailto:info@munk-online.de) · [www.munk-online.de](http://www.munk-online.de)

# Workshop

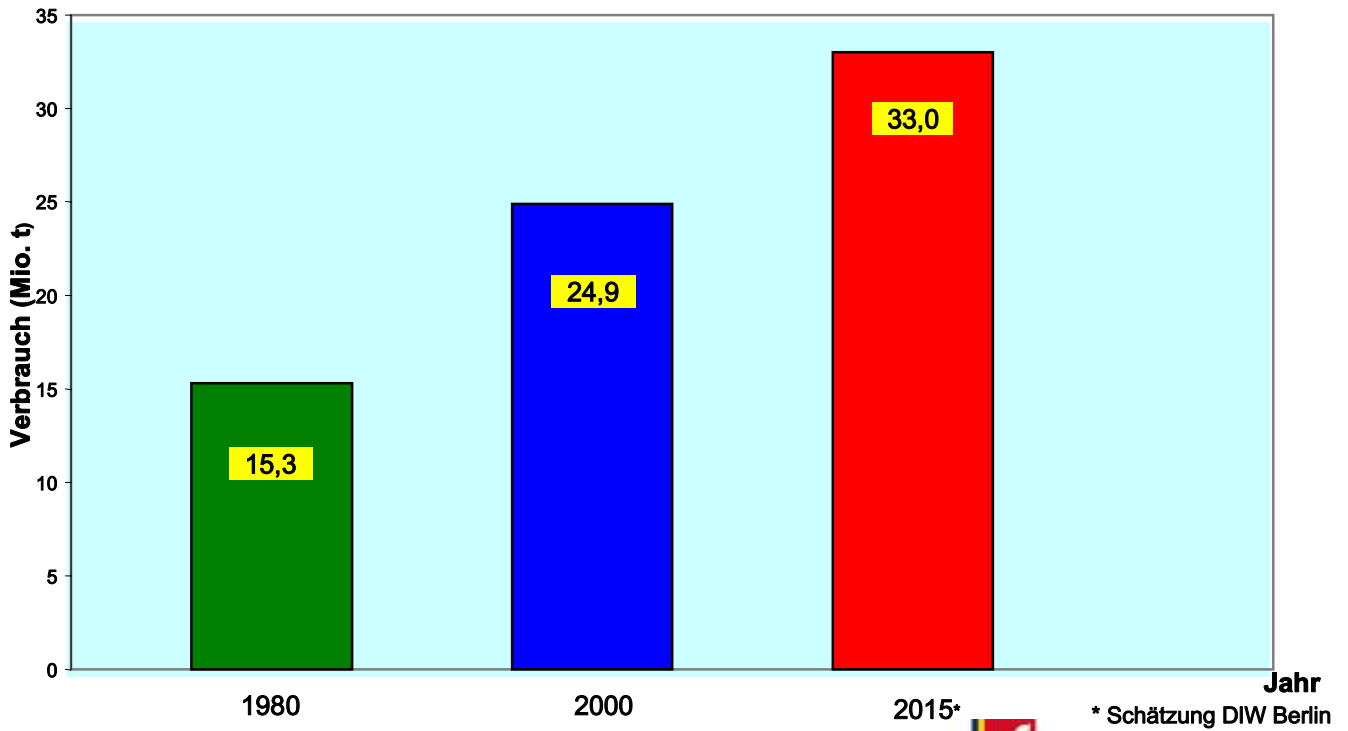
## Verarbeitung von Aluminium

### Grundlagen, Verarbeitung, Geräte, Handhabung und Besonderheiten

- **Grundlagen zum Werkstoff Aluminium und seinen Legierungen**
- **Auswahl der Zusatzwerkstoffe, Schweißverfahren und Gase**
- **Praktische Übungen Verfahren MIG/MAG und WIG**

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- anwendungstechnischer Workshop</li><li>- theoretische und praktische Übungen</li><li>- Beispiele von Anwendungen, Mustererstellung</li><li>- Grundlagen Handhabung Werkstoff und Schweißgeräte</li><li>- Vorführung und eigenständige Erprobung verschiedener Verfahren</li></ul>
<b>Ziel der Schulung</b>	Verfahren sicher einsetzen, Auswahl Werkstoffe, Gase und Geräte
<b>Zielpersonen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Schweißaufsichtspersonen, Schweißer, Techniker, Handwerker</li><li>- Jeder, dem diese Kenntnisse nützen</li></ul>
<b>Workshopdauer</b>	6 h
<b>Eingangswissen</b>	Grundkenntnisse Metallverarbeitung
<b>Schulungsunterlagen</b>	Schweißbibeln, Prospekte und Betriebsanleitungen entsprechend dem Schulungsinhalt, Videos zum Verfahren
<b>Allgemeines</b>	Teilnehmerzahl begrenzt, ggf. werden Gruppen gebildet, Sprache deutsch, tschechisch, Schulungsbeginn, Datum und Ort etc. entnehmen Sie bitte dem Veranstaltungskalender bzw. der Einladung. Weitere Informationen finden Sie unter „Allgemeines zu den Veranstaltungen und Workshops“

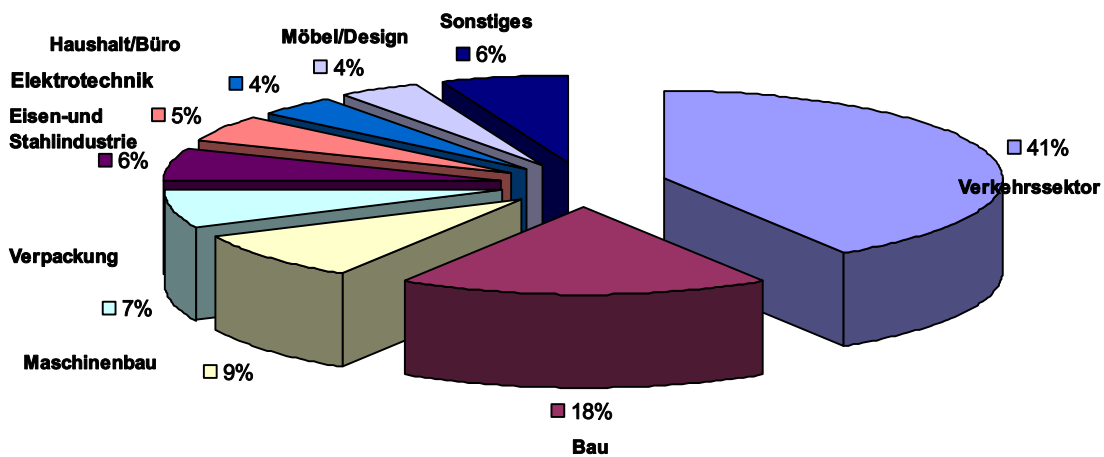
## Verbrauch von Hüttenaluminium Weltweit



Westfalen AG

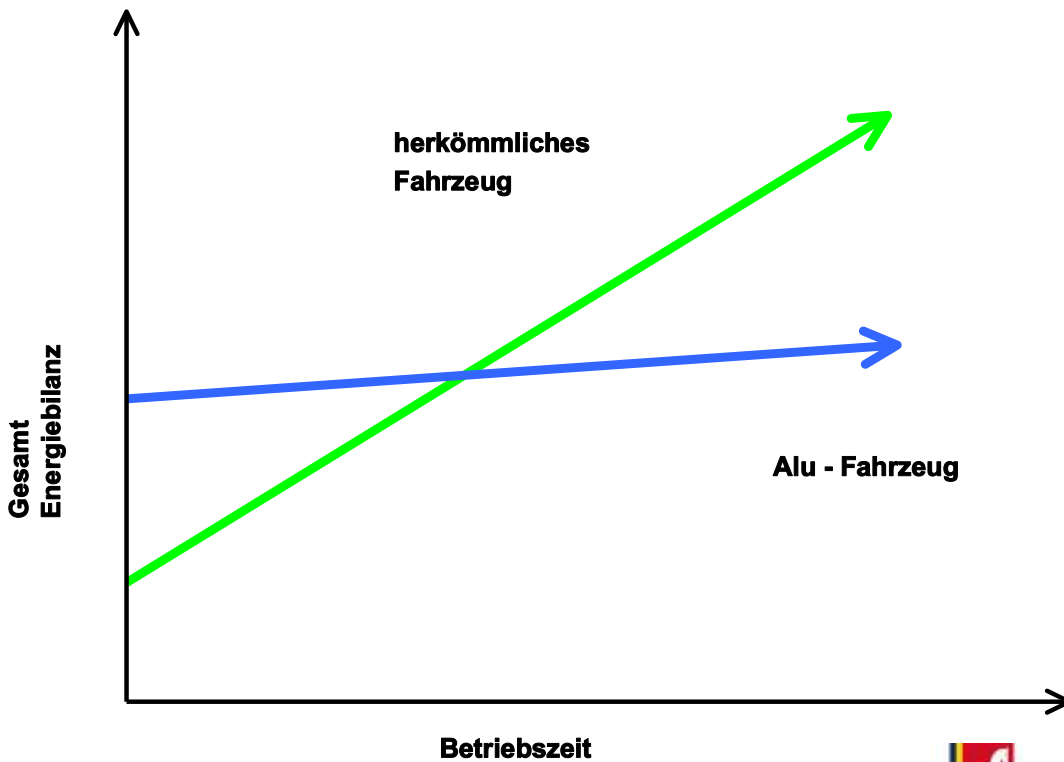
## Aluminiumverbrauch in Deutschland 2000

Gesamt: 2,8 Mio. t (2000)



Westfalen AG

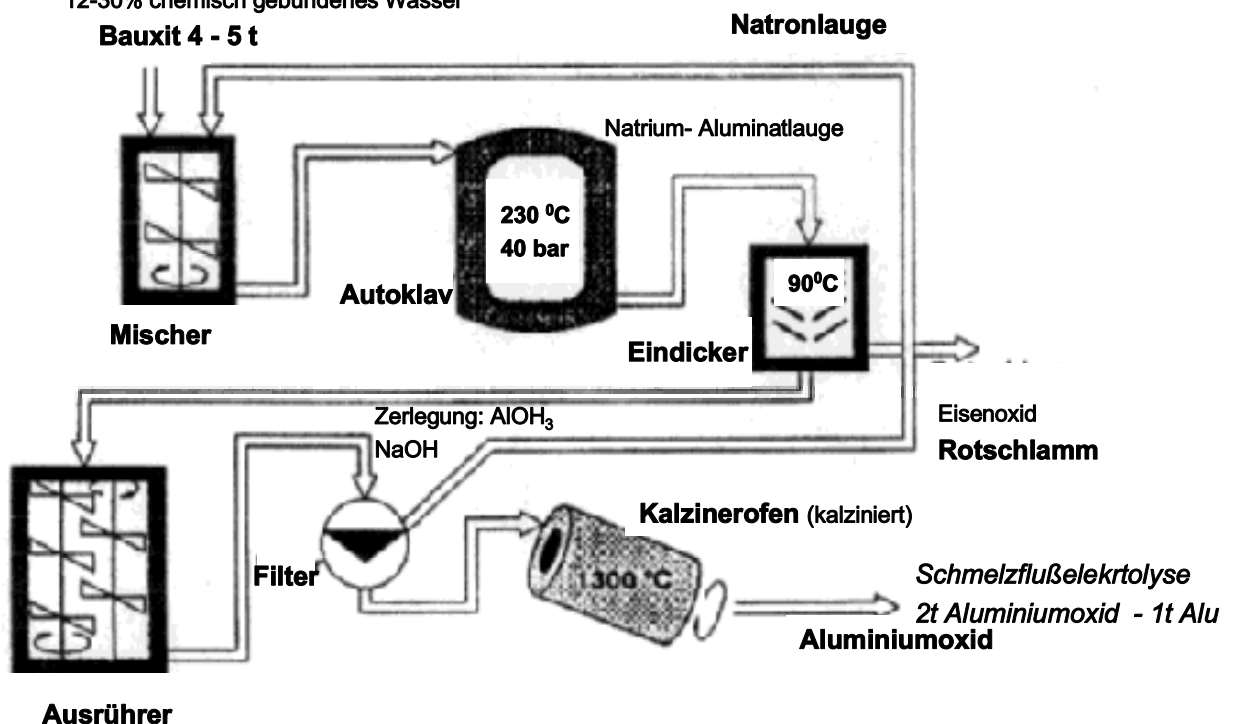
# Energiebilanz am Beispiel Fahrzeug



Westfalen AG

# Herstellung von Aluminium

55 - 65% Aluminiumoxid  
 28 % Eisenoxid  
 12-30% chemisch gebundenes Wasser  
**Bauxit 4 - 5 t**



Westfalen AG

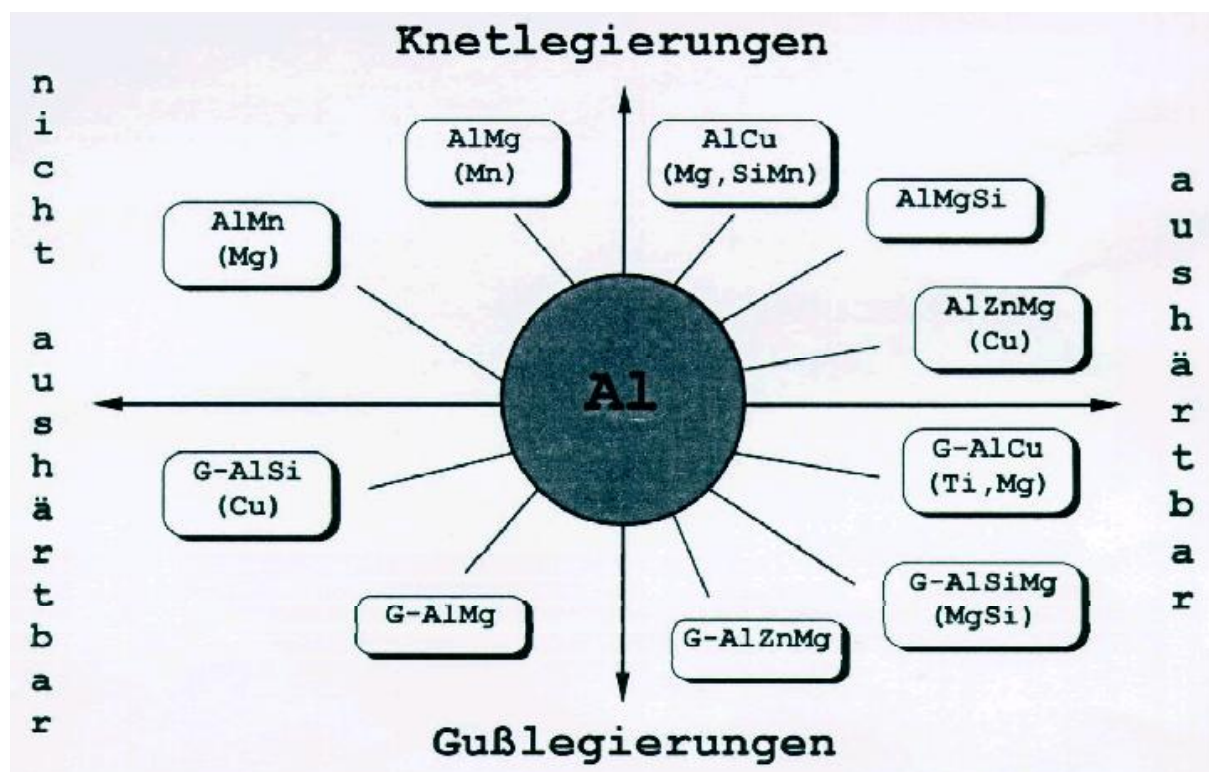
# Eigenschaften von Aluminium im Vergleich zu Baustahl

	Aluminium	unlegierter Stahl
	kub.-flächenzentr.	kub.-raumzentr.
Gitteraufbau		
Wärmeausdehnungskoeffizient [ $1/K \cdot 10^{-6}$ , bei 20 °C]	23,6	11,8
Wärmeleitfähigkeit [W/mK, bei 20 °C]	235	57
Schmelztemperatur [°C]	660	1594
Schmelztemperatur $Al_2O_3$ [°C]	2050	1450
elektrische Leitfähigkeit [ $m/W \cdot mm^2$ ]	37,67	6,7
Dichte [ $g/cm^3$ ]	2,7	7,85
Zugfestigkeit [ $N/mm^2$ ]	50	200
Korrosionsbeständig	ja	nein



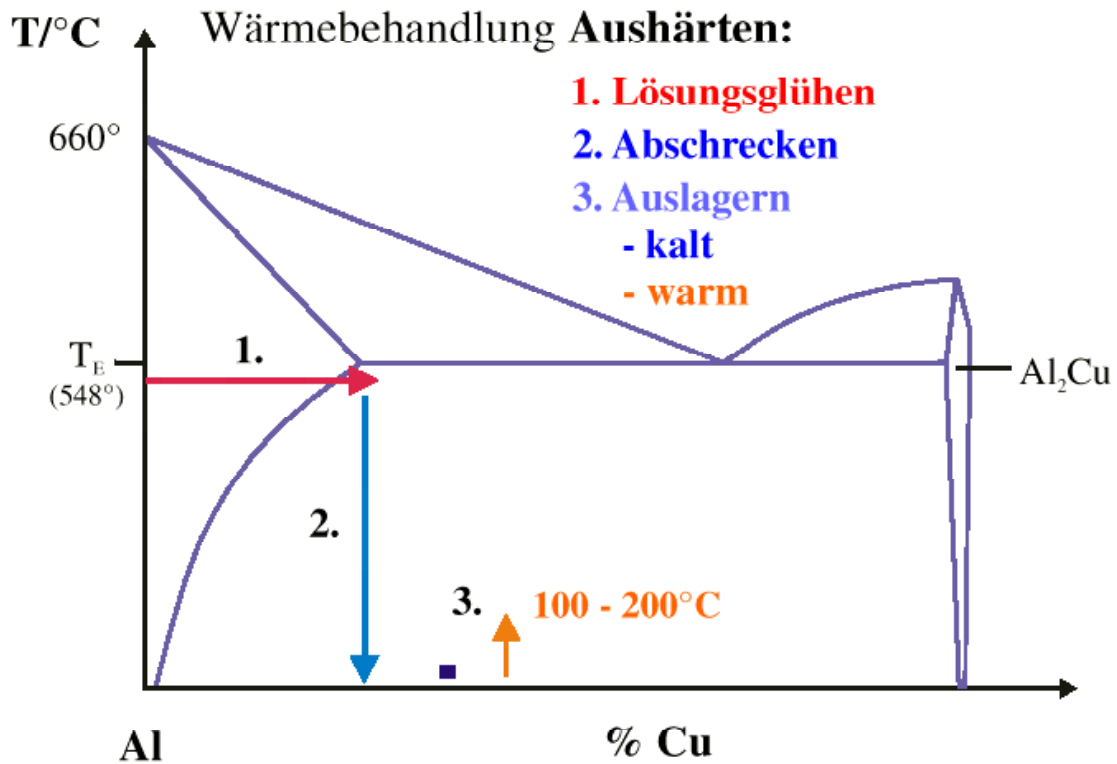
Westfalen AG

## Einteilung der Aluminiumlegierungen



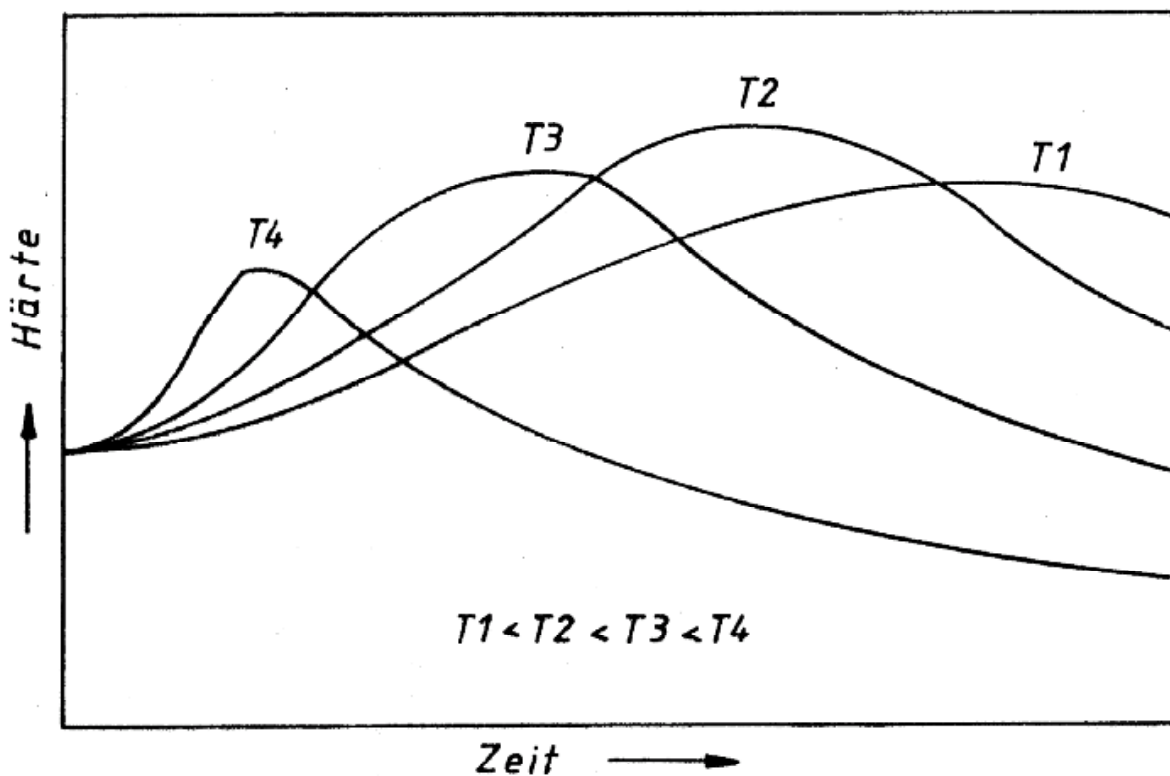
Westfalen AG

# Aushärten von Aluminiumlegierungen



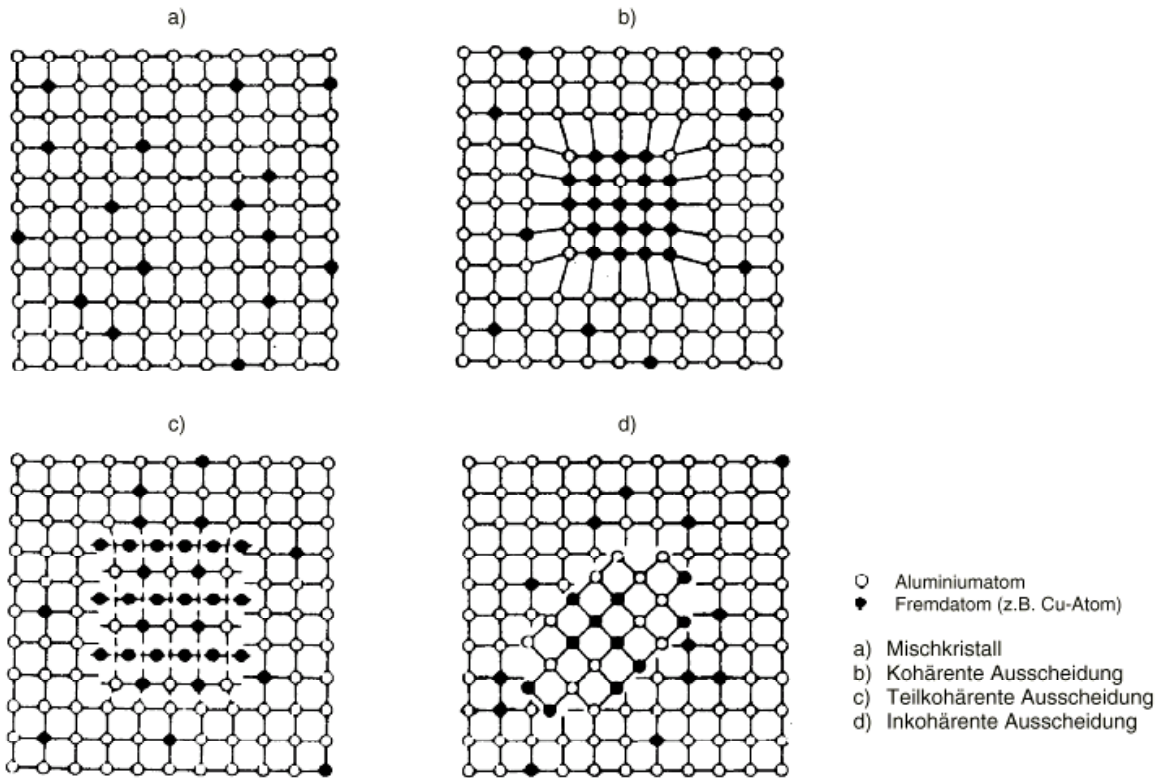
Westfalen AG

# Verlauf der Ausscheidungshärtung



Westfalen AG

# Ausscheidungsarten bei Aluminiumlegierungen



**Westfalen AG**

## Aushärtbare Legierungen

Element	delta Rm MPa/wt%	delta Rp 0,2 MPa/wt %
Si:	9,2	39,6
Zn:	2,9	15,2
Cu:	13,8	43,1
Mn:	30,8	53,8
Mg:	18,6	50,3

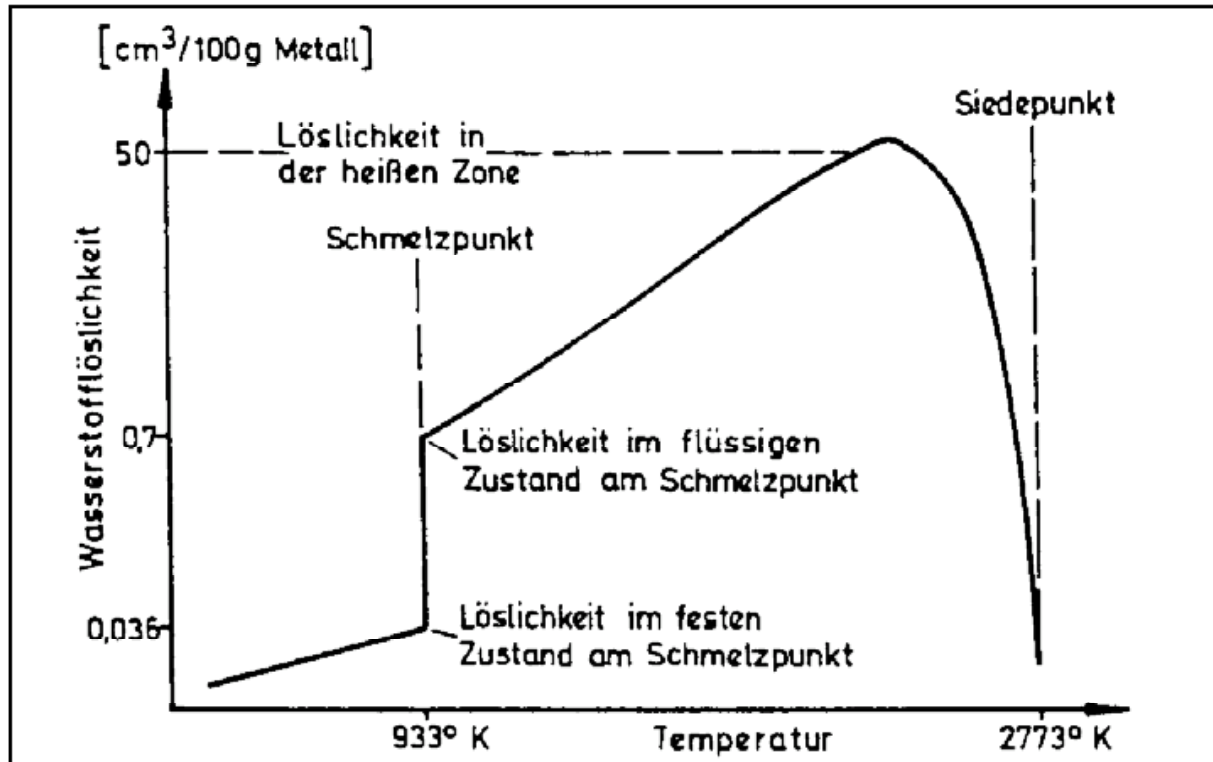
Festigkeitssteigerung bei 1%  
bestimmter Legierungselemente



**Westfalen AG**



## Wasserstoff-Löslichkeit in Aluminium



Westfalen AG

## Einfluß von $\text{H}_2$ auf die Schmelze



Westfalen AG



# Unterschiedliche Korrosionsarten bei Aluminiumlegierungen

- **Interkristalline Korrosion**
  - Ausscheidungen von AlMg oder AlCu-Phasen
- **Lochkorrosion**
- **Spaltkorrosion**
- **Spannungsrißkorrosion**
- **Schwingungsrißkorrosion**



**Westfalen AG**

## Übliche Aluminiumlegierungen und ihre Eigenschaften

<b>Werkstoff</b>	<b>Merkmale</b>
<b>Al 99,5</b>	<b>sehr gute Korrosionsbeständigkeit höchste Wärme- und elektr. Leitfähigkeit hohes Porenrisiko / keine Gefahr von Heißrissen</b>
<b>Al Mg 3</b>	<b>Festigkeitssteigerung durch Mischkristallbildung sehr gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber chloridhaltigen Medien</b>
<b>Al Mg 4,5 Mn</b>	<b>höchste Festigkeit bei nichtaushärtbaren Legierungen Festigkeitssteigerung und Erhöhung der Bruchdehnung</b>
<b>Al Mg Si 0,7</b>	<b>gute Tiefzieheigenschaften / Strangpreßprofile heißrißempfindlich artfremder Zusatzwerkstoff</b>



**Westfalen AG**

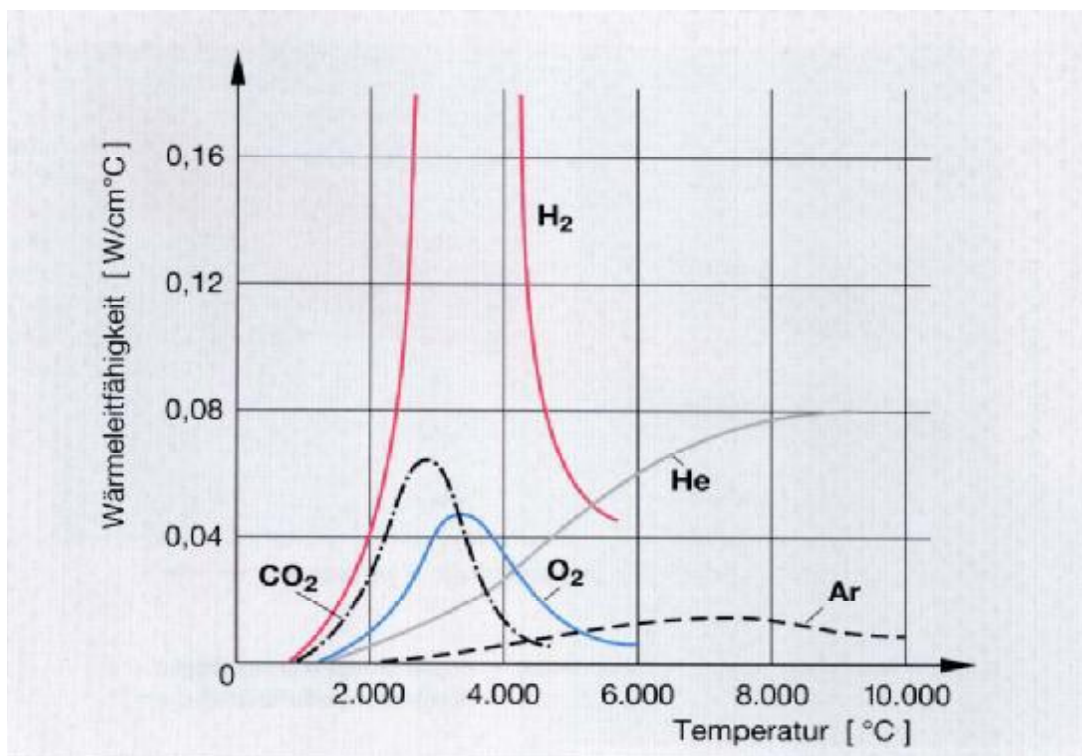
# Übliche Zusatzwerkstoffe und ihre Eigenschaften

Werkstoff	Merkmale
Al Mg 5	Zusatzwerkstoff für Al Mg 3 verringert die Heißrißgefahr gute Fließeigenschaften
Al Mg 4,5 Mn	artgleicher Zusatzwerkstoff schlechtes Fließverhalten hohe Festigkeiten
Al Si 5	sehr gute Fließeigenschaften verringert die Heißrißgefahr geringe Festigkeiten



Westfalen AG

## Thermische Leitfähigkeit von Gasen



Westfalen AG

## Korrekturfaktoren für Argon-Helium-Gemische

Argon Vol.-%	Helium Vol.-%	Korrekturfaktor
100	-	1
75	25	1,14
50	50	1,75
-	100	3,16

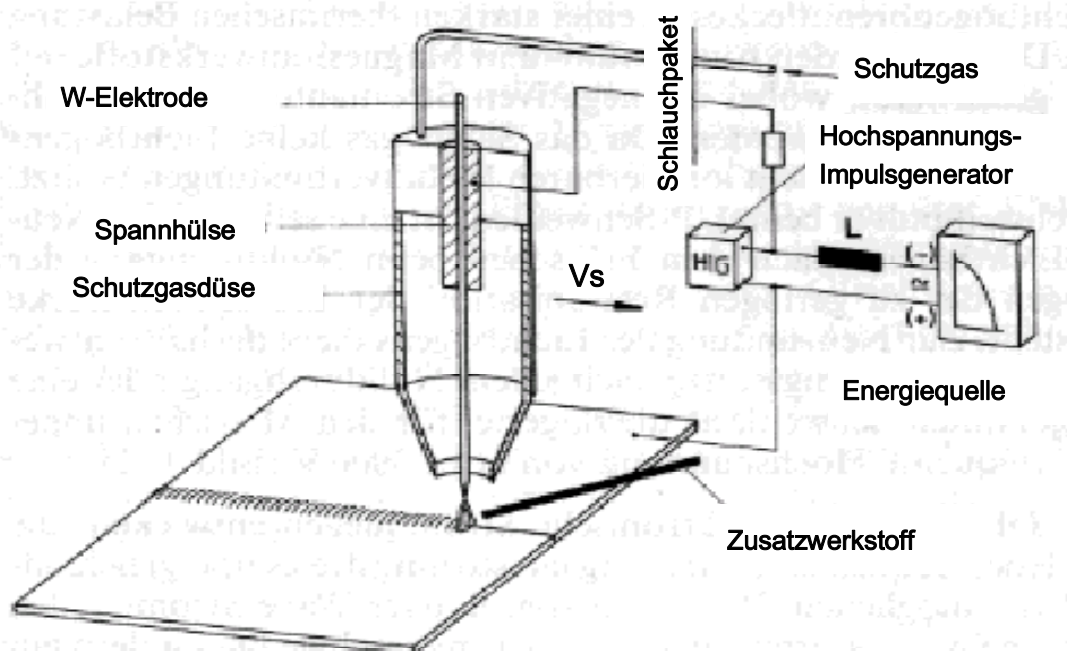
Schutzgas Argon/Helium 50/50

Durchflußskala 20 l/min - Durchflußmenge 27 l/min



Westfalen AG

## WIG - Schweißanlage



Wolfram - Inertgas - Schweißanlage (schematisch)



Westfalen AG

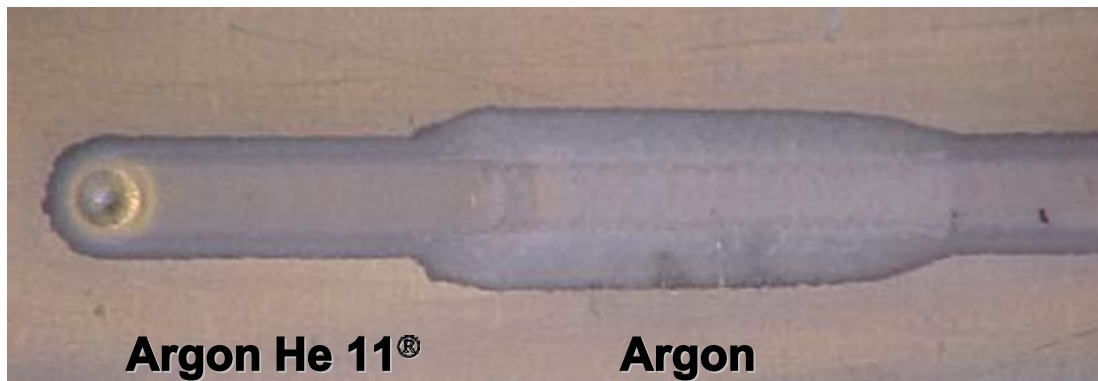
## Schutzgase zum WIG-Schweißen von Aluminium

Produkt	Gemisch- komponenten	Gruppe nach DIN EN 439	Anwendung
<b>Argon 4.6</b>	100 % Argon	<b>I1</b>	<b>alle schmelzschweißbaren Werkstoffe</b>
<b>Helium</b>	100 % Helium	<b>I2</b>	<b>Minuspolschweißen von Aluminium</b>
<b>Argon-Helium-Gemische</b>	30% He, Rest Argon 50% He, Rest Argon 70% He, Rest Argon	<b>I3</b>	<b>Nickel-Basis-Legierungen, Kupfer, Aluminium</b>
<b>Argon He 11</b>	10% He, 0,03% NO, 0,007% N <sub>2</sub> , Rest Argon	<b>I3</b>	<b>Aluminium</b>
<b>Argon He 51</b>	50% He, 0,03% NO, 0,007% N <sub>2</sub> , Rest Argon	<b>I3</b>	<b>Aluminium</b>



**Westfalen AG**

## Einfluß des Schutzgases auf die Reinigungswirkung

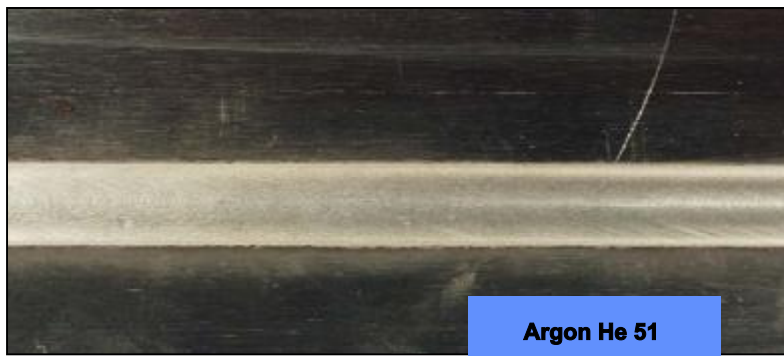
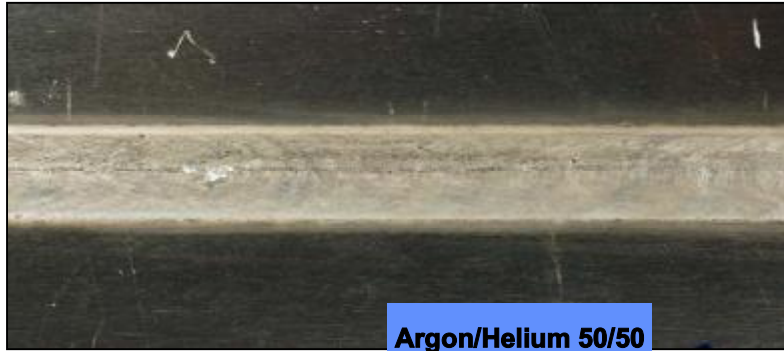


<b>Blindraupe</b>	
<b>Grundwerkstoff :</b>	<b>AlMg4,5Mn</b>
<b>Schweißstrom :</b>	<b>190 A</b>
<b>Balance :</b>	<b>50 %</b>
<b>Schutzgasmenge :</b>	<b>15 l/min</b>



**Westfalen AG**

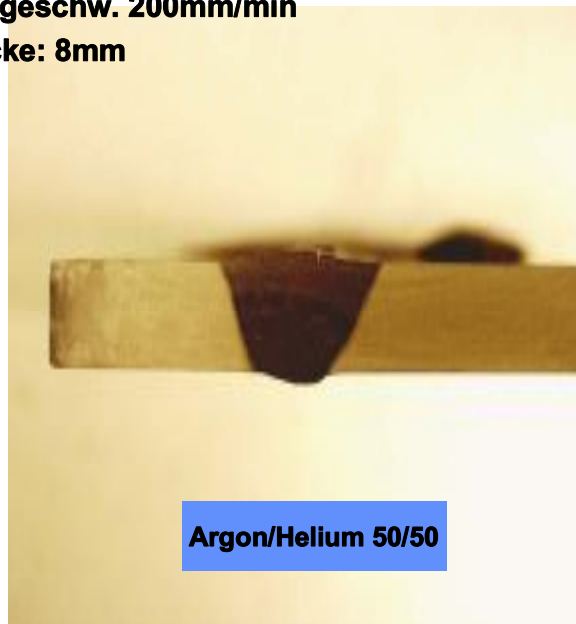
## Schweißnahtoberfläche (WIG)



Westfalen AG

## Makroschliff (WIG)

Strom: 320 Amp.  
Schweißgeschw. 200mm/min  
dicke: 8mm



Westfalen AG

## Einbrandtiefe unter Argon und Argon He11®



Westfalen AG

## Verfahrenshinweise beim WIG-Schweißen von Aluminium

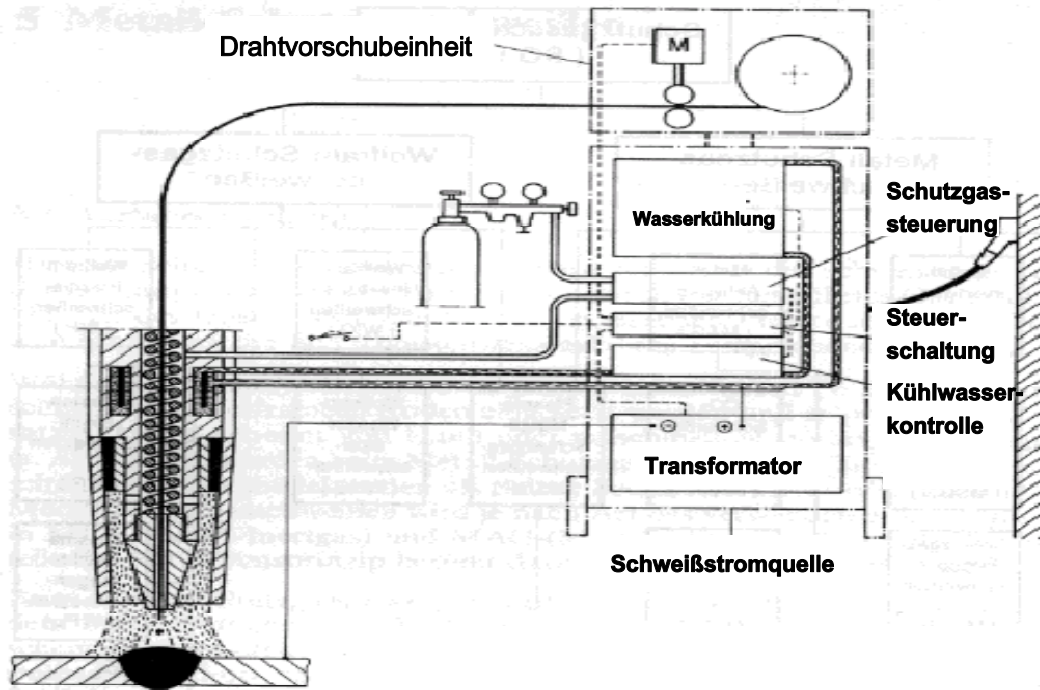
- leicht stechende Brennerhaltung zur besseren Reinigung
- Zusatzwerkstoff nicht aus der Schutzgasglocke nehmen
- zu wenig Oxide verschlechtern die Zündeigenschaften
- Gaslinsen verwenden
- Schutzgasmenge am Brenner überprüfen
- Leistung und Schweißgeschwindigkeit so wählen, daß keine Wärme vorläuft



Westfalen AG



# Aufbau einer MSG - Schweißanlage (schematisch)



**Westfalen AG**

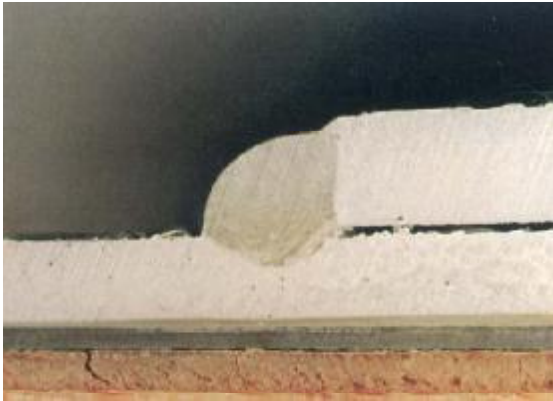
## Schutzgase zum MIG-Schweißen von Aluminium

Produkt	Gemischkomponenten	Gruppe nach DIN EN 439	Anwendung
Argon 4.6	100 % Argon	I1	alle schmelzschweißbaren Werkstoffe
Argon-Helium-Gemische	30% He, Rest Argon	I3	Nickel-Basis-Legierungen, Kupfer, Aluminium
	50% He, Rest Argon		
	70% He, Rest Argon		
Argon He 11	10% He, 0,03% NO, 0,007% N <sub>2</sub> , Rest Argon	I3	Aluminium
Argon He 51	50% He, 0,03% NO, 0,007% N <sub>2</sub> , Rest Argon	I3	Aluminium



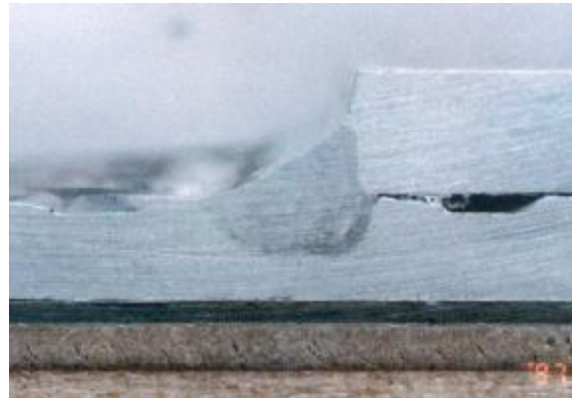
**Westfalen AG**

## Einfluß von Argon He 11® auf den Einbrand



**Argon**  
**Schweißgeschw.: 0,8 m/min**

**Argon He 11®**  
**Schweißgeschw. : 2,0 m/min**



**Westfalen AG**

## Verfahrenshinweise beim MIG-Schweißen von Aluminium

- **leicht stechende Brennerstellung**
- **Teflonseele verwenden**
- **Antriebsrollen so groß wie möglich - > 30 mm**
- **möglichst dicke Drahtelektroden verwenden**
- **zur Vermeidung von Bindefehlern und Poren - Hot-Start**
- **zur Vermeidung von Entkraterrissen - Füllprogramm**
- **Impulstechnik zu empfehlen**



**Westfalen AG**

## Vorteile der Impulstechnik beim MIG-Schweißen

- nahezu kurzschlußfreier Werkstoffübergang
- Vermeidung des Mischlichtbogens
- dickere Drahtelektroden auch bei dünnen Blechen
- geringe Spritzerbildung
- gezielte Wärmeeinbringung
- geringer Verzug



Westfalen AG

## Vorwärmtemperaturen in Abhängigkeit der Aluminiumleg.

Werkstoff	Materialdicke [mm]	max. Vorwärm- temperatur [°C]	max. Vorwärm- zeit [min]
AlMg 3	>16	150	10
AlMg 4,5 Mn	>16	150	10
AlMgSi 0,7	>20	200	30
AlZn 4,5 Mg 1	>16	140	30



Westfalen AG

# Lichtbogenarten zum MIG-Schweißen von Aluminium

<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Kurzlichtbogen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– gute Badbeherrschung</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Porenbildung</li> <li>– relativ starke Spritzerbildung</li> <li>– grobschuppige Nahtoberfläche</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Sprühlichtbogen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– gute Einbrandverhältnisse</li> <li>– porenarme Nähte</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kleinere Drahtdurchmesser im Vergleich zum Impulslichtbogen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Impulslichtbogen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nach Möglichkeit immer einsetzen</li> </ul>



**Westfalen AG**

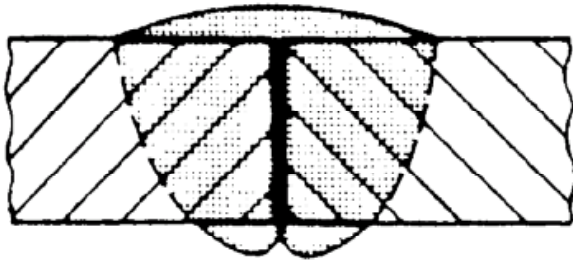
# Übliche Fugenformen für das WIG-Schweißen von Al

Lfd. Nr.	Werkstückdicke s mm	Ausführungsart	Benennung	Sinnbild	Fugenform	Maße in mm		
						Öffnungswinkel $\alpha$ Flankenwinkel $\beta$ Grad	Stegabstand b	Steghöhe c
1	bis 3	einseitig	Bördelnaht			-	-	-
2	bis 5 ----- bis 8	einseitig	I-Naht			- ----- -	- ----- 0...2	- ----- -
3	bis 12	einseitig	V-Naht	V		~ 70	0...2	-

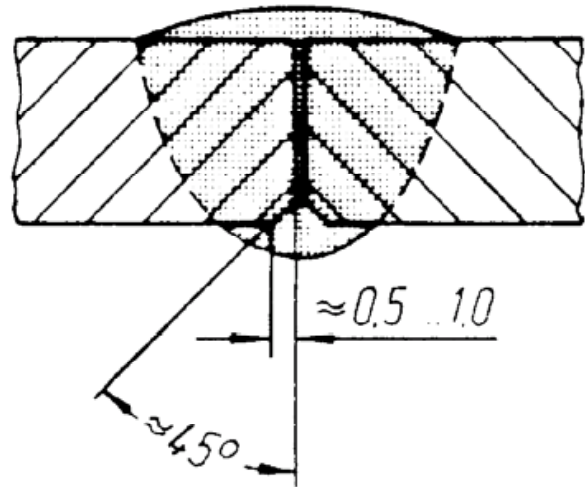


**Westfalen AG**

## Vermeidung von Wurzelkerben durch Brechen der Kante



a) nicht angefast



b) angefast



Westfalen AG

## Richtwerte für das WIG-Schweißen mit Wechselstrom

Werkstückdicke mm	Fugenform	Wolfram-Elektroden- durchmesser mm	Schweißstrom *) A	Schweißstab- durchmesser mm	Argonverbrauch L/min	Lagenzahl
1	II	1,6	50 ... 60	2	4 ... 5	1
2	II	2,4	60 ... 90	2	5 ... 6	1
3	II	2,4	90 ... 150	3	5 ... 6	1
4	II	3,2	150 ... 180	3	6 ... 8	1
6	V	3,2	180 ... 240	4	8 ... 10	2
8	V	4,0	200 ... 280	4	8 ... 10	2
10	V	4,8	260 ... 350	5	10 ... 12	2 ... 3
12	V	6,4	320 ... 400	5	12 ... 14	3

\*) Werte für Stumpfnähte; bei Kehlnähten sind sie um 10 % bis 20 % zu erhöhen.



Westfalen AG



**WIG Schweißen von  
Tankfahrzeugen bei  
Fa. Feldbinder (Winsen)**



**Westfalen AG**

## **Rohreinschweißung in Horizontalposition**



**Argon  
Schweißzeit 25 sec**

**Argon He 11  
Schweißzeit 15 sec**

**GW AIMg 3  
ZSW AIMg 3**



**Westfalen AG**



## Dreiachs-Sattelanhänger mit Kofferaufbau



**Selbsttragende Kofferaufbauten  
aus Ferroplast-Paneelen**



Quelle: SCHMITZ Cargobull



**Westfalen AG**

## Innenansicht eines Kofferaufbaus

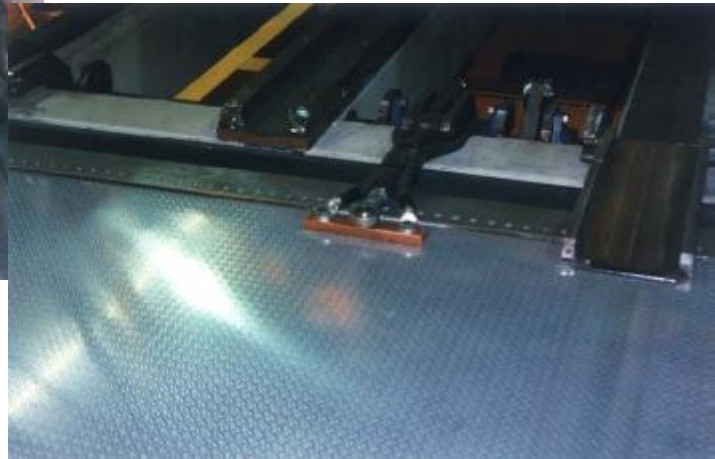


**Leiselaufboden aus Aluminium,  
flüssigkeitsdicht mit dem  
Alu-Sockelscheuerleisten verschweißt**



**Westfalen AG**

## Dichtnahtschweißen mit einem Fahrwerk



Quelle: SCHMITZ Cargobull



**Westfalen AG**



## **Schutzgasschweißen von Aluminium**

### **Bessere Schweißergebnisse und stabilere Schweißprozesse durch optimierte Schutzgasauswahl**

Autor: Dipl.-Ing. Ch. Matz, Linde Gas Division, Unterschleißheim (© 2005)

#### **Einleitung**

Betrachtet man den Aluminiummarkt weltweit, und insbesondere in Deutschland, stellt man fest, dass dieser Markt stark wächst. Der Aluminiummarkt in Deutschland stieg zwischen 1992 und 2002 von 2,25 auf 2,86 Tonnen (+ 27%). Dabei entwickelten sich die einzelnen Märkte unterschiedlich. Der Verkehrssektor, der bereits in 2000 mit 41% den größten Marktanteil hatte, wuchs bis 2002 auf 43%, während die anderen Märkte eher stagnierten [1].

Die Steigerung im Verkehrssektor ist in den hervorragenden Leichtbaueigenschaften von Aluminium begründet. Der Zwang zum Leichtbau macht Aluminium als Konstruktionswerkstoff für den Automobil- und Schienenfahrzeugbau, sowie die Luft- und Raumfahrttechnik äußerst interessant. Frühere Schätzungen gingen z.B. davon aus, dass der durchschnittliche Aluminiumverbrauch eines europäischen PKW von 100 kg im Jahr 2000 auf 150 kg im Jahr 2005 ansteigt [2].

#### **Eigenschaften**

Die physikalischen Eigenschaften von Aluminium und Eisen sind sehr unterschiedlich. Eisen ist etwa dreimal schwerer als Aluminium, hat allerdings auch einen etwa achtfach höheren E-Modul. Deshalb muss in Aluminium anders konstruiert werden als in Stahl um diesen Nachteil auszugleichen, und deshalb kann auch nicht der gesamte Gewichtsvorteil realisiert werden, wenn man von Stahl auf Aluminium als Konstruktionswerkstoff umsteigt.

Der Schmelzpunkt von Aluminium liegt mit 660°C bei etwa 40% des Schmelzpunktes von Eisen (1536°C). Aufgrund der etwa doppelten Wärmekapazität und dreifachen Wärmeleitung des Aluminiums muss jedoch erheblich mehr Wärme zum Schweißen von Aluminium aufgebracht werden, als man es aufgrund des Schmelzpunktes vermuten würde. Ebenso ist beim Schweißen die etwa doppelte Wärmedehnung problematisch die zu erheblichen Bauteilspannungen oder Bauteilverformungen führen kann.

Aluminiumwerkstoffe werden, abhängig vom Legierungssystem, in Knet- und Gusslegierungen, sowie in aushärtbare und nicht aushärtbare Legierungen unterschieden. Bei aushärtbaren Legierungen kann durch eine Wärmenachbehandlung (Lösungsglühen, Abschrecken, Auslagern) eine Festigkeitssteigerung erreicht werden. Bei nicht aushärtbaren Legierungen, man spricht auch von naturharten Legierungen, ist eine Festigkeitssteigerung durch eine Wärmenachbehandlung nicht möglich. Eine weitere Methode zur Festigkeitssteigerung ist die Mischkristallbildung. Dabei nimmt, ganz allgemein, die Festigkeit mit steigendem Legierungsanteil zu, wobei die Festigkeitssteigerung durch zulegieren von Magnesium am deutlichsten ausfällt. Außerdem lässt sich die Festigkeit noch durch Kaltumformung steigern. Die beiden letztgenannten Methoden funktionieren für alle Aluminiumlegierungen, ihr negativer Einfluss auf die Bruchdehnung der Werkstoffe ist jedoch deutlich größer als beim Aushärten. Aufgrund der kubisch flächenzentrierten Gitterstruktur bleiben die

Festigkeitseigenschaften von Aluminium auch bei sehr tiefen Temperaturen (-200°C und tiefer) weitgehend erhalten.

Eigenschaft	Einheit	Mg	Al	Fe
Schmelztemperatur (bei 1 bar)	°C	650	660	1536
Siedetemperatur (bei 1 bar)	°C	1110	2060	3200
Dichte (bei 20°C)	g/cm <sup>3</sup>	1,74	2,7	7,85
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	157,4	230	73,27
Wärmeausdehnungskoeffizient	K <sup>-1</sup>	24,5 • 10 <sup>-6</sup>	23,86 • 10 <sup>-6</sup>	12,1 • 10 <sup>-6</sup>
E - Modul	GPa	44,3	26,49	206,01
Spez. Wärmekapazität	J/kgK	1017,4	896	452,17
Spez. Elektrischer Widerstand	Ωmm <sup>2</sup> /m	0,045	0,0265	0,095
Elektrochem. Potenzial	V	-2,37	-1,66	-0,45
Kristallgitter		hdP	kfz	krz (kfz)

Tabelle 1: Vergleich ausgewählter physikalischer Eigenschaften von Magnesium, Aluminium und Eisen [3]

## Schweißignung

Sämtliche nicht aushärtbaren Aluminiumlegierungen, sowie die aushärtbaren Legierungen der Systeme AlMgSi und AlZnMg sind gut schweißgeeignet. Auch die in Deutschland wenig verbreiteten Legierungen vom Typ AlCu mit etwa 6% Cu und Zr-Gehalt sind schmelzschweißbar. Einschränkungen bestehen hinsichtlich Legierungsbestandteilen oder Legierungsphasen die irreversiblem Festigkeitsabfall oder Heißrissigkeit verursachen. Zu nennen sind hierbei insbesondere Silizium und Magnesium, aber auch Kupfer in den hochfesten Knetlegierungen der Gattungen AlCuMg und AlZnMgCu. Gusslegierungen sind, mit Ausnahme von Druckguss in dem häufig Luftpfeinschlüsse vorkommen, durchweg gut schweißbar [4].

Werkstoffe	Höchste Heißrissempfindlichkeit bei	Praktisch brauchbarer Mindestgehalt
AlSi	0,75% Si	2% Si
AlCu	3,0% Cu	5% Cu
AlMg	1,2% Mg	3,5% Mg
AlSiMg	0,5% bis 0,8% Si bei gleichzeitig 0,2% bis 1,2% Mg	2% Si, 3,5% Mg

Tabelle 2: Heißrisseignung bei verschiedenen Legierungsbestandteilen [4]

Problematisch beim Schweißen sämtlicher Aluminiumlegierungen ist der große Löslichkeitssprung des Aluminiums für Wasserstoff. Beim Erstarren von schmelzflüssigem Aluminium reduziert sich die Wasserstofflöslichkeit von 0,7 g/cm<sup>3</sup> auf 0,036 g/cm<sup>3</sup>. Der ausgeschiedene Wasserstoff muss aus dem erstarrenden Aluminium Ausdiffundieren, da er sonst als Pore eingefroren wird. Dies ist umso problematischer je kleiner das Erstarrungsintervall des Werkstoffes ist und je weniger Wärmeenergie in die Schweißung eingebracht wird. Andererseits steigt mit der in die Schweißung eingebrachten Wärmeenergie auch der Verzug des Werkstückes. Außerdem wird der Werkstoff durch viel Schweißwärme erweicht und die Neigung zu Heißrissen nimmt zu.

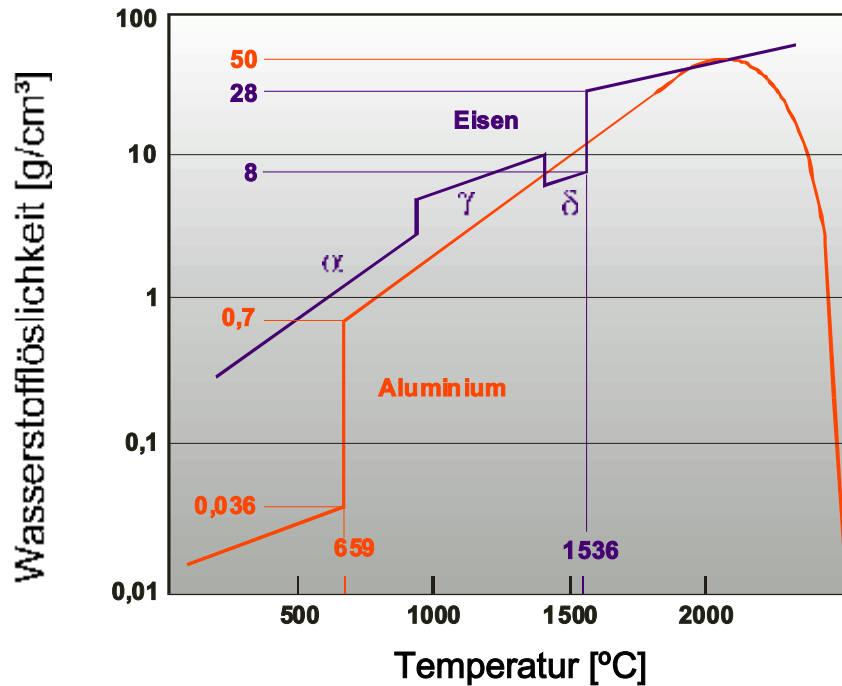


Bild 1: Löslichkeitssprung von Wasserstoff in Aluminium

Es muss deshalb darauf geachtet werden möglichst wenig Wasserstoff in die Schweißung einzubringen. Dazu ist es insbesondere wichtig saubere und trockene Werkstoffe zu verwenden in denen auch kein Wasserstoff gelöst sein darf. Ebenso muss das Schutzgas trocken sein, und zwar nicht nur im Vorratsbehälter, sondern auch noch wenn es am Schweißbrenner auströmt. Die Schutzgasleitungen sollten deshalb idealer Weise aus korrosionsfreiem CrNi-Stahl bestehen mit möglichst kurzen Schlauchstücken, oder besser Flexrohren, wo Beweglichkeit gefordert ist.

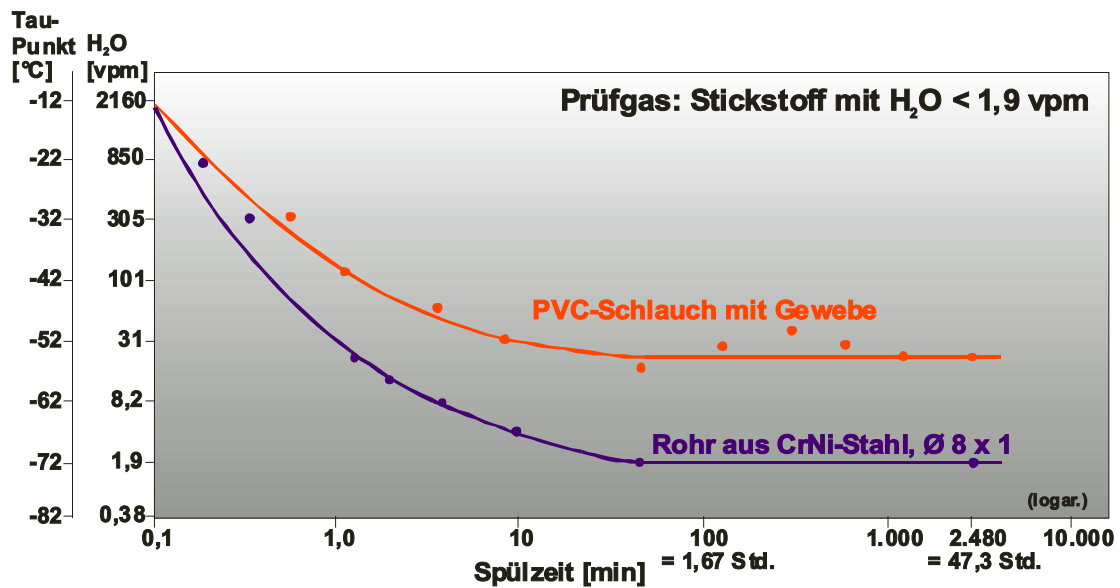


Bild 2: Einfluss der Gasleitung auf Feuchtigkeitsgehalt im Schutzgas

Schlauchstücke müssen möglichst vermieden werden. Wo nur Schläuche eingesetzt werden können, müssen diese aus einem geeigneten Material bestehen, das möglichst wenig

Diffusion der Feuchtigkeit durch die Schlauchwand in das Schutzgas zulässt. Die oft zu hörende Aussage, es genüge die Schläuche während Stillstandszeiten unter Druck zu halten um eine Diffusion zu verhindern, ist nicht zutreffend. Für Diffusionsvorgänge sind Konzentrationsunterschiede, bzw. unterschiedliche Partialdrücke der diffundierenden Komponente, und die Durchlässigkeit der sie trennenden Membran verantwortlich. Es gelten die Fick'schen Diffusionsgesetze.

1. Fick'sches Gesetz: 
$$\frac{dQ}{dt} = \frac{DA}{l} \cdot \Delta C$$

- Dabei sind:
- $\frac{dQ}{dt}$  Diffusionsgeschwindigkeit, z.B. Molenstrom  $\dot{n}$
  - D Diffusionskoeffizient (Materialabhängig)
  - A Austauschfläche
  - $\Delta C$  Konzentrationsdifferenz
  - l Diffusionsstrecke

Bei wassergekühlten Brennersystemen ist außerdem auf absolute Dichtigkeit zu achten.

Um eingebrachtem Wasserstoff die Gelegenheit zum Ausdiffundieren zu geben, empfiehlt es sich Legierungen mit einem größeren Erstarrungsintervall zu wählen. Auch die Verwendung von heliumhaltigen Schutzgasen begünstigt das Ausdiffundieren des Wasserstoffs.

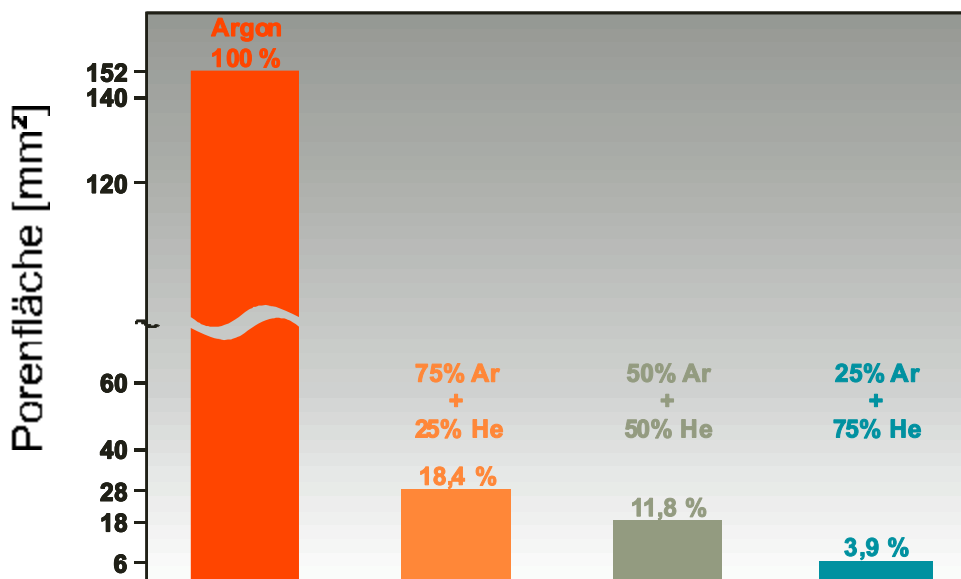


Bild 3: Helium im Schutzgas – Einfluss auf Porenbildung (Bsp.: I-Naht, Lage-Gegenlage, Nahtlänge 370 mm, Blechdicke 10 mm, MIG, Al 99,5)

## Schweißfehler

Aluminium ist erheblich diffiziler zu schweißen als Stahl. Problematisch sind dabei mehrere Werkstoffeigenschaften des Aluminiums, nämlich die hohe thermische Dehnung und Leitfähigkeit, sowie das kleine Erstarrungsintervall und der Löslichkeitssprung für Wasserstoff. Außerdem erschwert die Tatsache dass keine Glühfarben zu sehen sind, weshalb keine optische Warnung bei Annäherung an die Schmelztemperatur erfolgt, den Schweißprozess erheblich.



Die sich daraus beim Schweißen von Aluminium ergebenden typische Schweißfehler sind:

- Heißrisse
- Bindefehler
- Poren
- Festigkeitsverlust
- Verzug

Um diese Fehler zu vermeiden müssen sich widersprechende Anforderungen an den Schweißprozess erfüllt werden. Um Heißrisse, Festigkeitsverlust und Bauteilverzug zu minimieren muss man mit möglichst wenig Streckenenergie schweißen. Dadurch erhöht sich jedoch das Risiko von Bindefehlern und Poren. Gleiches gilt umgekehrt.

## Werkstoffoberfläche

Aluminium überzieht sich an Luft durch die Reaktion mit Sauerstoff bzw. Wasserdampf mit einer dünnen aber dichten Oxidschicht (Reaktionsschicht). Wird diese verletzt oder entfernt tritt spontan eine Neubildung ein (Selbtheilungseffekt). Die natürliche Oxidschicht ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) erreicht bei Raumtemperatur und an Luft binnen weniger Minuten eine Dicke von mehreren Nanometern. Sie wächst mit abnehmender Wachstumsgeschwindigkeit (Selbsthemmung) bis zu einer Dicke von etwa 10 nm.

In feuchter Luft wachsen die Oxidschichten weiter und werden deutlich dicker als an trockener Luft. Die an feuchter Luft gebildete natürliche Oxidschicht besteht aus zwei übereinander liegenden Teilschichten: Der Grund- oder Sperrschicht aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und einer porösen, wasserhaltigen Deckschicht (Sorptionsschicht) mit geringen kristallinen Anteilen an  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (Aluminiumhydroxid, auch Bayerit).

Auf einem zum Schweißen vorgesehenen Werkstück oder Zusatzwerkstoff findet sich zusätzlich noch eine Oberflächenschicht, die aus Zieh- oder Trennmitteln, Fett, Öl oder Schmutz bestehen kann (Kontaminationsschicht). Auch diese Schicht ist eine Quelle von Wasserstoff in Form der eingelagerten Kohlenwasserstoffe und muss deshalb gründlich entfernt werden.

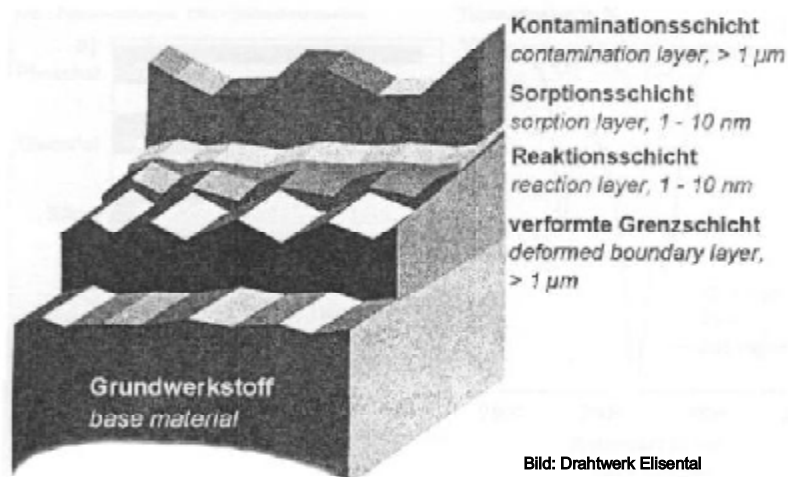


Bild: Drahtwerk Eisental

Bild 4: Aufbau der Aluminiumoberfläche

## Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Aluminiumoxid hat bezüglich des Schweißprozesses vier wesentlich Merkmale: Es enthält keinerlei Wasserstoff, es ist, im Gegensatz zu Aluminium, ein elektrischer Isolator, es ist schwerer als Aluminium und schmilzt erst bei etwa  $2050^\circ\text{C}$ . Diese Eigenschaften bewirken, dass  $\text{Al}_2\text{O}_3$  keinen negativen Einfluss auf die Porenbildung hat, dass es in die Schmelze einsinken und zu Einschlüssen führen kann, und dass es, wo vorhanden, ein Dielektrikum bildet an dessen Kanten eine Feldlinienhäufung des elektrischen Feldes auftritt (siehe Bild 5). An diesen Punkten mit erhöhter Feldliniendichte ist es besonders einfach für den Lichtbogen stabil zu brennen, da hier die Stromdichte deutlich höher ist als im Rest des elektrischen Feldes. Es entstehen Leistungsdichten bis  $10^{12} \text{ W/m}^2$  was etwa der Leistungsdichte eines 2 – 3 KW  $\text{CO}_2$  Lasers gleichkommt [5]. Dadurch wird das  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zersetzt und durch die lokale Hitzeeinwirkung werden vermehrt Elektronen freigesetzt. Der Lichtbogen brennt dadurch insgesamt stabiler.

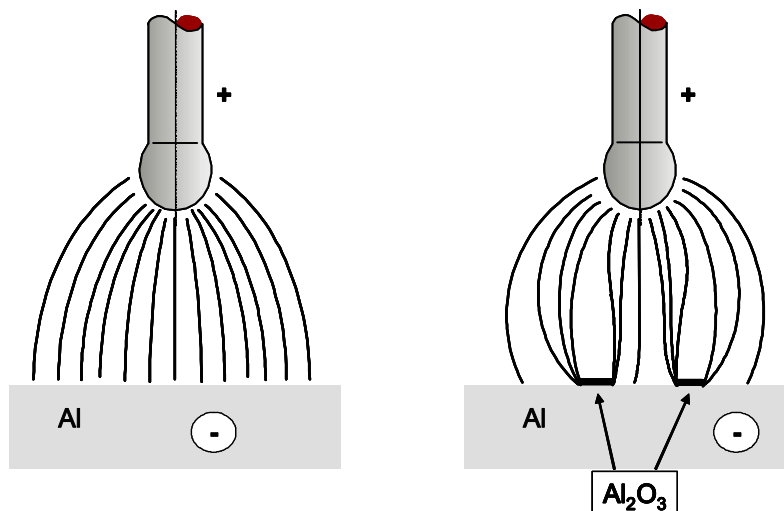


Bild 5: Feldlinienanhäufung am Dielektrikum Al /  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Es ist daher, und wie Erfahrungen aus der Praxis zeigen, nicht korrekt, wenn zwecks Porenvermeidung gefordert wird das Aluminiumoxid zu entfernen. Unter dem allgemeinen Begriff Aluminiumoxid oder Oxidhaut wird zumeist das Schichtensystem aus Reaktions-, Sorptions- und Kontaminationsschicht zusammengefasst. Der schädliche Wasserstoff ist jedoch nur in den beiden oberen Schichten enthalten und kann deshalb durch Reinigen (Kontaminationsschicht) und temperieren auf etwa  $50^\circ\text{C}$  (Sorptionschicht) entfernt werden.

Eine zum Schweißen ideale Oberfläche die nur aus der Reaktionsschicht besteht, lässt sich aufgrund von Umwelteinflüssen nicht herstellen. Definierte Reinigungs- und Lagerungsvorschriften erzeugen jedoch annähernd identische Oberflächen, wodurch entsprechend stabile Prozesse und konstante Schweißergebnisse ermöglicht werden.

## Schutzgasauswahl

Über die Auswahl des Schutzgases ist es möglich auf Bindefehler, Porenhäufigkeit, Verzug und Werkstoffverweichung Einfluss zu nehmen, indem man über das Schutzgas den Schweißprozess stabilisiert und mehr Wärme zur Verfügung stellt. Auch die Neigung zu Heiß- bzw. Endkraterissen kann beeinflusst werden, jedoch zeigen hier die Legierungsauswahl bzw. Endkraterprogramme mehr Wirkung.

## VARIGON® S

VARIGON® S ist standardmäßig mit 300 ppm O<sub>2</sub> dotiert. Es stellt im näheren Lichtbogenbereich Sauerstoff zur Verfügung der an der heißen Aluminiumoberfläche zu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reagiert. Der Lichtbogen wird, im Vergleich mit reinem Argon, stabilisiert und auf einen schmalen Nahtbereich fokussiert (siehe Bilder 6 und 7). Die Schweißnaht hat eine gleichmäßigere und feinere Zeichnung. Durch VARIGON® S bekommt der Schweißprozess eine zusätzliche Reserve, die umgesetzt werden kann um z.B. die Prozessstabilität zu verbessern, die Schweißgeschwindigkeit zu erhöhen, das Nahtaussehen der Bauteile zu verbessern oder die Nacharbeit zu reduzieren.

Die 300 ppm O<sub>2</sub> Dotierung im VARIGON® S führt im MIG Prozess, verglichen mit reinem Argon, zu *keiner* messbaren Reduktion der Lebensdauer der Wolframelektroden.



Bild 6: MIG-Blindraupe auf mechanisch gereinigtem Aluminium. Vergleich der Schutzgaswirkung, Argon (links), VARIGON® S (rechts). Unter VARIGON® S sind ein schmalerer Nahtbereich und die feinere und regelmäßige Schuppung zu erkennen.

**Argon**

**VARIGON® S**

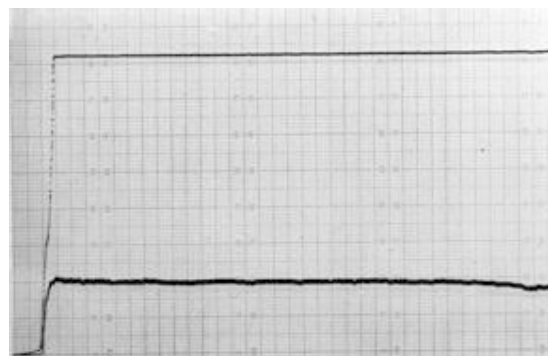
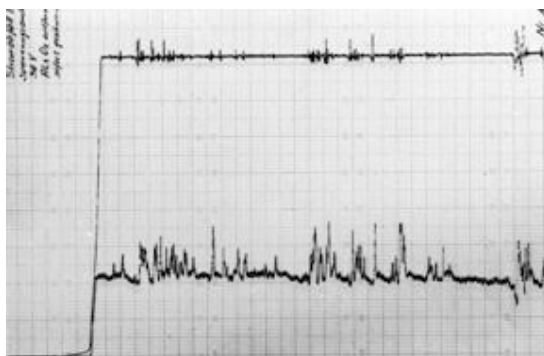


Bild 7: Zugehöriger Strom/Spannungs-Schrieb

## VARIGON® He

Unter dem Oberbegriff VARIGON® He sind die Argon/Helium Gemische zusammengefasst. Diese können einen Heliumanteil zwischen 15% und 95% haben, wobei eine dem He

nachfolgende Ziffer den Heliumanteil angibt. Mit steigendem Heliumanteil wird es schwieriger den Lichtbogen zu zünden. Daher muss die Lichtbogenspannung erhöht werden, weshalb der Lichtbogen breiter und steifer wird. Spaltüberbrückung und Nahtbreite steigen somit, die Naht wird flacher und feinschuppiger. Dadurch, und durch den tieferen und runderen Einbrand, verbessern sich die dynamischen Festigkeitswerte der Schweißnaht. Die Bindefehlergefahr und die Porenanfälligkeit sinken, die Vorwärmung kann reduziert werden oder entfallen. Die bessere Wärmeleitung des Heliums sorgt für mehr Wärme im Bauteil und eine bessere Benetzung der Werkstückoberfläche. Schwankungen in der Wärmeleitung, z.B. an Gussknoten, werden kompensiert. Es ist auch möglich Bauteile verschiedener Dicken miteinander zu verbinden oder schneller zu schweißen. Eine höhere Schweißgeschwindigkeit führt zu einer niedrigeren Streckenenergie. Weniger Verzug und weniger Werkstoffverweichung sind die Folge.

### VARIGON® He S

In VARIGON® He S sind die Vorteile der vorgenannten Gase vereint. Die Argon/Helium Gemische der VARIGON® He-Reihe erhalten zusätzlich eine Sauerstoffdotierung zur Erhöhung der Lichtbogenstabilität. So wird dieses Gas insbesondere für die Großserienfertigung interessant, da dort, aufgrund des hohen Automatisierungsgrades, besonders stabile und reproduzierbare Prozesse gefordert sind. Aufgrund hoher Schweißgeschwindigkeiten und genau vorgegebener Roboterbahnen wird der Schweißprozess immer empfindlicher gegen äußere Einflüsse wie z.B. Maßschwankungen bei den Bauteilen, veränderliche Spaltmaße oder Wiederholungsgenauigkeiten des Roboters. Durch Einsatz der Schutzgase aus der VARIGON® He S-Reihe schafft man sich zusätzliche Reserven, die den Schweißprozess gegen solche Einflüsse unempfindlicher machen. Läuft der Schweißprozess stabiler und mit erhöhter Reproduzierbarkeit, ergeben sich automatisch Vorteile für seine Wirtschaftlichkeit, sei es durch Reduktion von Nacharbeit und Ausschuss, durch höhere Maschinenverfügbarkeit, durch Wegfall einer Vorwärmung oder durch reduzierten Wartungsaufwand. Läuft ein Schweißprozess bereits stabil wird es durch den Einsatz eines VARIGON® He S ermöglicht diesen weiter hinsichtlich Schweißgeschwindigkeit, und somit Wirtschaftlichkeit, zu optimieren, ohne die Stabilität des Prozesses unmittelbar negativ zu beeinflussen.

### **„Kalte“ MIG-Schweißprozesse am Beispiel von MIG-AC**

Vermeehrt werden in jüngster Zeit sog. „kalte“ MIG-Schweißprozesse in den Markt eingeführt mit denen das Schweißen von dünnen Blechen ermöglicht werden soll. Unabhängig vom Funktionsprinzip, ob es sich um einen Kurzlichtbogen- oder einen Impulslichtbogen handelt, ob mit Gleich- oder Wechselstrom geschweißt wird, bleibt allen Prozessen eines gemeinsam: Aufgrund niedrigerer Schweißparameter wird es schwieriger einen stabilen Lichtbogen zu erzeugen der nach Kurzschluss oder Umpolung wieder zuverlässig zündet und ausreichend Wärme in das Bauteil bringt um Bindefehler und Poren zu vermeiden.

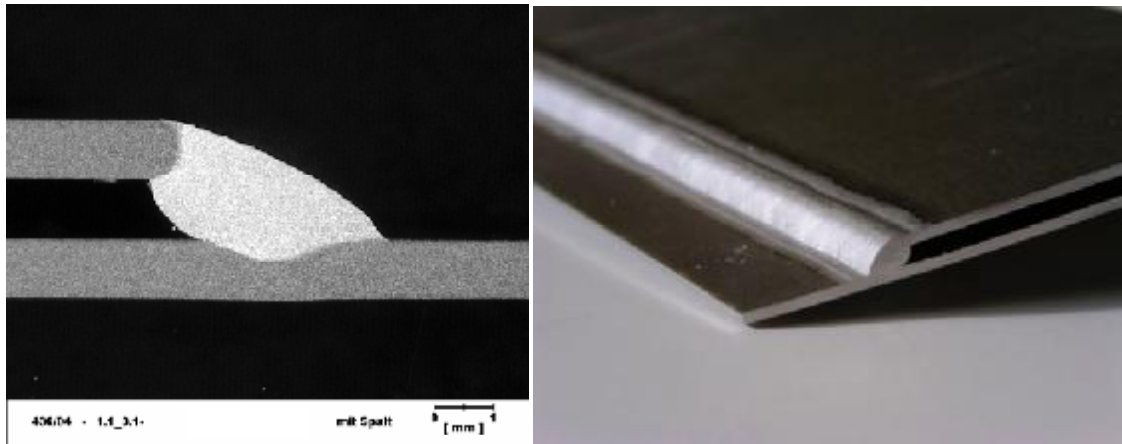


Bild 7: MIG-AC unter VARIGON® He 30 S, Spalt 1,0 mm,  $v_s = 1,0$  m/min (ZSW: AL 5183 (SG-ALMg4,5Mn),  $\varnothing = 1,2$  mm, GW: EN-AW 5754 (ALMg3),  $t = 1,0$  mm)

VARIGON® He S stabilisiert den Schweißprozess, verbessert die Zündeigenschaften und sorgt für mehr Wärme, so dass Porenanfälligkeit und Bindefehlergefahr reduziert werden. Der Heliumanteil wird, abhängig von Schweißprozess, Werkstückdicke und Drahtdurchmesser, zwischen 15 und 50 Prozent gewählt.

Wer nicht an dünnen Blechen schweißen muss, kann diese Prozesse nutzen um auf die nächst dickere Drahtelektrode zu wechseln. Dadurch ergeben sich erhebliche Vorteile hinsichtlich Förderung und Kosten des Zusatzwerkstoffes, sowie Reduzierung der Drahtoberfläche.

## Zusammenfassung

Zum Schweißen von Aluminium sind, neben dem Standardgas Argon, bei Linde die Gase der VARIGON® S, VARIGON® He und der VARIGON® He S Reihen erhältlich. Die O<sub>2</sub> Dotierung in VARIGON® S und VARIGON® He S sorgt für einen stabileren Lichtbogen und erhöht so die Stabilität des Schweißprozesses, während der Heliumanteil in VARIGON® He und VARIGON® He S durch ein verändertes Einbrandprofil und bessere Wärmeleitung für bessere dynamische Festigkeitswerte, eine verbesserte Spaltüberbrückung, mehr Porensicherheit und weniger Bindefehlergefahr sorgt.

Verglichen mit Schutzgasschweißprozessen an Aluminium unter reinem Argon entstehen durch die Verwendung der VARIGON® Schutzgase zusätzliche Reserven, die genutzt werden können um die Wirtschaftlichkeit der Schweißprozesse durch höhere Schweißgeschwindigkeiten oder die Reduktion von Nacharbeit und Ausschuss zu erhöhen, oder um kritische Schweißprozesse zu stabilisieren.

### **Literaturnachweis**

- [1] Gesamtverband der deutschen Aluminiumindustrie e.V.  
[www.aluinfo.de](http://www.aluinfo.de)
  
- [2] European Aluminium Association  
[www.eaa.net](http://www.eaa.net)
  
- [3] Taschenbuch der Werkstoffe, 5. Auflage  
Merkel/Thomas  
Fachbuchverlag Leipzig (ISBN 3-446-21410-0)
  
- [4] Aluminium-Taschenbuch, 3.Auflage  
Aluminium-Verlag, Düsseldorf (ISBN 3-87017-169-3)
  
- [5] Hantzsch, E., Mysterie of the Arc Cathode Spot: A Retrospective Glance  
IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 31, No. 5, October 2003, S. 799 - 808



## **MIG-Schweißen von Aluminium Werkstoffe, Schweißparameter**

Merkblatt DVS 0933

**Inhalt:**

- 1 Geltungsbereich
- 2 Zweck
- 3 Werkstoffe und werkstoffspezifische Daten
- 4 Einflüsse werkstoffspezifischer Daten
- 5 Arbeitsbereich
- 6 Schweißparameter
- 7 Hinweise für die Praxis
- 8 Schrifttum

**1 Geltungsbereich**

Dieses Merkblatt gilt für das Metall-Inertgasschweißen (MIG) von Aluminium und seinen Legierungen. Es behandelt die Werkstoffeigenschaften und ihre Einflüsse auf das Schweißergebnis.

Die Grundlagen für das Metall-Inertgasschweißen von Aluminium sind im Merkblatt DVS 0913 Metall-Inertgasschweißen von Aluminium aufgeführt [1].

**Tabelle 1. Physikalische Eigenschaften von Aluminiumlegierungen.**

Werkstoff <sup>1)</sup>		Dichte g/cm <sup>3</sup>	Elektrische Leitfähigkeit bei 20°C Sm/mm <sup>2</sup>	Erstarrungs- bereich °C	Wärme- leitfähigkeit bei 20°C W/cm K	Hinweise zur schweißtechnischen Verarbeitung <sup>3)</sup>
Kurzzeichen	Nummer <sup>2)</sup>					
Al 99,9	3.0385	2,69	35,5 ... 37,5	660	2,39	gut schweißgeeignet
Al 99,5	3.0255	2,70	33,5 ... 35,5	659 ... 658	2,26 ... 2,29	
Al Mn 1	3.0515	2,72	23 ... 28	655 ... 640	1,70 ... 1,81	
Al Mn Cu	3.0517	2,72	22 ... 27	655 ... 645	1,63 ... 1,76	
Al Mg 1	3.3315	2,70	24 ... 31	655 ... 635	1,91 ... 2,00	
Al Mg 2,5	3.3523	2,68	19 ... 22	650 ... 615	1,57 ... 1,70	
Al Mg 3	3.3535	2,67	16 ... 22	645 ... 610	1,39 ... 1,52	
Al Mg 5	3.3555	2,66	14 ... 19	625 ... 590	1,20 ... 1,34	
Al Mg 2,7 Mn	3.3537	2,68	18 ... 22	650 ... 605	1,26 ... 1,39	Um den Abfall der Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte im Schweiß- nahtbereich so gering wie möglich zu halten, sind die Werkstoffzustände „weich“ oder „rückgeglüht“ zu be- vorzugen.
AlMg 2 Mn 0,8	3.3527	2,71	20 ... 24	650 ... 615	1,51 ... 1,59	
AlMg 4,5 Mn	3.3547	2,70	15 ... 19	640 ... 575	1,20 ... 1,30	
AlMg Si 0,5	3.3206	2,70	26 ... 35	650 ... 615	2,0 ... 2,4	Festigkeitsabfall in der WEZ beachten.
AlMg Si 0,7	3.3210	2,70	25 ... 33	650 ... 600	1,74	Festigkeitsabfall in der WEZ beachten.
AlMg1 Si Cu	3.3211	2,70	23 ... 26	640 ... 595	1,63	
AlZn 4,5 Mg 1	3.4335	2,78	21 ... 25	655 ... 610	1,54 ... 1,67	Wiederaushärtend in der WEZ, Wärmestau beim Schweißen ver- meiden.
G-Al Si 12	3.2581	2,65	17 ... 26	580 ... 570	1,3 ... 1,9	gut schweißgeeignet
G-AlSi 10 Mg	3.2381	2,65	17 ... 26	600 ... 550	1,3 ... 1,9	
G-AlSi 9 Cu 3	3.2163	2,75	14 ... 18	600 ... 500	1,1 ... 1,3	
G-AlCu 4 Ti	3.1841	2,79	16 ... 20	640 ... 550	1,1 ... 1,4	ausreichend schweißgeeignet
G-AlMg 3	3.3541	2,68	16 ... 22	650 ... 600	1,1 ... 1,5	ausreichend schweißgeeignet mit SG-Al Mg 3
G-AlSi 5 Mg	3.2341	2,69	21 ... 29	620 ... 550	1,5 ... 1,9	sehr gut schweißgeeignet mit SG-Al Si 5
G-Al Mg 5 Si	3.3261	2,66	15 ... 19	630 ... 550	1,1 ... 1,3	sehr gut schweißgeeignet mit SG-Al Mg 5

<sup>1)</sup> Empfohlene Schweißzusätze siehe Merkblatt DVS 0913, Tabelle 1

<sup>2)</sup> Erläuterungen der Werkstoff-Nummern siehe [2]

<sup>3)</sup> Hinweise zur Schweißbeignung von Gußlegierungen siehe [3]

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 Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e. V. und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Technischer Ausschuß, Arbeitsgruppe „Lichtbogenschweißen“

**2 Zweck**

Dieses Merkblatt soll dem Anwender als Hilfestellung beim Einstellen der Schweißparameter dienen

Die angegebenen Arbeitsbereiche sind als Anhaltswerte zu sehen.

**3 Werkstoffe und werkstoffspezifische Daten**

Tabelle 1 enthält die für das Schweißen wichtigen physikalischen Eigenschaften der gebräuchlichsten Aluminiumlegierungen. Für nicht aufgeführte Legierungen können die Kennwerte ähnlicher Legierungen zur Abschätzung der Schweißneigung herangezogen werden. Der Erstarrungsbereich ist ein Maß für die Porenanfälligkeit beim Schweißen. Bei keinem oder kleinem Erstarrungsbereich erstarrt das Schweißgut so schnell, daß die Entgasung nur unvollständig erfolgt und Porosität die Folge ist. Eine Verminderung der Porenanfälligkeit wird erreicht durch Vorwärmen und/oder höheres Wärmeeinbringen. Mit steigendem Legierungsgehalt wird der Erstarrungsbereich größer und damit die Porenanfälligkeit geringer.

Die Gefahr von Bindefehlern durch die hohe Wärmeableitung wird um so größer, je höher die Wärmeleitfähigkeit ist. Abhilfe schafft auch hier Vorwärmung und/oder hohes Wärmeeinbringen.

Die elektrische Leitfähigkeit beeinflusst die Stromstärke beim Schweißen, siehe Abschnitt 4.

Die Gußwerkstoffe gibt es in den Lieferformen Kokillenguß (GK), Sandguß (GS) und Druckguß (GD). Die Vergießungsart beeinflusst die Schweißneigung. Kokillenguß ist besser schweißgeeignet als Sandguß. Eine zufriedenstellende Schweißneigung besitzt Druckguß nur, wenn er im Vakuum vergossen wurde.

**4 Einflüsse werkstoffspezifischer Daten**

**4.1 Einfluß auf Strom und Spannung**

Beim Verwenden von Drahtelektroden mit unterschiedlicher Zusammensetzung ist zu beachten:

1. Die Stromstärke wird bei konstantem Drahtvorschub und Kontaktrohrabstand beeinflusst durch die Art des Schutzgases, siehe Tabelle 3, und die elektrische Leitfähigkeit der Drahtelektrode, Tabelle 2 und Bild 1.
2. Bei konstantem Drahtvorschub muß die Spannung der elektrischen Leitfähigkeit der jeweiligen Drahtelektrodenlegierung angepaßt werden, um ein ruhiges Lichtbogenverhalten zu gewährleisten.

Tabelle 2 zeigt beispielhaft die Gegenüberstellung von sich ergebenden Parametern bei drei unterschiedlichen Drahtqualitäten. Bei gleichem Drahtvorschub wurde einmal ohne Änderung an der Stromquelle und einmal mit angepaßter Lichtbogenspannung geschweißt. Man erkennt die Unterschiede in der angegebenen Stromstärke und die notwendige Anpassung der Spannung.

Der Einfluß der jeweiligen Strom-Spannung-Werte wird ersichtlich in der Veränderung der Nahtbreite, der Nahtüberhöhung und des Einbrandes, Bild 1.

**5 Arbeitsbereich**

Das MIG-Schweißen von Aluminium im Kurzlichtbogen [4] wird notwendig, wenn dünne Bleche zu schweißen sind. Bei verfahrensgerechter Durchführung lassen sich einwandfreie Schweißverbindungen erzielen.

Beim Schweißen dickerer Bleche in Zwangslage können, wenn auch hier der Kurzlichtbogen eingesetzt wird, Poren und/oder Bindefehler auftreten. Der Grund ist in der unzureichenden Wärmezufuhr zu sehen.

**Tabelle 2. Einfluß der Drahtlegierung auf die Strom- und Spannungsänderung bei unveränderten Einstellwerten und bei angepaßter Spannung.**

	SG-AlMg 5 SG-AlMg 4,5 Mn	SG-AISI 5		SG-Al 99,5 Ti	
	Ausgangswerte				
Strom	250 A	300A	300 A	340 A	340 A
Spannung	26 V	unverändert: 25 V	angepaßt: 28 V	unverändert: 24 V	angepaßt: 29 V

Konstante Werte:

- Drahtelektroden Durchmesser: 1,6 mm
- Drahtvorschub: 8 m/min
- Schweißgeschwindigkeit: 50 cm/min
- Kontaktrohrabstand: 18 mm
- Schutzgas: Argon

Drahtelektroden

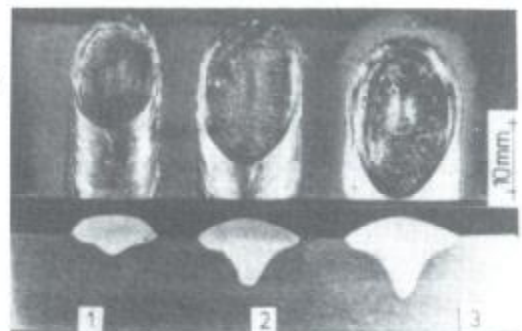
- 1 SG - Al Mg 5
- SG - Al Mg 4,5 Mn
- 2 SG - Al Si 5
- 3 SG - Al 99,5 Ti

Schutzgas

Argon

Grundwerkstoff

Al Mg 3



Elektr. Leitfähigkeit Sm/mm <sup>2</sup>	15-19	24-32	34-36
Strom/Spannung	250A/26V	300A/28V	340A/29V
Einbrandtiefe	3 mm	7 mm	9 mm
Drahtel-φ; Drahtvorschub	1,6 mm; 8 m/min		
Schweißgeschwindigkeit	50 cm/min		

**Bild 1.** Einfluß der Drahtelektrodenlegierung auf Strom, Spannung und Nahtgeometrie.



Eine entsprechende Erhöhung der Lichtbogenleistung führt zwangsläufig in den Übergangsbereich, der durch verstärkte Spritzerbildung aufgrund von Kurzschlüssen gekennzeichnet ist. Durch den Einsatz der Impulslichtbogentechnik ist jedoch ein kurzschlußfreies und damit spritzerarmes Schweißen auch in diesem – sonst kritischen – Belastungsbereich der Drahtelektrode möglich.

Anzustreben ist neben dem Impulslichtbogen [4] auch der Sprühlichtbogen [4], bei dem aufgrund hoher Strom-Spannung-Werte (gleich hohe Abschmelzleistung) der Werkstoffübergang ebenfalls kurzschlußfrei und spritzerarm erfolgt. Die Tropfenablösung vom flüssigen Drahtelektrodenende wird bei beiden Lichtbogenarten unter anderem durch elektromagnetische Kräfte (Pincheffekt) bewirkt.

Bild 2 zeigt alle bei der Tropfenablösung auftretenden Kräfte.

Bild 3 zeigt die beim MIG- und MIG-Impulslichtbogenschweißen mit verschiedenen Drahtelektroden durchmessern möglichen Stromstärkenbereiche. Der Bereich des MIG-Impulslichtbogenschweißens ist gegenüber dem MIG-Schweißen nach unten ausgeweitet. Die ausgezogenen Bereiche sind in allen Fällen zu erreichen. Abhängig von der zu schweißenden Legierung und den dynamischen Eigenschaften der Stromquelle lassen sich unter Umständen auch höhere oder niedrigere Stromstärken anwenden – siehe unterbrochen gezeichnete Bereiche.

Die Bilder 4 und 5 stellen ergänzend zu Bild 3 die Arbeitsbereiche am Beispiel der Drahtelektrode mit 1,6 mm Durchmesser unter Argon und 50% Argon plus 50% Helium für den ungepulsten und gepulsten Lichtbogen dar. Die Zuordnung von Strom- und Drahtvorschubwerten gilt jeweils nur für mittlere Spannungen.

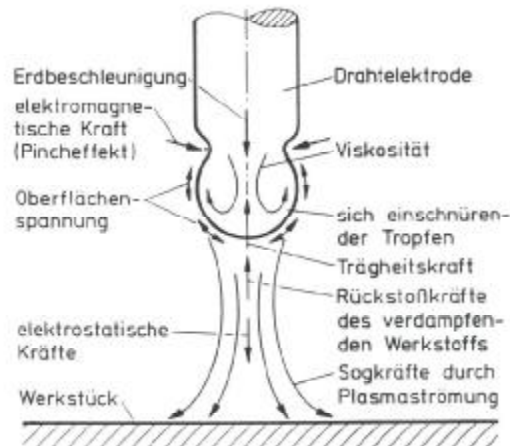


Bild 2. Metall-Schutzgasschweißen, Kräfte beim Tropfenübergang.

## 6 Schweißparameter

Die einzustellenden Schweißparameter hängen von folgenden wesentlichen Einflussfaktoren ab:

- Werkstückdicke
- Fugenform mit/ohne Badsicherung
- Schweißposition
- Drahtelektroden durchmesser
- Drahtelektrodenlegierung

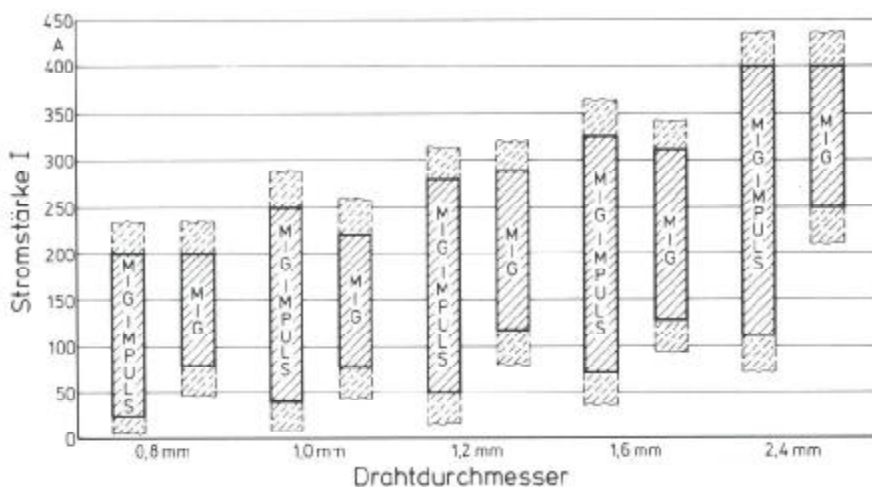


Bild 3. Stromstärkenbereiche (Richtwerte) für das MIG- und MIG-Impulslichtbogenschweißen.

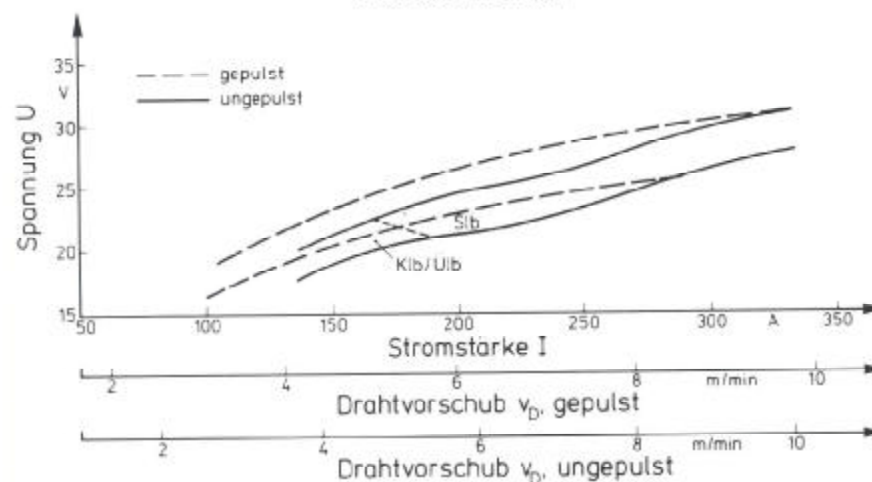
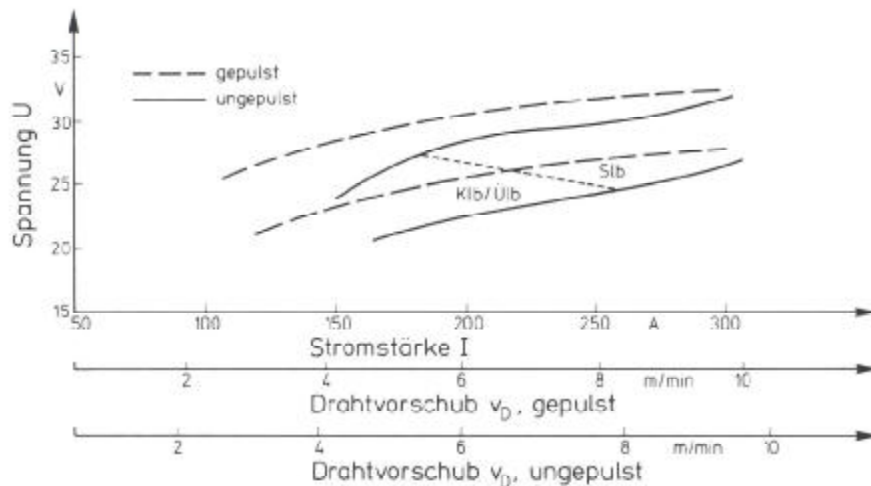


Bild 4. Arbeitsbereich für das MIG- und MIG-Impulslichtbogenschweißen; Drahtelektrode: SG-AlMg 4,5 Mn / Durchmesser 1,6 mm, Schutzgas: Argon.



**Bild 5.** Arbeitsbereich für das MIG- und MIG-Impulslichtbogenschweißen; Drahtelektrode: SG-AlMg 4,5 Mn / Durchmesser 1,6 mm, Schutzgas: 50% Ar + 50% He.

**Tabelle 3 – 1. Schweißparameterbereiche für Drahtelektrode SG-Al Mg 4,5 Mn, Drahtelektrodenndurchmesser: 1,0 mm, mittlerer Kontaktrahabstand: 15 mm.**

Schutzgas	Strom A		Spannung V		Drahtvorschub m/min	
	ohne Impulse	mit Impulsen	ohne Impulse	mit Impulsen	ohne Impulse	mit Impulsen
Minimalwerte*): Argon	85	47	12	16	6,4	4,1
50% Ar + 50% He	80	35	13	18	6,4	4,1
Maximalwerte*): Argon	230	250	24	25	20,1	20,1
50% Ar + 50% He	220	240	26	26	20,1	20,1

\*) Richtwerte

**Tabelle 3 – 2. Schweißparameterbereiche für Drahtelektrode SG-Al Mg 4,5 Mn, Drahtelektrodenndurchmesser: 1,2 mm, mittlerer Kontaktrahabstand: 15 mm.**

Schutzgas	Strom A		Spannung V		Drahtvorschub m/min	
	ohne Impulse	mit Impulsen	ohne Impulse	mit Impulsen	ohne Impulse	mit Impulsen
Minimalwerte*): Argon	115	48	12	15	6	2,8
50% Ar + 50% He	110	42	13	17	6	2,8
Maximalwerte*): Argon	290	275	27	24	14,5	14,5
50% Ar + 50% He	260	270	29	25	14,5	14,5

\*) Richtwerte

**Tabelle 3 – 3. Schweißparameterbereiche für Drahtelektrode SG-Al Mg 4,5 Mn, Drahtelektrodenndurchmesser: 1,6 mm, mittlerer Kontaktrahabstand: 15 mm.**

Schutzgas	Strom A		Spannung V		Drahtvorschub m/min	
	ohne Impulse	mit Impulsen	ohne Impulse	mit Impulsen	ohne Impulse	mit Impulsen
Minimalwerte*): Argon	135	75	13	15	4,3	2,1
50% Ar + 50% He	125	70	15	18	4,3	2,1
Maximalwerte*): Argon	310	325	27	26	9,3	9,3
50% Ar + 50% He	296	300	29	30	9,3	9,3

\*) Richtwerte

- Verfahrensvariante - MIG
  - MIG-Impuls
- Schutzgaszusammensetzung
- Mechanisierungsgrad

Die Vielzahl der Einflußfaktoren zeigt, daß eine genaue Auflistung von Schweißparametern im Rahmen dieses Merkblattes nicht möglich ist.

Um dem Anwender jedoch Richtwerte zu bieten, sind in den Tabellen 3-1 bis 3-3 Einstellbereiche für die Drahtqualität SG-AlMg 4,5 Mn mit den Durchmessern 1,0 mm, 1,2 mm und 1,6 mm angegeben. Als Schutzgase wurden Argon und ein Gemisch aus 50% Argon und 50% Helium verwendet. Bei den Werten handelt es sich um ungefähre Angaben, die im Bedarfsfall korrigiert werden müssen.

#### 6.1 Werkstückdicke

Die Parameter Schweißstromstärke und Lichtbogenspannung müssen bis zu bestimmten Maximalwerten, siehe Beispiele in den Tabellen 3-1 bis 3-3, entsprechend zunehmender Werkstückdicke erhöht werden. Zu geringe Werte können wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium zu ungenügender Durchschweißung, Bindefehlern, Bild 6, und/oder Poren, Bild 7, führen.

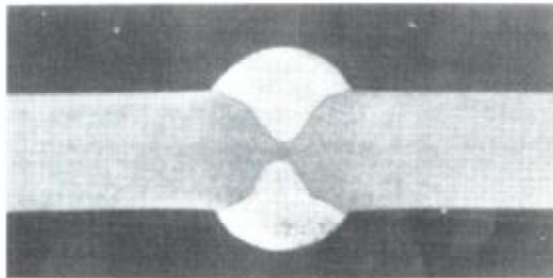


Bild 6. Bindefehler durch ungenügende Durchschweißung.

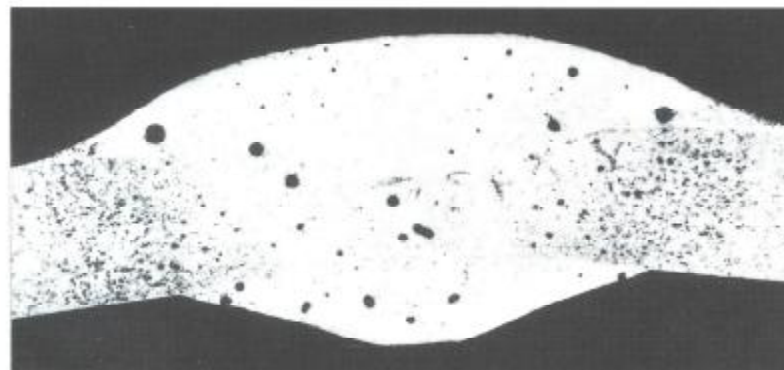


Bild 7. Poren durch unzureichende Entgasung.

#### 6.2 Fugenform mit und ohne Badsicherung

Die Schweißparameter sind auf Fugenform und Öffnungswinkel abzustimmen. Zu enge Fugen führen bei hoher Stromstärke, vermehrtem Aufschmelzen von Grundwerkstoff ( $\Delta$  hoher Abschmelzleistung) und bei zu langsamer Schweißgeschwindigkeit zum Vorlaufen des Schweißbades und damit zu Bindefehlern.

Bei einer Fugenform mit Badsicherung kann die Wurzel mit „voller Leistung“ – wie die Füll- und Decklagen – geschweißt werden, da ein Durchbrechen des Schmelzbades nicht zu befürchten ist.

#### 6.3 Schweißposition

Die Schweißposition verlangt ebenfalls ein Anpassen der Schweißparameter. In Zwangsposition erlaubt der Impulslicht-

bogen gegenüber dem Kurzlichtbogen eine höhere Abschmelzleistung, weil das Schmelzbad leichter zu beherrschen ist.

#### 6.4 Drahtelektrodendurchmesser

Für den jeweiligen Drahtelektrodendurchmesser sind Minimal- und Maximalwerte hinsichtlich Strom und Spannung zu beachten, siehe auch Abschnitt 6 und Tabellen 3-1 bis 3-3.

#### 6.5 Drahtelektrodenlegierung

Beim Schweißen mit Reinaluminium-Drähten sind gegenüber anderen Drahtlegierungen höhere Werte für Stromstärke und Spannung günstig, um über erhöhtes Wärmeeinbringen der Porenbildung entgegenzuwirken, siehe auch Abschnitt 3.

#### 6.6 Verfahrensvariante: MIG oder MIG-Impuls

Das MIG-Impulslichtbogenschweißen bietet im Vergleich zum MIG-Schweißen ohne Impulse die Möglichkeit, eine Drahtelektrode spezifisch niedriger zu belasten, siehe Tabellen 3-1 bis 3-3.

Das bedeutet auch, daß unter Umständen dadurch auf den nächst größeren Drahtdurchmesser gewechselt werden kann. Ein weiterer Vorteil der Impulslichtbogentechnik ist die Vermeidung bzw. Verminderung von Poren [5].

#### 6.7 Schutzgaszusammensetzung

Argon-Helium-Gemische verlangen höhere Lichtbogenspannungen als Argon, siehe auch Bilder 4 und 5. Aufgrund des „heißen“ Lichtbogens kann bei gleichen Einbrandverhältnissen die Schweißgeschwindigkeit gesteigert werden.

#### 6.8 Mechanisierungsgrad

Mit der Steigerung des Mechanisierungsgrades nimmt die manuell bedingte Fehlerhäufigkeit ab. Daher erlauben im Regelfall der vollmechanisierte und der automatische Schweißprozeß höhere Schweißparameter (Stromstärke, Spannung, Schweißgeschwindigkeit) als der teilmechanisierte.

## 7 Hinweise für die Praxis

### 7.1 Drahtelektrodendurchmesser

Die geringe Knicksteifigkeit von Aluminium-Drahtelektroden im Vergleich zu Stahl führt leicht zu Förderstörungen. Um dies zu vermeiden, sind nach Möglichkeit – wenn die Schweißanlage es zuläßt – größere Durchmesser kleineren vorzuziehen.

### 7.2 Drahtelektrodevorschub

Neben den in [1] zu findenden Hinweisen sind noch folgende Punkte zu beachten:



- Vier-Rollenantriebe sind wirkungsvoller als Zwei-Rollenantriebe,
- freie Knicklängen auf ein Minimum begrenzen, Bild 8,
- geeignete Förderrollen sind in [6] aufgeführt.

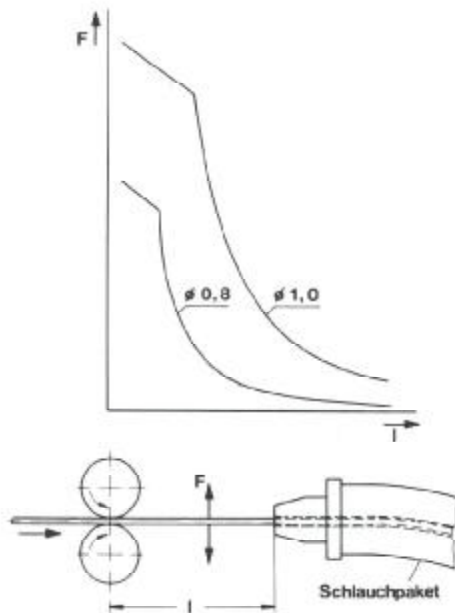


Bild 8. Einfluß der freien Knicklänge auf die Schubkraft beim Fördern von Drahtelektroden.

### 7.3 Badsicherung

Das Schweißen der Wurzel an Aluminium ist schwieriger zu beherrschen als das an Stahl. Geeignete Badsicherungen erleichtern das Wurzelschweißen.

Folgende Arten der Badsicherung sind üblich:

- Kupferunterlage  
Fugenvorbereitung und Schweißparameter sind so zu wählen, daß es nicht zum Anschmelzen der Unterlage und damit zu Kupferdiffusion ins Schweißgut kommt – Korrosions- und Reißgefahr
- Unterlage aus nichtrostendem Stahl
- Keramikunterlage
- Angepreßte Badsicherung – bei Strangpreßprofilen
- Angeheftete artgleiche oder artähnliche Badsicherung

Nuttiefe und -form der Badsicherung richten sich nach der zu schweißenden Werkstückdicke.

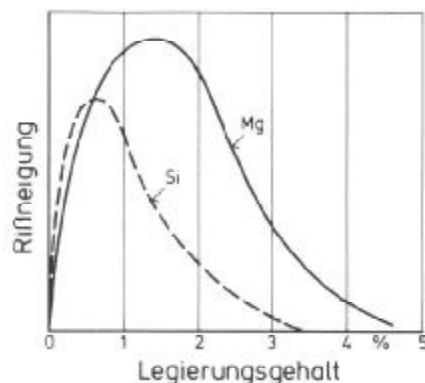


Bild 9. Heißrißneigung von Aluminium in Abhängigkeit vom Silizium- und Magnesiumgehalt.

### 7.4 Vermeiden von Heißrisen

Heißrißneigung tritt bei bestimmten kritischen Gehalten von Silizium und/oder Magnesium im Schweißgut auf, Bild 9. Es ist daher der Auswahl des Schweißzusatzes besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Dabei helfen [1; 7].

Es muß auch berücksichtigt werden, daß die kritischen Gehalte an Magnesium und Silizium im Schweißgut unter Umständen erst durch die Vermischung von Grundwerkstoff und Schweißgut beim nicht artgleichen Schweißen entstehen können. Hierbei spielt neben der chemischen Zusammensetzung von Grundwerkstoff und Schweißzusatz auch der Aufmischungsgrad eine Rolle [8; 9].

### 7.5 Vermeiden von Endkraterrissen

Endkraterrisse sind durch die relativ große Schrumpfung von Aluminium beim Erstarren bedingt. Sie können vermieden werden durch folgende Maßnahmen:

- Füllen des Endkraters kurz vor seiner Erstarrung manuell oder durch
- Endkraterfüllprogramm der Schweißanlage.
- Endkrater, wenn möglich, auf ein Auslaufblech legen.
- Den Lichtbogen bei Nähtende durch erhöhte Schweißgeschwindigkeit auf die schon geschweißte Naht zurückführen und dann abschalten.

## 8 Schrifttum

- [1] Merkblatt DVS 0913 Metall-Inertgasschweißen von Aluminium.
- [2] DIN 17 007 Teil 4 Werkstoffnummern; Systematik der Hauptgruppen 2 und 3; Nichteisenmetalle.
- [3] DIN 1725 Teil 2 Aluminiumlegierungen, Gußlegierungen; Sandguß, Kokillenguß, Druckguß, Feinguß; Inhaltsangaben über mechanische und physikalische Eigenschaften sowie gießtechnische Hinweise.
- [4] DIN 1910 Teil 4 Schweißen; Schutzgasschweißen; Verfahren.
- [5] Diltney, U., und R. Killing: Verminderung der Porenanfälligkeit beim Metall-Schutzgasschweißen durch Anwendung des Impulslichtbogens. Schw. Schn. 38 (1986), H. 8, S. 361/65.
- [6] Merkblatt DVS 0926 Anforderungen an Schweißanlagen zum Metall-Schutzgasschweißen.
- [7] DIN 1732 Teil 1 Schweißzusätze für Aluminium und Aluminiumlegierungen; Zusammensetzung, Verwendung und Technische Lieferbedingungen.
- [8] DIN 1910 Teil 11 Schweißen; Werkstoffbedingte Begriffe für Metallschweißen.
- [9] Klock, H., und H. Schoer: Schweißen und Löten von Aluminiumwerkstoffen. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 70. DVS-Verlag, Düsseldorf 1977.
- [10] Merkblatt DVS 1608 Schmelzschweißen von Aluminium im Schienenfahrzeugbau (Entwurf).



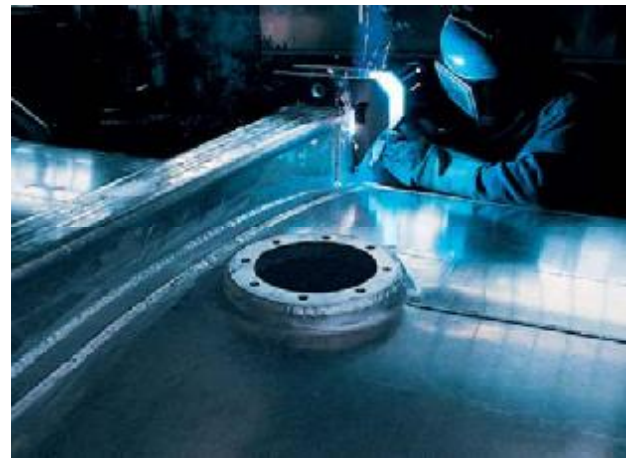
**LINDE AG**  
Werksgruppe Technische Gase  
Seitnerstraße 70  
D-82049 Hölriegelskreuth  
Tel.: (0 89) 74 46-0, Fax: (0 89) 74 46-1230

8035/7 0597 - 1,4 Ha

gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

# Schweisstechnische Verarbeitung von Aluminium-Werkstoffen

Eberhard Brune, PanGas Dagmersellen



# Der Werkstoff Aluminium

## Physikalische und chemische Eigenschaften von Aluminium

Aluminium-Legierungen haben sich in den letzten 60 Jahren einen festen Platz in vielen Bereichen der Technik erobert und belegen nach Stahlwerkstoffen den 2. Platz bei den verwendeten Metallen. Besonders im Verkehrswesen liegt ein Anwendungsschwerpunkt, gefolgt von den Bereichen Bautechnik und Maschinenbau. Auch die Verpackungsindustrie kennt Aluminium schon seit vielen Jahren als einen attraktiven Werkstoff.

Die Gründe für den wirtschaftlichen und technischen Erfolg von Aluminium liegen in einer interessanten Kombination von kennzeichnenden Eigenschaften; besonders zu nennen sind:

- geringe Dichte
- hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit
- hohe Duktilität, auch bei tiefen Temperaturen
- chemische Beständigkeit
- hygienische Unbedenklichkeit

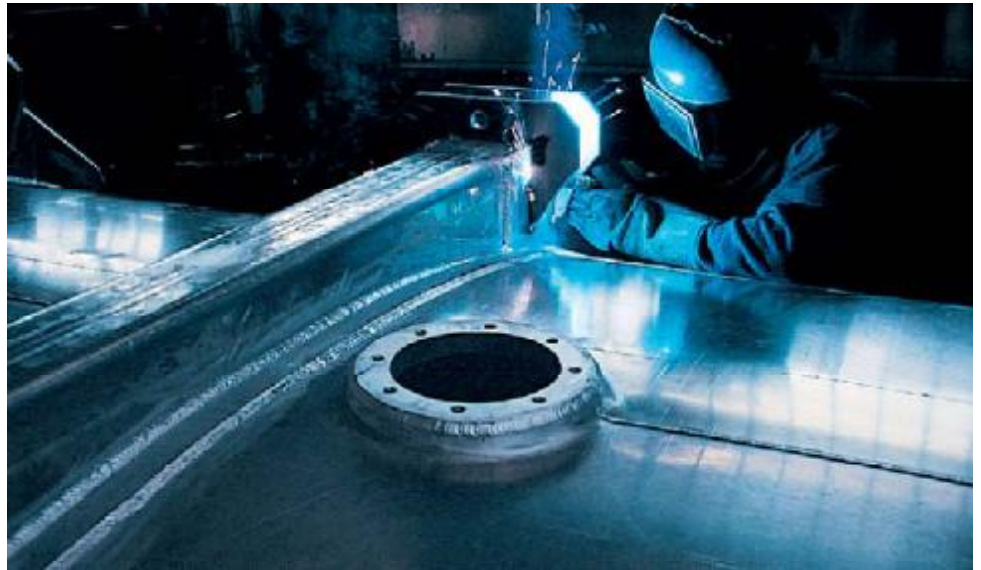
Auch sind Eigenschaften wie Funkenfreiheit, magnetische Neutralität sowie die Unbrennbarkeit in vielen Fällen ausschlaggebend für die Verwendung. Man unterscheidet generell zwischen Reinstaluminium, Reinaluminium und Aluminium-Legierungen, die vorwiegend mit Mangan, Magnesium, Silizium, Kupfer und Zink legiert sind, wobei die Steigerung der Festigkeit das Hauptziel ist. Neben den Zweistofflegierungen sind vielfach ternäre oder Mehrstofflegierungen im Einsatz. Die Steigerung der Festigkeit kann nicht nur über Mischkristallverfestigung, sondern auch mittels Kaltverfestigung durch Umformen oder durch Aushärten erreicht werden. Daher wird bei den Aluminium-Werkstoffen zwischen naturharten und aushärtbaren Legierungen unterschieden.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Verarbeitung, so dass zwischen Guss- und Knetlegierungen differenziert wird. Tabelle 1 zeigt einige wichtige physikalische Eigenschaften von reinem Aluminium im Vergleich zu Reineisen. Auffällig sind die deutlich niedrigere Dichte, der tief liegende Schmelzpunkt, aber auch die hohe Schmelzwärme und vor allem der hohe Schmelzpunkt des Aluminiumoxids. Aluminium zeigt am Schmelzpunkt keine Glühfarben. Zusammen mit dem höheren Ausdehnungskoeffizienten und der guten Wärmeleitfähigkeit machen diese Eigenschaften das Schweißen von Aluminium-Werkstoffen im Vergleich zu Stahl schwieriger.

Aluminium liegt bei Raumtemperatur im kubisch-flächenzentrierten Gitter vor und zeigt keine Umwandlungen, so dass keine Abschreckgefüge wie Martensit entstehen können. Eine Kaltversprödung tritt bei Aluminium nicht auf.

Eigenschaft	Einheit	Aluminium	Eisen
Atommasse	g/mol	26.98	55.84
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	2.70	7.87
Elastizitätsmodul	N/mm <sup>2</sup>	71 x 10 <sup>3</sup>	210 x 10 <sup>3</sup>
Ausdehnungskoeffizient	1/°K	24 x 10 <sup>-6</sup>	12 x 10 <sup>-6</sup>
Schmelzwärme	kJ/kg	396	270
Dehngrenze	N/mm <sup>2</sup>	ca. 10	ca. 100
Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	ca. 50	ca. 200
Oxide		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Schmelzpunkt der Oxide	°C	2046	1400, 1455, 1600
Schmelzpunkt des Metalls	°C	658	1536

Tabelle 1: Vergleich Aluminium – Eisen



^ Aluminium: Ein vielseitiger Werkstoff

## Normung von Aluminium-Legierungen

Die Bezeichnung und Festlegung der Werkstoffnummern von Aluminium-Legierungen ist in EN 573-1 definiert und entspricht dem Bezeichnungssystem der Aluminium Association in Washington; Details zu den jeweiligen chemischen Analysen finden sich in EN 573-3.

Die Legierungsgruppen sind wie folgt zusammengefasst:

Serie 1000	Aluminium min. 99.00%
Serie 2000	Hauptlegierungselement Kupfer
Serie 3000	Hauptlegierungselement Mangan
Serie 4000	Hauptlegierungselement Silizium
Serie 5000	Hauptlegierungselement Magnesium
Serie 6000	Hauptlegierungselemente Mg + Si
Serie 7000	Hauptlegierungselement Zink
Serie 8000	andere Legierungselemente
Serie 9000	nicht benutzt

Die Bezeichnung erfolgt entweder mit der Werkstoffnummer (Beispiel: EN AW-5082) oder als Schreibweise mit chemischen Symbolen, z.B.: EN AW-ALMg4.5Mn0.7. Dabei werden die mittleren Legierungselemente der wichtigen Legierungselemente in Prozent angegeben. Weitere – nicht in der Bezeichnung genannte Legierungselemente können noch zusätzlich vorhanden sein.

## Legierungsgruppen

### Kaltverfestigte Legierungen

Die nicht aushärtbaren Aluminium-Legierungen werden durch Umformprozesse wie Kaltwalzen oder Kaltziehen auf ein höheres Festigkeitsniveau gebracht. In diese Gruppe gehören beispielsweise die Reinaluminiumsorten Al 99.5 und Al 99.0 sowie die Sorten AlMn1, AlMg1, AlMg2.5, AlMg3, AlMg2.7Mn, AlMg4Mn und AlMg4.5Mn.

Wie bei allen Metallen, deren Festigkeitszuwachs auf Kaltverfestigung beruht, kann bei diesen Legierungen eine erhöhte Temperatur zu einem irreversiblen Abfall der Zugfestigkeit führen – es sei denn, man kann eine weitere Kaltumformung anschliessen. Die Entfestigung ist auf Kristallerholung oder auf Rekristallisation zurückzuführen. Für Schweißverbindungen ist daher im Nahtbereich und in der Wärmeinflusszone mit einem Festigkeitslevel ähnlich wie beim weichgeglühten Zustand zu rechnen. Bei einigen Legierungen wird die Rekristallisationsschwelle durch Mangan heraufgesetzt, so dass zumindest kein Weichglüheffekt durch das Schweißen erreicht wird.



### Al-Werkstoffe mit Legierungsverfestigung

Bei diesen Aluminium-Werkstoffen wird durch gezielte Zugabe von Legierungselementen eine Festigkeitserhöhung angestrebt (Grafik 1). Die relevanten Legierungsbestandteile sind Kupfer, Silizium, Magnesium, Zink und Mangan. In geringen Mengen können auch Beryllium, Bor, Natrium, und Strontium vorkommen.

Zumeist handelt es sich nicht um binäre, sondern um ternäre oder komplexere Mehrstofflegierungen. Neben dem Analysegehalt spielt auch noch eine zentrale Rolle, ob die Zusatzelemente als Mischkristall gelöst, als ungelöste Kristalle oder als intermetallische Verbindungen im Gefüge vorliegen.

### Aushärtbare Legierungen

Geeignete Aluminium-Legierungen lassen sich in ihrer Festigkeit durch eine spezielle Wärmebehandlung – bezeichnet mit Aushärten – erheblich verbessern. Es gibt einige wesentliche metallkundliche Voraussetzungen für diesen Prozess: Der Aluminium-Mischkristall muss eine mit der Temperatur abnehmende Löslichkeit für das Legierungselement besitzen. Dies trifft beispielsweise für Kupfer zu, welches bei Raumtemperatur nur zu etwa 0.3% gelöst werden kann, bei 500 °C jedoch zu mehr als 4% in Lösung gehen kann.

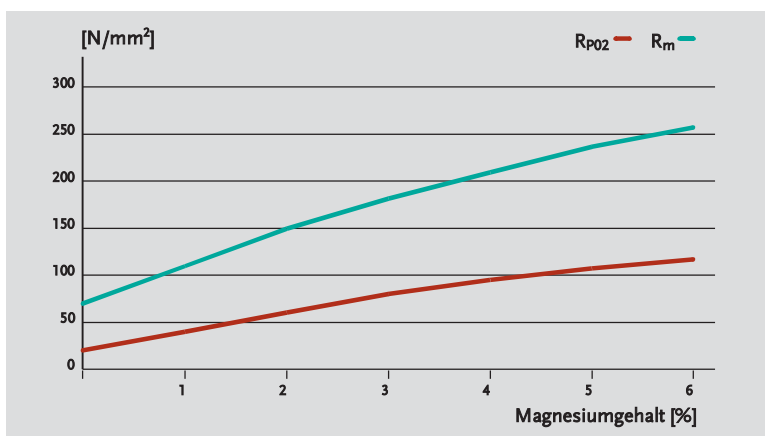
Weiterhin dürfen während des Abkühlens keine Gleichgewichtsphasen entstehen, sondern der homogene Mischkristall muss sich übersättigt unterkühlen lassen. Die dritte Voraussetzung ist, dass sich der übersättigte Mischkristall bei Raumtemperatur oder leicht erhöhten Temperaturen entmischt und die entstehenden Phasen so zu einem Festigkeitsanstieg führen.

In der Praxis werden drei Arbeitsschritte ausgeführt, die aus Lösungsglühen bei ca. 500–570 °C, Abschrecken – beispielsweise durch Wasser – und Auslagern bei Raumtemperatur oder im Bereich von 120–160 °C bestehen.

Bei den aushärtbaren Legierungen finden besonders die Aluminium-Magnesium-Silizium- und die Aluminium-Zink-Magnesium-Typen weitreichende Verwendung. Bei den AlMgSi-Legierungen ist die Abkühlgeschwindigkeit nach dem Schweißen nicht hoch genug, dass ein übersättigter Mischkristall gebildet werden kann, so dass ein Auslagern keinen Ausgleich des Festigkeitsverlusts im Bereich der von der Wärme beeinflussten Zone bewirkt.

AlZnMg-Legierungen verlieren ebenfalls durch das Schweißen einen Teil ihrer Festigkeit. Die bei diesen Legierungen gebildeten Mischkristalle weisen eine geringere Lösungstemperatur auf und es ist nur eine gemässigte Abkühlgeschwindigkeit zur Unterdrückung der Ausscheidungsphasen notwendig.

Ein Schweißen dieser Werkstoffe ist praktisch wirksam wie ein weiteres Lösungsglühen und die gute Wärmeleitfähigkeit bewirkt ein ausreichendes Abschrecken. Die Kaltauslagerung benötigt einige Tage oder Wochen, so dass nach dieser Zeit wieder der ausgehärtete Zustand auch im Bereich der Schweißnaht erreicht wird.



Grafik 1: Einfluss von Magnesium auf die mechanischen Eigenschaften





^ MIG-Schweissen mit Push-Pul-Brenner

### Werkstoff-Eigenheiten

Das Schweißen von Aluminium-Werkstoffen wird im Vergleich zum Schweißen von Stahllegierungen vielfach als schwierig bezeichnet, was auf spezielle physikalische Eigenschaften von Aluminium zurückzuführen ist. Die wichtigsten Besonderheiten werden im Folgenden beschrieben.

#### Oxidschicht mit hohem Schmelzpunkt

Aluminium bildet eine natürliche, etwa  $0.01\ \mu\text{m}$  dicke Oxidschicht der Zusammensetzung  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , die für die Korrosionsbeständigkeit sorgt und die einen im Vergleich zum Metall hohen Schmelzpunkt von ca.  $2050\ ^\circ\text{C}$  aufweist. Ihr spezifisches Gewicht ist höher als das vom reinen Metall, weshalb die Oxide im Schmelzbad nach unten sinken. Die Oxidschicht wirkt wie ein elektrischer Isolator und ist vor dem Schweißprozess zu beseitigen. Beim Autogenschweißen oder Hartlöten werden zu diesem Zweck Flussmittel eingesetzt, die das Oxid in eine spezifisch leichte und zähe Schlacke überführen, die den Schweißbereich schützt und weitere Oxidation unterbindet.

Die Oxidschicht lässt sich auch durch Verfahren wie Bürsten, Schleifen, Fräsen oder Beizen beseitigen. Bei den Lichtbogenverfahren werden bei plusgepolter Elektrode positive Ionen im Lichtbogen in Richtung negativ geladenes Werkstück beschleunigt. Somit wird die neu gebildete  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht aufgerissen. Das inerte Schutzgas verhindert dabei die Oxidneubildung und ermöglicht eine technisch hochwertige Schweissverbindung. Eine andere Theorie führt die Oxidschichtzerstörung auf austretende Elektronen zurück.

Wichtig ist auf jeden Fall eine penible Nahtvorbereitung, die ermöglichen soll, dass die absinkenden Oxide von der Stirnfläche der Nahtunterseite vollständig ausgeschwemmt werden können: deshalb soll die Nahtunterkante auf jeden Fall gebrochen sein.



^ WIG-Gleichstrom-Schweissen mit minusgepolter Elektrode

#### Gute Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit schwankt von ca.  $230 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  bei reinem Aluminium bis zu Werten von  $115\text{--}155 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  bei den Legierungen. Durch diese Eigenschaft wird eine hohe und konzentrierte Wärmebringung während des Schweißprozesses unabdingbar. Eine weitere Folge ist die hohe Abkühlgeschwindigkeit, welche die Porenbildung und den Gasblaseneinschluss aufgrund hoher Erstarrungsgeschwindigkeit begünstigt.

#### Hohe Schmelzwärme

Durch die hohe Schmelzenthalpie ist bezogen auf den Schmelzpunkt eine vergleichsweise hohe Wärmeenergie durch das jeweilige Schweißverfahren bereitzustellen. Das Erreichen der Schmelztemperatur wird zudem nicht durch Glühfarben angedeutet.

#### Hoher Wärmeausdehnungskoeffizient

Der etwa doppelt so hohe Ausdehnungskoeffizient von Aluminium gegenüber Stahl im Bereich von ca.  $20 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$  führt zu grösseren Schrumpfungen beim Abkühlen und macht besondere Massnahmen gegen Werkstückverzug und Schrumpfrisse erforderlich.

Legierung	Eigenschaften	Einsatzgebiet
Al99.0 ... 99.98	Festigkeit gering, Umformbarkeit gut, chemische Beständigkeit sehr gut	Elektrotechnik, Plattierungen
AlMn0.2 ... AlMn1	Festigkeit mässig, Zähigkeit gut, chemische Beständigkeit gut	Apparatebau, Fahrzeugbau, Lebensmittelindustrie
AlMg1 ... AlMg5	Zunahme der Festigkeit mit Mg-Gehalt, chemische Beständigkeit gut	Bauwesen, Apparate- und Ingenieurbau, Möbelindustrie
AlMgMn Beispiel: AlMg4.5Mn0.7	Warmfestigkeit verbessert durch Mangan	Apparate-, Geräte-, Fahrzeug- und Schiffbau
AlMgSi, AlSiMg	warm und kalt aushärtbar, gute Umformbarkeit, höhere Festigkeit	Bauwesen, Elektrotechnik, Eloxal-Qualität
AlCuMg	aushärtbar, Festigkeit hoch, chemische Beständigkeit mässig	Ingenieur- und Maschinenbau, Lebensmittelindustrie
AlZnMg Beispiel: AlZn4.5Mg1	aushärtbar, Festigkeit hoch, speziell bei Legierung mit Kupfer	hochfeste Bauteile zum Schweißen, Fahrzeugbau
AlSi5 ... AlSi12	Legierung mit Silizium verbessert Fließfähigkeit und Giessbarkeit, vor allem bei Siliziumgehalten über 7%	Gussteile, Bauwesen, Eloxal-Qualität

Tabelle 2: Eigenschaften verschiedener Aluminium-Legierungen

# Das Schweißen von Aluminium-Werkstoffen

## Schweiseseignung von Aluminium

Nachfolgend werden spezifische Besonderheiten einzelner Legierungsgruppen beschrieben, eine zusammenfassende Darstellung ist in Tabelle 2 und in Tabelle 3 zu sehen.

### Reinaluminium und Aluminium-Mangan-Legierungen

Reinaluminium zeichnet sich durch eine gute Schweiseseignung aus, wenngleich im Vergleich zu Aluminium-Legierungen mit einer stärkeren Neigung zu Porenbildung gerechnet werden muss. Die hohe Wärmeleitfähigkeit erfordert einen hohen Wärmeschub und bei grösseren Wandstärken eine Vorwärmung vor dem Schweißen. Typische Vorwärmtemperaturen und Vorwärmzeiten sind in Tabelle 5 angegeben.

### Aluminium-Magnesium und Aluminium-Silizium-Legierungen

Bei diesen Legierungen ist die jeweilige Zusammensetzung entscheidend für die Rissanfälligkeit, da AlMg-Legierungen bei 1.2% Magnesium und AlSi-Legierungen bei etwa 0.75% Silizium ein Maximum der Heissrissempfindlichkeit aufweisen (Grafik 2, S.8). Es gilt die Faustregel: Höher legierter Zusatz ist meist rissicherer zu verschweißen. Der Zusatzwerkstoff ist deshalb auf jeden Fall deutlich überlegt mit 2% Silizium resp. 3.5% Magnesium. Eine weitere Verbesserung der Schweisssicherheit ist durch Mangan oder Chromzusätze erzielbar, daher ist AlMg4.5Mn günstiger in der Schweiseseignung als die AlMg-Typen.

Ist bei unterschiedlichen Werkstoffen einer der beiden Werkstoffe Magnesium-legiert, richtet sich der Zusatzwerkstoff nach diesem.

### Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierungen

Diese Legierungsgruppe ist – abhängig von der Zusammensetzung – grundsätzlich rissgefährdet und man verwendet daher nicht einen artgleichen Zusatzwerkstoff, sondern schweisst mit SG-AlSi5 nach DIN 1732. Soll das Werkstück nach dem Schweißen anodisiert werden, so verwendet man als Zusatzwerkstoff hingegen SG-AlMg3. Werden hohe Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften gestellt, so ist der Zusatzwerkstoff SG-AlMg4.5Mn zu wählen.

Legierung	Schweiseseignung	Schweisszusatz-Werkstoff
Al99.0 ... 99.98	gut	SG-Al99.5, SG-Al99.5Ti, SG-Al99.8
AlMn0.2 ... AlMn1	sehr gut	SG-AlMn, SG-AlMg3 ... 5
AlMg1 ... AlMg5	gut	SG-AlMg3, SG-AlMg5, SG-AlMg4.5Mn
AlMg4.5Mn	sehr gut	SG-AlMg5, SG-AlMg4.5Mn
AlMgSi, AlSiMg, AlSiMgMn	gut	SG-AlMg3 ... 5, SG-AlSi5
AlCuMg	Neigung zu Heissrissen	
AlZnMg	nur Legierung AlZn4.5Mg1	SG-AlMg5, SG-AlMg4.5Mn
Beispiel: AlZn4.5Mg1	gut	
AlSi5 ... AlSi12	bei Kupfergehalt unter 1% gut	Al-Si5, SG-AlSi12

Tabelle 3: Schweiseseignung verschiedener Aluminium-Legierungen

### Aluminium-Zink-Magnesium-Legierungen

AlZnMg-Legierungen sind aushärtbar und neigen aufgrund der Menge an Legierungsbestandteilen zur Rissbildung beim Schweißen – ein artgleiches Schweißen ist daher nicht möglich. Als gut schweißbar gilt die Legierung AlZn4.5Mg1. Es wird normalerweise mit nicht aushärtendem Zusatzwerkstoff SG-AlMg5 oder SG-AlMg4.5Mn gearbeitet.

### AlMgCu- und AlZnMgCu-Legierungen

Legierungen dieser Zusammensetzung sind hochfest aushärtbar und gelten als sehr rissempfindlich: ein Schmelzschweißen ist daher nicht oder nur sehr bedingt möglich – je nach Höhe des Kupfergehalts.

## Besonderheiten beim Schweißen

### Problem Rissbildung

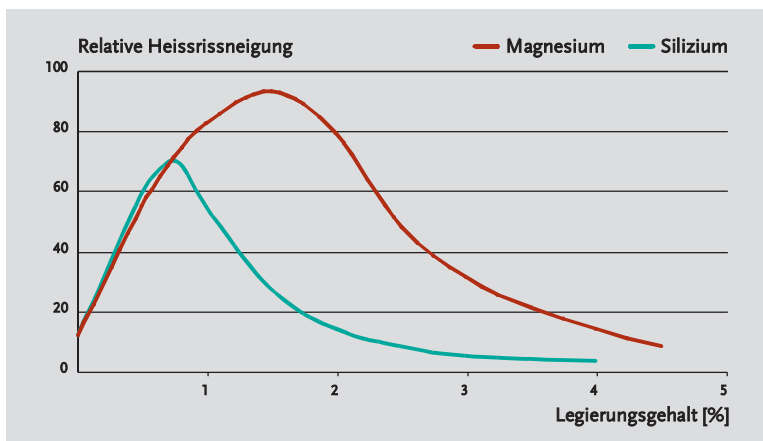
Beim Erstarren und Schrumpfen besteht die Gefahr erhöhter Rissbildung – dies besonders dann, wenn die Legierung ein grosses Erstarrungsintervall aufweist und niedrig schmelzende Korngrenzen-Eutektika bildet. Die Rissneigung hängt stark vom Legierungstyp ab und ist deshalb bei der Wahl des Zusatzwerkstoffs immer mit zu berücksichtigen. Tabelle 4 zeigt für einige Legierungstypen die Heissrissbereiche und empfohlenen Mindestgehalte an Silizium, Kupfer und Magnesium im Zusatzwerkstoff. Auch der Bleigehalt im Aluminium sollte grundsätzlich möglichst gering sein.

Legierungsgruppe	höchste Rissempfindlichkeit	praktischer Mindestgehalt	kritischer Temperaturbereich
AlSi	0.75% Si	2.0% Si	660–577 °C
AlCu	3.0% Cu	5.0% Cu	660–577 °C
AlMg	1.2% Mg	3.5% Mg	660–449 °C
AlSiMg	0.5–0.8% Si und 0.2–1.2% Mg	2.0% Si	

Tabelle 4: Heissrissneigung von Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit von Silizium- und Magnesiumgehalt

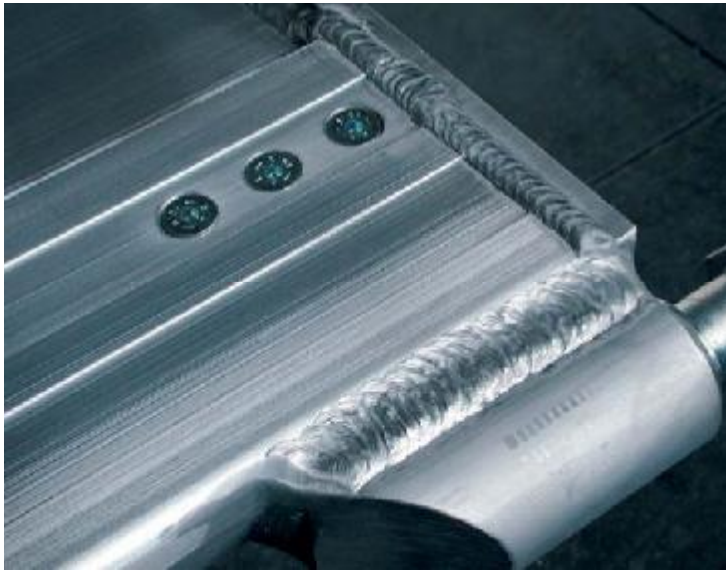
Endkraterrisse können durch ein bei modernen Schweißanlagen integriertes Endkraterfüllprogramm oder durch Schweißen auf ein zusätzliches Auslaufblech vermieden werden.

Risse in der Nahtwurzel sind häufig auf Aluminiumoxide zurückzuführen und werden durch eine untere Blechanfasung verhindert.



Grafik 2: Verlauf Heissrissneigung





^ Bauteil aus AlMg4.5Mn, WIG-geschweisst mit SG-AlMg4.5Mn unter MISON®He 20



^ MISON®He 20: MIG-Schweisnaht an Aluminium-Behälter

### Problem Porenbildung

Als primäre Ursache für die Porenbildung im Schweissgut ist die sprunghafte Abnahme der Gaslöslichkeit bei der Erstarrung zu sehen. Hier tritt besonders Wasserstoff in Erscheinung, da allfällig vorhandener Sauerstoff zu  $Al_2O_3$  abgebunden wird und Stickstoff Aluminium-Nitrid bildet. Die sinkende Gaslöslichkeit führt zu Ausscheidungen submikroskopischer Gasblasenkeime, die durch weitere Gasaufnahme anwachsen und sich in der Schmelze nach oben bewegen. Die Entgasung ist bei hohen Schweissgeschwindigkeiten und schneller Schmelzbaderstarrung vielfach nicht vollständig abgeschlossen und es kommt somit zu Poren im Schweissgut.

Die Quellen für Wasserstoff sind vielfältig und reichen von Feuchtigkeit in der Oxidschicht über falsche Brennerneigung bis hin zur Aufnahme von Luftfeuchtigkeit durch das Schutzgas-Schlauchmaterial. Da die Differenz des Wasserdampf-Partialdrucks zwischen der Umgebungsluft und dem Schutzgasstrom beachtlich ist, kann die Feuchtigkeit relativ leicht durch Diffusion in das Schutzgas und in den Lichtbogen gelangen.

Generell ist das Porenproblem beim MIG-Schweissen grösser als beim WIG-Schweissen, da beim verhältnismässig ruhigen WIG-Prozess weniger feuchte Umgebungsluft in die Schutzgas-Atmosphäre gelangt.

Grundsätzliche Massnahmen zur Porenvermeidung sind unten aufgeführt.

Wichtige Massnahmen zur Porenvermeidung:

- Saubere und trockene Oberflächen von Grundwerkstoff und Zusatzmaterial
- Vorbehandlung durch Schleifen, Bürsten, Beizen, Entfetten
- Ruhiger Lichtbogen und ruhige Brennerführung
- Turbulenzfreier Schutzgasstrom mit richtiger Dosierung und Reinheit
- Gross dimensionierte und saubere Schutzgasdüse
- Schlauchpaket kurz halten
- Brenner mit geschlossenem Kühlsystem verwenden
- Ausreichend lange Zeit Spülen vor dem Schweissen
- Wurzelschutz vorsehen
- Möglichst in Position PA oder PF schweissen
- Schweisspositionen PC und PE vermeiden

### Verfärbungen im Bereich der Schweisnaht

Im Bereich der Schweisszone treten unabhängig vom verwendeten Schweissverfahren schwache bis ausgeprägte Verfärbungen auf, die mit höheren Gehalten an Magnesium und Silizium zunehmen. Ist nach dem Schweissen eine Eloxierung vorgesehen, so muss bei heterogenen Legierungen mit stärkeren Verfärbungen gerechnet werden – vor allem dann, wenn einzelne Gefügebestandteile bei der Eloxierung angeätzt oder durch die Elektrolytlösung herausgelöst werden.

## Schweisstechnologie

### Arbeitsplatz

Beim Schweißen von Aluminium-Werkstoffen ist auf äusserste Sauberkeit am Arbeitsplatz, bei den Werkzeugen, Spannmitteln und Zusatzwerkstoffen zu achten. Eine Trennung von anderen Arbeitsplätzen, an denen Baustahl oder hochlegierter Stahl verarbeitet wird, ist anzustreben, um gegenseitige Verunreinigungen zu vermeiden.

### Vorwärmen

Das Vorwärmen von Aluminium-Werkstoffen ist immer dann erforderlich wenn sich trotz Einhaltung der richtigen Schweißparameter und trotz Verwendung von Helium-haltigen Schutzgasen kein genügender Einbrand erzielen lässt. Die Vorwärmung kann mit Autogenbrennern bei leicht reduzierender Flammeneinstellung erfolgen. Ein unerwünschtes Anwachsen der Oxidschicht kann durch Verwendung grosser Vorwärm Brenner erreicht werden. Um die gewährleisteten Werkstoffeigenschaften nicht zu gefährden, sind die Empfehlungen der Lieferwerke zu den Vorwärmtemperaturen und Haltezeiten zwingend einzuhalten, Richtwerte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Werkstoff	T [°C]	t [min]
AlMgSi	180	60
AlSi1MgMn	200	10–30
AlSiMg	220–250	10–30
AlZn4.5Mg1	140	30
AlMg4.5Mn0.7	150–200	10–20
AlMg3	150–200	10–20

Tabelle 5: Richtwerte für maximale Vorwärmtemperaturen und Vorwärmzeiten



^ MIG-Schweissanlage für Aluminium

### Auswahl des Schweißzusatzwerkstoffs

Die richtige Auswahl der Zusatzwerkstoffe ist für eine fachgerechte Schweißung wesentlich, vor allem im Hinblick auf die hohen Geschwindigkeiten bei den Schutzgasschweißverfahren, die eine schnelle Erstarrung der Schmelze bewirken. In Tabelle 3 sind die grundsätzlichen Zusatzwerkstoffe für die wichtigsten Legierungstypen aufgeführt. Neben der richtigen Analyse ist zusätzlich auf die richtige Einstellung der kornfeinenden Mikrolegierungselemente, auf enge Toleranzen und auf eine sorgfältige Spulung mit hohem Vorbiegemass und auf lagengespulte drallfreie Ausführung zu achten.



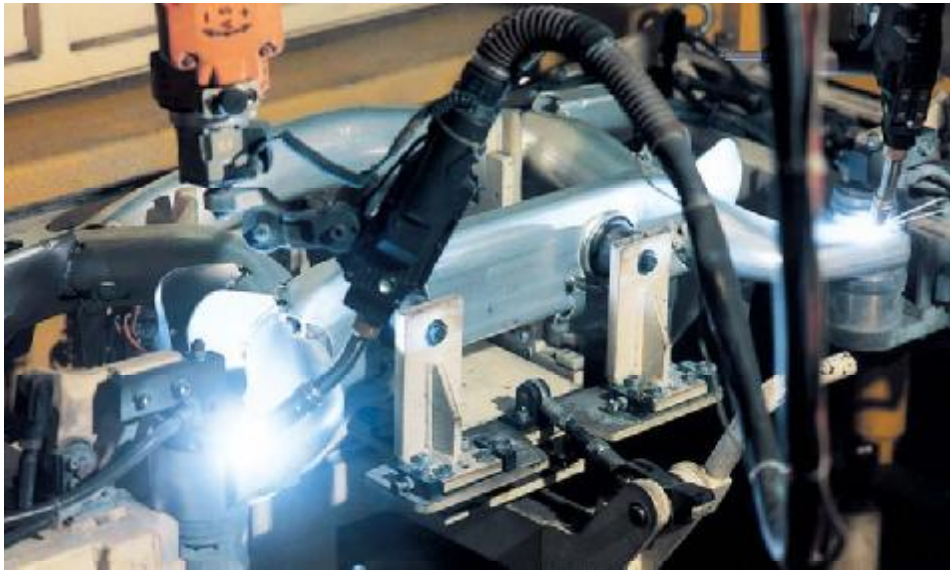
AlMg5

AlSi5

Al99.5Ti

^ Unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit wirkt auf Einbrand und Nahtform





^ MIG-Schweissen von PKW-Achsbauteilen

#### Auswahl des Schweißverfahrens

Immer mehr wird das MIG-Verfahren aus wirtschaftlichen Erwägungen bevorzugt. Auch im dünneren Blechdickenbereich hat sich dieses Verfahren unter Anwendung der Impulsschweisstechnik immer grössere Anwendungsfelder erschlossen.

Bei sehr geringen Werkstückdicken, ungünstiger Zugänglichkeit oder höchsten Anforderungen an Oberfläche und Porensicherheit wird bevorzugt das WIG-Verfahren eingesetzt.

Weitere – in geringerem Umfang eingesetzte – Verfahren sind Gasschweissen, Widerstandspressschweissen, Lichtbogenhandschweissen, Reibschweissen, Rührreibschweissen, Ultraschallschweissen, Elektronenstrahl- und Laserschweissen. Die grösste wirtschaftliche Bedeutung und Verbreitung haben jedoch die Schutzgasverfahren MIG- und WIG-Schweissen.

#### MIG-Schweissen

Das MIG-Schweissen ist vor allem bei grösseren Blechstärken ein wirtschaftliches Fügeverfahren. Bei Aluminium-Werkstoffen wird üblicherweise mit Gleichstrom und positiver Elektrodenpolung geschweisst, damit die Oxidhaut zerstört und ein feiner Tropfenübergang erzielt wird. Ab ca. 4 mm Blechdicke wird im Sprühlichtbogen gearbeitet.

Zur Erweiterung des Einsatzgebietes auf dünneres Material wurde das MIG-Impulsschweissen entwickelt. Hierbei kann über verschiedene Pulsparameter eine definierte Tropfengrösse und Ablösung erzielt und insgesamt die Wärmeeinbringung reduziert werden. Die typischen Parameter wie Pulsfrequenz, Grund-, und Impulsstromstärke, Zeitverlauf, Impulsstromform sind in weiten Bereichen wählbar und ermöglichen bei richtiger Wahl einen kurzschlussfreien Werkstoffübergang mit einem stabilen Lichtbogen und geringer Elektrodenbelastung und somit ein hervorragendes Nahtbild. In den Grundstromphasen kann sich die Schmelze beruhigen und entgasen.

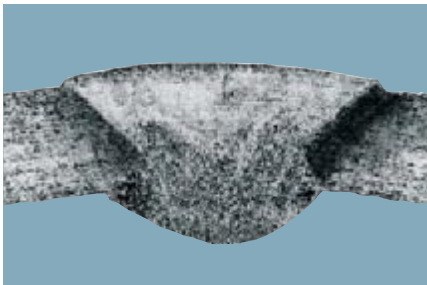


^ WIG-Schweissanlage

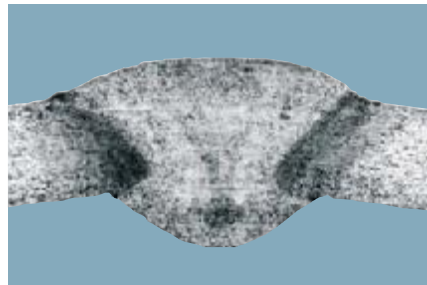
Auch dünne Bleche können mit relativ dicker Drahtelektrode impulsgeschweisst werden: dies ist vor allem zur Porenreduzierung willkommen. Die Impulstechnik führt ausserdem zu einer geringeren Magnesium- und Zinkverdampfung und somit zu besseren metallurgischen Eigenschaften der Schweißnaht.

Moderne Schweißgeräte verfügen zudem über spezielle Steuerungsprogramme, mit denen beispielsweise spritzerfreies Lichtbogenzünden oder Endkraterauffüllen möglich ist. Auch eine intermittierende Drahtförderung zur Erzielung einer gleichmässigen Nahtschuppung gehört bei modernen Schweißanlagen zum Stand der Technik. Zur Sicherstellung einer einwandfreien und störungsfreien Drahtförderung ist zudem ein Drahtantrieb im Brenner sinnvoll. Vielfach wird auch mit einer im Handgriff integrierten Fernsteuerung zum Abruf verschiedener Schweißaufgaben gearbeitet.

Weitere technische Entwicklungen gehen in Richtung gepulstes MIG-Wechselstromschweissen, um den Bauteilverzug und die Spaltüberbrückbarkeit speziell bei Dünnblechschweissungen zu optimieren.



Argon 10 l/min  
Schweissgeschwindigkeit 10 cm/min



VARIGON®He50 15 l/min  
Schweissgeschwindigkeit 20 cm/min

^ Mehr Heliumanteil führt zu höheren Schweissgeschwindigkeiten. Hier beim Schweißen einer 3 mm dicken AlZn 4,5 Mg 1-Legierung

### WIG-Schweissen

Das WIG-Schweissen von Aluminium-Legierungen ist ein weit verbreitetes Standardverfahren. Es wird normalerweise mit Wechselstrom geschweisst, bei dem die positive Halbwelle die Aluminiumoxid-schicht zerstört. Während der Stromverlauf über die negative Halbwelle verläuft, wird die Wolframelektrode weniger stark thermisch belastet. Während des Null-durchgangs erlischt der Lichtbogen bei sinusförmigem Stromverlauf und muss über Hochfrequenz-Spannungsimpulse wieder gezündet werden. Moderne WIG-Stromquellen ermöglichen einen rechteckigen Stromverlauf und verhindern ein Verlöschen des Lichtbogens aufgrund des praktisch senkrechten Nulldurchgangs. Somit ist ein störungsfreies und gleichmässiges Schweißen gewährleistet.

### Schutzgase für das MIG- und WIG-Schweissen

Das MIG-Schweissen unterscheidet sich vom MAG-Schweissen generell nur durch den verwendeten Schutzgastyp: es werden nur inerte Schutzgas-Gemische verwendet, da die zu verschweisenden Metalle keine aktiven Gasbestandteile vertragen. Mit Vorteil können jedoch zur Stabilisierung des MIG-Lichtbogens sehr geringe Mikrodotierungen von Sauerstoff oder Stickstoffmonoxid toleriert werden, die in vielen Fällen noch keine schädlichen Einflüsse auf den Werkstoff ausüben.

Als Basisschutzgas wird Argon verwendet, das sich als Edelgas absolut reaktionsfrei verhält und mit dem Grund- und Zusatzwerkstoff keinerlei chemische Reaktionen eingeht. Es schützt die reaktionsfreudige Metallschmelze vor chemischen Wechselwirkungen mit Sauerstoff und Stickstoff. Argon ist relativ leicht zu ionisieren und erleichtert somit die Lichtbogenzündung. Argon ist spezifisch schwerer als Luft und deckt somit die Schmelze beim Schweißen in Normalpositionen gut ab (Bild S. 13: oben links).

Ein weiteres beim MIG- und WIG-Schweissprozess verwendetes Gas ist Helium, das praktisch nie allein, sondern als Beimischung zu Argon eingesetzt wird. Es ist ebenso wie Argon völlig reaktionslos und geht keine chemischen Verbindungen ein.

Helium zeichnet sich vor allem durch seine ausserordentlich gute Wärmeleitfähigkeit aus und verbessert so die Übertragung der Lichtbogenwärme auf das Schmelzbad. Hierdurch wird einerseits die Wärmeabfuhr bei gut leitenden Metallen wie Aluminium oder Kupfer kompensiert und andererseits ein besseres Schweissnahtbild erzeugt.

Da Helium ein sehr niedriges spezifisches Gewicht hat, ist für eine ausreichende Schmelzenabdeckung ein grösserer Volumenstrom notwendig. Die Ionisierungsenergie von Helium ist vergleichsweise hoch und erfordert eine höhere Schweissspannung als Argon. Die Lichtbogenzündung wird mit zunehmendem Heliumanteil im Schutzgas schwieriger (Bild S.13: oben rechts).

Kohlendioxid und Wasserstoff sind als Schutzgasbestandteile für die inerten Verfahren aufgrund ihrer chemischen Reaktionsfreudigkeit ungeeignet und werden nicht verwendet.



^ WIG-Lichtbogen unter Argon



^ WIG-Lichtbogen unter Helium

In sehr geringen Dosierungen im ppm-Bereich können Sauerstoff- oder Stickstoffmonoxid-Beimischungen die Lichtbogenstabilität speziell beim Wechselstrom-WIG-Schweißen deutlich verbessern und werden häufig verwendet; streng ausgelegt sind diese dotierten Gase nicht mehr als vollkommen inert anzusehen. Trotzdem hat es sich eingebürgert, weiterhin vom MIG-Verfahren zu sprechen und nicht vom MAG-Schweißen.

Typische Schutzgase für das MIG- und WIG-Schweißen von Aluminiumlegierungen sind folgende Gase und Gasgemische:

<b>Argon 4.6</b>	<b>100% Ar technischer Reinheit</b>
<b>Argon 4.8</b>	<b>100% Ar hoher Reinheit</b>
<b>MISON®Ar</b>	<b>Argon mit 275 ppm NO</b>
<b>MISON®He 20</b>	<b>Argon mit 20% Helium und 275 ppm NO</b>
<b>VARIGON®He 30 S</b>	<b>Argon mit 30% Helium und 300 ppm O<sub>2</sub></b>
<b>VARIGON®He 50</b>	<b>Argon mit 50% He</b>
<b>VARIGON®He 60</b>	<b>Argon mit 60% He</b>
<b>VARIGON®He 70</b>	<b>Argon mit 70% He</b>

<b>Schutzgas</b>	<b>Verbrauch</b>	<b>K-Faktor</b>
Argon / MISON®Ar	12–15 KLB	1.00
Argon / MISON®Ar	12–15 SLB, ILB	1.00
MISON®He 20	18 l/ min	1.12
VARIGON®He 30 S	20 l/ min	1.17
VARIGON®He 50	28 l/ min	1.35
VARIGON®He 70	35 l/ min	1.70

**Tabelle 6: Korrekturwerte für Helium-haltige Schutzgase**  
**KLB: Kurzlichtbogen; SLB: Sprühlichtbogen; ILB: Impulslichtbogen**

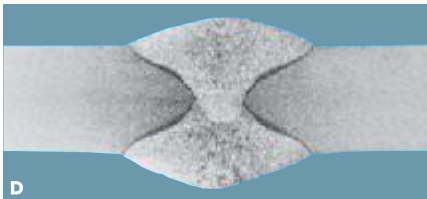
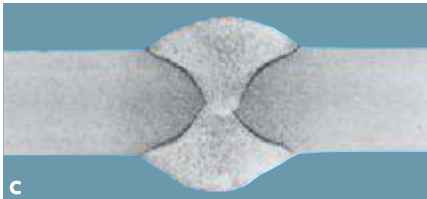
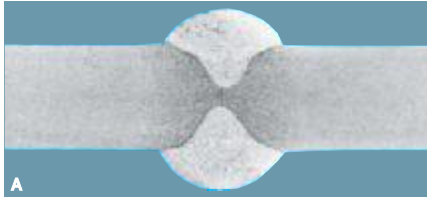
Diese Schutzgase eignen sich auch zum Schweißen von Kupfer- oder Nickelwerkstoffen. Für das MIG-Schweißen sind Kurz-, Sprüh- und Impulslichtbogen anwendbar.

Besonders für weichere Aluminium-Zusatzwerkstoffe bietet der Impulslichtbogen entscheidende Vorteile durch den Einsatz von Drahtelektroden grösseren Durchmessers mit erhöhter Förderstabilität. Der vergleichsweise heissere Lichtbogen der VARIGON®He- und VARIGON®He S-Schutzgasgemische hat sich besonders für die gut wärmeleitenden Aluminium- und Kupferwerkstoffe bewährt. Magnesium und seine Legierungen sind besser mit Schutzgasen ohne Helium zu schweißen.

Die Dotierung der inerten Gase führt beim Schutzgasschweißen durch die verbesserte bessere Lichtbogenstabilität zu einem gleichmässigen Nahtaussehen. Zusätzlich können zudem in Einzelfällen Einbrandverbesserungen im Schliffbild nachgewiesen werden, hervorgerufen durch die günstigeren Lichtbogeneigenschaften.

Als Dotierungsstoffe dienen entweder 275 vpm Stickstoffmonoxid in MISON®Ar und MISON®He 20 oder 300 vpm Sauerstoff in der VARIGON®S-Reihe. Als Ergebnis resultiert daraus eine deutliche Spritzerreduzierung sowie ein besseres Nahtaussehen durch feinere Schuppung der MIG-Schweisnaht.





^ A Argon, 280 A, 25 V  
 B Ar + 30% He, 282 A, 27 V  
 C Ar + 50% He, 285 A, 30 V  
 D Ar + 70% He, 285 A, 34 V

### Hinweise zur Helium-Anwendung

Ein zunehmender Helium-Anteil verlangt bei gleicher Lichtbogenlänge eine höhere Lichtbogenspannung. Helium im Schutzgas führt ausserdem zu einer breiteren und damit flacheren Naht. Der Einbrand ist nicht mehr «fingerförmig» wie bei Argon, sondern wird runder und tiefer.

Die günstigeren Einbrandverhältnisse erleichtern das sichere Durchschweissen im Wurzelbereich (Bilder links) und erlauben eine höhere Schweissgeschwindigkeit.

Helium verbessert ausserdem die Entgasungsbedingungen des Schmelzbades und vermindert die Porosität. Häufig können höhere Schutzgaskosten durch kürzere Lichtbogenbrennzeiten und reduzierte Nacharbeitskosten mehr als kompensiert werden.

Helium ist bedeutend leichter als Luft. Diese Eigenschaft muss sowohl bei der Messung des Durchflusses als auch beim Festlegen der Mindest-Schutzgasmenge berücksichtigt werden. Die Mengenkorrektur am Argon-Flowmeter erfolgt, indem die Schutzgasmenge mit dem Korrekturfaktor multipliziert wird oder umgekehrt formuliert: Die benötigte Schutzgasmenge geteilt durch den Korrekturfaktor ergibt den am Argon-Durchflussmesser einzustellenden Durchflusswert (Tabelle 6).

Einen Sonderfall stellt das WIG-Gleichstrom-Schweissen mit minusgepolter Elektrode dar: diese Verfahrensvariante funktioniert nur mit mindestens 85% Helium und 15% Argon. Dieses Verfahren wird vor allem im Bereich Instandsetzungsschweissen von Aluminium-Motorenhäusen eingesetzt und ermöglicht einen guten Einbrand an dickwandigen Bauteilen. Es ist zu beachten, dass diese spezielle Schweissttechnologie patentrechtlich geschützt ist.

### Literatur

Trube, S.  
Schutzgasschweissen von A-Z  
Schutzgase für Aluminium bis Zirkon  
unveröffentlichter Bericht der Linde AG  
Höllriegelskreuth, 1998

Brune, E.  
Schweisschutzgase  
Technica 10/99, S. 50–54  
Rapperswil, 1999








N.N.  
Schutzgasschweissen TIG und MIG  
von Aluminium-Werkstoffen  
Bericht der Alusuisse AG  
Zürich, 1991

Wesling, V.  
Schweisstechnik II  
Vorlesungsscript  
Institut für Schweisstechnik und  
abtragende Fertigungsverfahren  
Technische Universität Clausthal  
Clausthal, 2003

Dorn, L.  
Schweissverhalten von Aluminium  
und seinen Legierungen  
Mat.-wiss. U. Werkstofftech. 29  
S. 412–423  
Weinheim, 1998

Brune, E.  
Schweissen verbindet  
Schrift Fa. PanGas  
Dagmersellen, 2003

## Die richtigen Schutzgase für jedes Schweißverfahren

	Verfahren	Schutzgase	Werkstoffe	
	<b>MAG</b> Metall-Aktiv-Gas-Schweißen	COXOGEN® 5/5 CORGON® 15/5 COXOGEN® 10 COXOGEN® 15 CORGON® 18 CRONIGON® CRONIGON® He 20 CRONIGON® He 33 T.I.M.E.-GAS® CORGON® He 30	Kohlendioxid CRONIGON® He 20 MISON® 18 MISON® 8 MISON® 25 CRONIGON® He 30 S MISON® 2 MISON® 2 He CORGON® S 5 MISON® 8	Rohr Stahl, Baustahl Kesselbaustahl, Schiffbaustahl Feinkornbaustahl, Einsatz- und Vergütungsstahl CrNi-Stahl, Cr-Stahl und sonstige legierte Stähle, Ni-Basislegierungen, Duplex- und Superduplexstähle Rohr Stahl, Baustahl, Kesselbaustahl, Schiffbaustahl, Feinkornbaustahl
	<b>MIG</b> Metall-Inert-Gas-Schweißen	Argon 4.6/Argon 4.8 VARIGON® He 30 S VARIGON® He 60 MISON® Ar Argon 4.6/Argon 4.8 MISON® Ar MISON® 2	VARIGON® He 50 VARIGON® He 70 MISON® He 20 CRONIGON®	Aluminium, Kupfer, Nickel und andere Legierungen Verzinkte und beschichtete unlegierte Baustähle
	<b>WIG/TIG</b> Wolfram-Inert-Gas-Schweißen	Argon 4.6/Argon 4.8 VARIGON® He 30 S VARIGON® He 60 HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 7 CRONIWIG® N 3 He MISON® H 2 Argon 4.8/Argon 5.0	Helium 4.6 VARIGON® He 30 S VARIGON® He 70 MISON® Ar MISON® He 20 HYDRARGON® 5 CRONIWIG® N 3	Alle schweißbaren Metalle wie: unlegierte und legierte Stähle, Aluminium, Kupfer Nickel- und Ni-Legierungen CrNi-Stähle Gasempfindliche Stoffe wie Ti, Ta, Zr
	<b>WP</b> Wolfram-Plasma-Schweißen	<b>Zentrumsgas/Plasmagas:</b> Argon 4.8 <b>Aussengas:</b> Argon 4.6, MISON® Ar HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Helium 4.6 VARIGON® He 60 MISON® Ar	Alle schweißbaren Metalle siehe WIG-Schweißen
	<b>Wurzelschutz</b> Formieren	Formiergas 5 Formiergas 8 Formiergas 10 Formiergas 25 Argon 4.8	HYDRARGON® 2 HYDRARGON® 5 HYDRARGON® 7	Für alle Werkstoffe, wenn wurzelseitig Oxidation vermieden werden soll. Bei mehr als 10% H <sub>2</sub> -Anteil abfackeln. Für gasempfindliche Werkstoffe wie Titan, Tantal, Zirkonium.
	<b>Laser</b> Schweißen und Schneiden	Argon 4.6, Argon 4.8 Helium Spezialgase Betriebsgase z. B. für CO <sub>2</sub> -Laser: LASPUR®		Alle schweißbaren Metalle
	<b>Lichtbogen-Bolzenschweißen</b>	CORGON® 18 CRONIGON® HYDRARGON® 2 VARIGON® He 30 S	MISON® 18 CRONIGON® He 33 MISON® 2	Baustahl Hochlegierte Stähle Aluminium und Aluminium-Legierungen



## Vorsprung durch Innovation

PanGas ist mehr. PanGas übernimmt mit zukunftsweisenden Produkt- und Gasversorgungskonzepten eine Vorreiterrolle im Markt. Als Technologieführer ist es unsere Aufgabe, immer wieder neue Massstäbe zu setzen. Angetrieben durch unseren Unternehmergeist arbeiten wir konsequent an neuen hochqualitativen Produkten und innovativen Verfahren.

PanGas bietet mehr – wir bieten Mehrwert, spürbare Wettbewerbsvorteile und erhöhte Profitabilität. Jedes Konzept wird exakt auf die Bedürfnisse unserer Kunden abgestimmt. Individuell und massgeschneidert. Das gilt für alle Branchen und für jede Unternehmensgrösse.

Wer heute mit der Konkurrenz von morgen mithalten will, braucht einen Partner an seiner Seite, für den höchste Qualität, Prozessoptimierungen und Produktivitätssteigerungen tägliche Werkzeuge für optimale Kundenlösungen sind. Partnerschaft bedeutet für uns jedoch nicht nur für Sie – sondern vor allem wir mit Ihnen. Denn in der Kooperation liegt die Kraft wirtschaftlichen Erfolgs.

**PanGas – ideas become solutions.**



# Übersichtstabellen

Tabelle 2 - Auswahl der Zusatzwerkstoffe (Die Typen der Zusatzwerkstoffe sind in Tabelle 1 aufgeführt.)

Auswahl der Zusatzwerkstoffe für alle Gasarten (Die Ziffern in dieser Tabelle beziehen sich auf die Typnummern in Tabelle 1.)  
 Eine Zelle: Optimale mechanische Eigenschaften  
 Zweite Zelle: Optimale mechanische Eigenschaften  
 Dritte Zelle: Optimale mechanische Eigenschaften  
 Dritte Zelle: Optimale mechanische Eigenschaften

Grundwerkstoff A											
Al	✓ 1 2										
AlMn	4 oder 5 1 ✓	4									
AlMg < 1 % <sup>a</sup>	4 oder 5 1 ✓	4 4 1	4 4 1								
AlMg 3 %	4 oder 5 3 4 oder 5	5 3 4	5 3 4	5 3 5							
AlMg 5 % <sup>b</sup>	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5						
AlMgSi <sup>c</sup>	4 oder 5 5 ✓	2 oder 5 5 1	4 oder 5 5 1	5 5 ✓	5 5 1	5 oder 1 5 1					
AlZnMg	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5				
AlSiCu < 1 % <sup>d</sup>	2 2 ✓	4 4 1	4 4 1	2 2 ✓	4 4 1	4 4 1	2 2 ✓	4 4 1			
AlSiMg <sup>e</sup>	✓ 2 2	1 4 4	1 4 4	✓ 2 2	1 4 4	1 4 4	✓ 2 2	1 4 4	1 4 4		
AlSiCu <sup>f</sup>	✓ ✓ 2	1 1 4	1 1 4	✓ ✓ 2	1 1 4	1 1 4	✓ ✓ 2	1 1 4	1 1 4	✓ ✓ 2	
AlCu <sup>g</sup>	✓	5	5	✓	5	4 1 1	2 ✓ 1	4 1 1	4 1 1	2 ✓ 1	5 5 1
Grundwerkstoff B	Al	AlMn	AlMg < 1 %	AlMg 3 %	AlMg 5 %	AlMgSi	AlZnMg	AlSiCu < 1 %	AlSiMg	AlSiCu	AlCu

**Anmerkung 1:** Wenn die Grundwerkstoffe weniger als 2,5% Mg enthalten und mit Zusatzwerkstoffen der Typen A565 oder A5812 geschweißt werden, sollte wenn die Grundwerkstoffe ≥ 2,5% Si enthalten mit Zusatzwerkstoffen der AlMgSi-Typen geschweißt werden, können die geeigneten Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ausschlüsse durch ein des Beiwahl-Tabelle 1 und die Verbindung z. Bsp. 1000. Diese Kombinationen werden für die mechanischen Eigenschaften beurteilt. Wenn dies Leistungsanforderungen nicht erfüllt, sind Ersatzwerkstoffe der Typen AlMgSi oder AlSiMg zu verwenden.

**Anmerkung 2:** Die Grundwerkstoffe sind entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung auf die Auswahl der Zusatzwerkstoffe aufgeführt.

<sup>a</sup> Dem Schweißen dieser Zusatzwerkstoffe sind diese Legierungen für die Bildung von Zersetzungsprodukten anfällig. Dem kann durch den Einsatz geeigneter Zusätze oder durch eine Erhöhung des Mg-Gehaltes im Schweißbad bis 3% Mg begegnet werden.

<sup>b</sup> Für bestimmten Legierungsbedingungen, z. B. beim Einsatz im Temperaturbereich 200°C, können Legierungen mit einem Mg-Gehalt ≥ 3% nicht die beste Kombination für die Beständigkeit sein. Die Anfertigung mit steigendem Mg-Gehalt und/oder mit höherem Si-Gehalt ist zu bevorzugen. Die Auswahl von Schweißzusätzen sollte entsprechend werden.

<sup>c</sup> Diese Legierungen sind für die Schweißzusätze AlSiMg zu empfehlen, da sie für die Bildung von Zersetzungsprodukten anfällig sind.

<sup>d</sup> Für AlSiCu-Legierungen mit höherer Korrosion und Spannungsrissrisiko von Typ B wird empfohlen, wenn der Mg-Gehalt 0,3% oder höher ist. Bei einer höheren Mg-Gehalt ist die mögliche Beschleunigung der Korrosion durch die Spannungsrissrisiko zu berücksichtigen, wobei der Mg-Gehalt des Schweißbades des Grundwerkstoffes durch eine nicht wesentliche Erhöhung des Mg-Gehaltes bis 0,3% erhöht werden kann.

<sup>e</sup> Der Si-Gehalt der Zusatzwerkstoffe sollte ausgewählt werden, das eine gute Anpassung an den Mg-Gehalt des Grundwerkstoffes darstellt.

<sup>f</sup> Wenn Gaslegierungen abgepasst werden, sind sie infolge des Gasgehaltes nicht schweißbar.

<sup>g</sup> Nicht empfohlen - nicht geeignet für den Grundwerkstoff.

## Anwendungstechnische Hinweise zum Schutzgasschweißen von Aluminium

Der Einsatz von Aluminium und seinen Legierungen nimmt ständig zu. Auch in der Zukunft ist mit einem überproportionalen Zuwachs und der Substitution von Stahl (speziell aber nicht nur im Mobilitätsbereich) zu rechnen. Die steigenden Energiekosten machen den Leichtbau zunehmend wirtschaftlicher. Dies führt dazu, dass Fertigungsbetriebe von der Verarbeitung von Stahl auf Aluminium umsteigen oder direkt Aluminiumverarbeiter neu entstehen.

Da die Fertigungsprozesse und die verwendeten Begriffe von Stahl oft nur wenig abweichen, werden allzu oft grundlegende Fehler in der Verarbeitung gemacht, welche zu teurer Nacharbeit, Ausschuss und Terminverzug führen. Tatsächlich sind viele Eigenschaften von Aluminium gerade zu entgegengesetzt zu Stahl und deren Kenntnis ist für eine sichere Verarbeitung unbedingt nötig.

### Physikalische Größen von chemisch reinem Aluminium (im Vergleich zu Eisen)

Eigenschaften	Einheit	Al	Fe	Verhältnis
Atomgewicht	[g/mol]	26,98	55,84	≈ 1 zu 2
Kristallgitter		kubisch flächenzentriert	kubisch raumzentriert	
Dichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,70	7,87	≈ 1 zu 3
Elektrizitätsmodul	[GPa]	67	210	≈ 1 zu 3
Ausdehnungskoeffizient	[1/K]	24 · 10 <sup>-6</sup>	12 · 10 <sup>-6</sup>	≈ 2 zu 1
$\alpha_{Fe-Al}$	[1/K]	≈ 10	≈ 100	≈ 1 zu 10
Zugfestigkeit R <sub>m</sub>	[MPa]	≈ 90	≈ 200	≈ 1 zu 4
Spezifische Wärme	[kJ/kg·K]	≈ 900	≈ 490	≈ 2 zu 1
Schmelzwärme	[kJ]	≈ 390	≈ 272	≈ 1,5 zu 1
Schmelztemperatur	[°C]	933	1538	≈ 1 zu 2,5
Wärmeleitfähigkeit	[W/m·K]	235	75	≈ 3 zu 1
Elektrische Leitfähigkeit	[m/Ωmm <sup>2</sup> ]	38	≈ 10	≈ 4 zu 1
Oxide		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
Schmelztemperatur der Oxide	[°C]	2060	1400 / 1435 / 1600	bei Fe ähnlich dem Metall bei Al ca. 5 x so hoch
Dichte der Oxide	[g/cm <sup>3</sup> ]	3,95	5,7 / 5,2 / 4,8	Fe-Oxide sind leichter als Metall, Al-Oxid schwerer

Tabelle: Physikalische Eigenschaften von Aluminium zu Eisen

### Auswirkungen der Unterschiede in den physikalischen Größen von Stahl zu Aluminium auf das Schmelzschweißen

Die Unterschiede in Dichte, Elastizitätsmodul und der Festigkeit sind für das praktische Schweißen kaum von Relevanz, natürlich jedoch für die Konstruktion der Bauteile.

Die gute elektrische Leitfähigkeit von Aluminium kann zu Schwierigkeiten beim Zünden des Lichtbogens führen und die ebenso hohe Wärmeleitfähigkeit zu Bindefehlern am Nahtanfang und zu vorlaufender Schweißwärme. Auf diese Aspekte wird in weiterer Folge detailliert eingegangen. Die gute Wärmeleitfähigkeit kann ebenso zu einer starken Erwärmung von Schweißvorrichtungen und damit zu Dimensionsänderungen führen, denen mit einer entsprechend stabilen Ausführung und eventuell einer zusätzlichen Kühlung begegnet werden muss. Grundsätzlich führen hohe Wärmeleitfähigkeit und Ausdehnungskoeffizient zu einem stärkeren Verzug beim Schweißen von Aluminium. Dies ist in Konstruktion und im Vorrichtungsbau zu berücksichtigen.

Ein ganz besonderes Augenmerk ist auf die Oxidschicht und die Löslichkeit von Wasserstoff zu richten.

## Oxidschicht

Aluminium bildet an Atmosphäre sofort eine Oxidschicht im Wesentlichen aus amorphem  $Al_2O_3$ . Sie besteht aus zwei übereinander liegenden Teilschichten und zwar

- einer nahezu porenfreien Grund- oder Sperrschicht aus amorphem Aluminiumoxid und
- einer porösen wasserhaltigen Deckschicht mit geringen kristallinen Anteilen an Al-Hydroxiden und Bayerit..

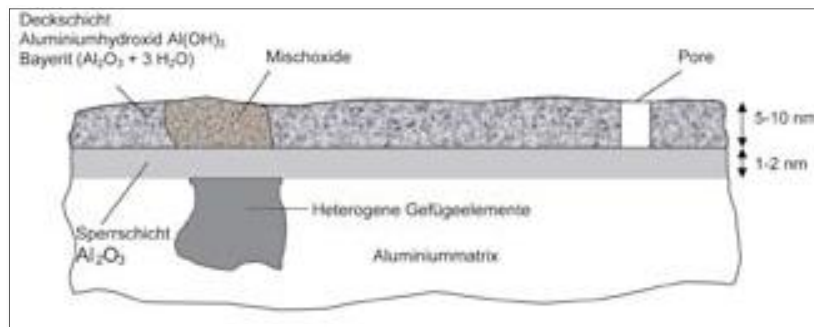


Abbildung: Aufbau einer natürlichen Oxidschicht (vermeidet)

Die Dicke der Oxidschicht nimmt mit Zeit, Temperatur und Sauerstoffangebot zu. Obwohl die Oxidschicht sehr dicht ist, einen Schmelzpunkt von ca. 2.300° Celsius aufweist und die Aluminiumoberfläche vor weiterer Korrosion schützt, kann diese auch porös sein und Feuchtigkeit aufziehen.

Der Oberflächenzustand von Aluminium beeinflusst beim MIG- und WIG-Schweißen

- die Lichtbogenstabilität (für einen stabilen Lichtbogen ist das Vorhandensein von Al-Oxid notwendig)
- die Geometrie des Lichtbogenbrennflecks
- den Spannungsabfall im Lichtbogen und damit die Lichtbogenlänge
- die Schweißnahtgeometrie
- die Schweißnahtgüte
- die Reproduzierbarkeit des Prozesses speziell beim mechanisierten Schweißen

Da die Ausbildung der Oxidschicht aufgrund der extrem geringen Dicken im Nanometerbereich in der Praxis derzeit kaum messbar ist bleibt oft nur die Möglichkeit durch chemische Methoden (Beizen) die Oxidschicht vollständig zu entfernen und durch Lagerung unter definierten Umgebungs- und Zeitbedingungen beim nachfolgenden Schweißen eine definierte Schichtdicke zu erzielen.

Bemerkenswert ist ferner, dass die Dichte des Aluminiumoxids im Vergleich zum Metall höher ist. Bei Eisen haben die Oxide ein geringeres Gewicht als das Metall und schwimmen deshalb beim Schmelzschweißen auf der Oberfläche. Bei Aluminium sinken die Oxide im Schmelzbad nach unten und können Oxideinschlüsse verursachen.

## Löslichkeit von Wasserstoff

Von allen Gasen ist in Aluminium nur Wasserstoff löslich. Verglichen mit der Löslichkeit von Gasen in Eisenlegierungen ist das Lösungsvermögen gering.

Die Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium hängt von dessen Legierungsgehalt und von der Temperatur ab. Die gelöste Menge wird zusätzlich vom Wasserstoffangebot bestimmt, das in der Regel als Wasserstoffpartialdruck angegeben wird. Die gelöste Menge wird üblicherweise in ml des gelösten Gases pro 100 g Metall angegeben. (1013 mbar und 0° Celsius; 1 ppm = 1,1124 ml/100g)

Da die Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium während der Abkühlung bei einer Temperatur von ca. 600°C sprunghaft (1:20) abnimmt kommt es während der Erstarrung des Schmelzgutes häufig zu Poren bedingt durch Wasserstoff. Bei Reinaluminium ist die Porenneigung am gravierendsten, während bei den Legierungen der Lösungssprung geringer ist. Dies führt naturgemäß zu geringerer Porosität.

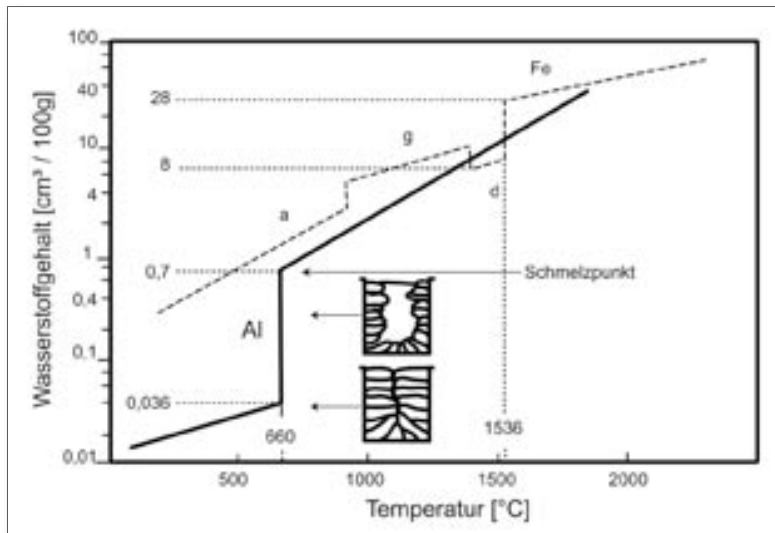


Abbildung: Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium und Eisen

Diese Umstände führen dazu, dass das Vorhandensein von Wasserstoffporen beim MIG-Schweißen von Aluminium nahezu unvermeidbar ist. Poren haben negative Auswirkungen auf die statische und dynamische Festigkeit der Verbindung und können auch sonst störend sein. Beim mechanischen Abarbeiten der Nähte treten die Poren zutage und stören aus optischen Gründen oder Verzugern die Lackhaftung.

Abnahmeorgane bei abnahmepflichtigen Bauwerken finden die Beurteilung schwierig, ob die Porigkeit noch akzeptabel ist oder nicht und sowohl Hersteller als auch Kunden finden es einfach handwerklich inakzeptabel.

Die grundsätzliche Lösung liegt darin, das Wasserstoffangebot so gering wie möglich zu halten. Allgemein wird ein Wasserstoffgehalt von ca. 0,2 bis 0,3 ml/100g als die Obergrenze dafür gehalten, dass keine oder kaum Poren auftreten. Dieser Grenzwert wird in der Praxis häufig erheblich überschritten. Quellen des Wasserstoffs sind Grundwerkstoff, Zusatzwerkstoff, Schutzgas, Atmosphäre. Eine möglichst saubere Lagerung und Verarbeitung der Werkstoffe, Vorbehandlung der Oberflächen und Vermeidung aller sonstigen Wasserstoffquellen sind oberstes Gebot.

## Oberflächenbehandlung vor dem Schweißen

Aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften ist der Oberflächenbehandlung der Grund- und Zusatzwerkstoffe beim Schutzgasschweißen von Aluminium ein weitaus höherer Stellenwert zuzuschreiben als beispielsweise bei Stahl. Die Frage, ob eine Reinigung vor dem Schweißen erforderlich ist, kann nur so beantwortet werden: Wenn porenanarme, hochfeste und konstante Schweißnähte erzielt werden sollen, ist eine gründliche Reinigung nach erprobten, festgelegten und reproduzierbaren Verfahrensabläufen unbedingt erforderlich.

Wir haben die folgenden grundlegenden Richtlinien für die Lagerung, Reinigung, Nahtvorbereitung und das Schweißen zusammengestellt.

### Lagerung und Handling

#### Grundwerkstoffe

Bleche und Profile sollen vertikal und mit einem genügenden Abstand zueinander gelagert werden, um eine ausreichende Luftzirkulation zu ermöglichen und Kontaktpunkte zueinander zu vermeiden. Das Lager muss überdacht und vorzugsweise beheizt sein, wobei die Temperatur möglichst konstant zu halten ist. Eine kontrollierte Luftfeuchtigkeit ist wünschenswert.

#### Zusatzwerkstoff

Ein beheizter Lagerraum mit konstanter Temperatur und falls möglich kontrollierter Luftfeuchtigkeit ist von großer Bedeutung. Vor der Verarbeitung sind die Schweißzusätze für mindestens 24 Stunden in der gleichen Umgebung wie die Grundwerkstoffe in Originalverpackung aufzubewahren, um eine Anpassung der Temperatur mit der Umgebung zu ermöglichen. Ein Schutz vor Staub und anderer Verschmutzung muss jederzeit gewährleistet sein.



**Kondensation**

Die atmosphärischen Einflüsse von Luftfeuchtigkeit und Temperatur können zu verschiedenen Jahreszeiten die Fertigungsbedingungen entscheidend verändern. So wie Feuchtigkeit auf einem kühlen Bierglas kondensiert kann dies auch auf Aluminiumoberflächen auftreten. Dafür maßgebend ist der Temperaturunterschied zwischen Luft und Metall, sowie die relative Luftfeuchtigkeit. In der folgenden Tabelle wird der Taupunkt bei verschiedenen Temperaturunterschieden und Luftfeuchten beispielsweise angegeben. Unter [www.migweld.de](http://www.migweld.de) steht ein Taupunkt-Rechner zur Verfügung. MIG WELD bietet auch ein Messgerät an, mit welchem Lufttemperatur, Metalltemperatur und die relative Luftfeuchte gemessen werden kann und eine direkte Aussage zur Schweißreignung erfolgt.

$(T_{Luft} - T_{Metall})^{\circ}$	Relative Luftfeuchtigkeit	$(T_{Luft} - T_{Metall})^{\circ}$	Relative Luftfeuchtigkeit
$^{\circ}\text{C}$	%	$^{\circ}\text{C}$	%
0	100	12	42
1	98	13	41
2	97	14	38
3	95	15	36
4	93	16	34
5	90	18	30
6	88	20	26
7	85	22	23
8	82	24	21
9	78	26	18
10	75	28	16
11	72	30	14

Tabelle: Zusammenhang Wasserfeuchtigkeit und Temperaturdifferenz von Metall zu Luft.

\* Beispiel: Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % kondensiert Feuchtigkeit auf der Metalloberfläche bei einem Temperaturunterschied von nur 5 °Celsius. Das Auftreten von Kondensation ist unbedingt zu vermeiden.

**Nahtvorbereitung**

**Plasmaschneiden**

Es ist auf einen möglichst konzentrierten Lichtbogen und auf eine geringe Wärmebringung zu achten. Speziell bei Legierungen der Gruppen 2XXX, 5XXX, und 7XXX kann es in der Wärmeinflusszone zur Rissbildung kommen und die anschließende mechanische Abarbeitung der Schnittkante bis zu 3 mm und mehr wird erforderlich. Legierungen der Gruppen 1XXX, 3XXX, und 6XXX können hingegen meist ohne weitere Bearbeitung verschweißt werden.

**Mechanische Bearbeitung**

Drehen, Fräsen und andere spanabhebende Verfahren sind grundsätzlich am besten geeignet. Schmier- oder Kühlmittel dürfen jedoch nicht verwendet werden und die Werkzeuge müssen scharfe Schnittkanten aufweisen um das Schmirren des Metalls zu vermeiden.

Beim Sägen und Schleifen sollen ausschließlich Produkte verwendet werden welche vom jeweiligen Hersteller für Aluminium empfohlen werden.

Beim Bürsten ist darauf zu achten, dass Edelstahlbürsten verwendet werden um Einseitflüsse von Kohlenstoffstahl im Grundwerkstoff zu vermeiden. Der Drahtdurchmesser der Bürsten soll zwischen 0,1 und 0,25 mm bei den weicheeren Aluminiumlegierungen und zwischen 0,25 und 0,4 mm bei den härteren Legierungen liegen. Zu dünne Drähte werden an deren Enden häufig verbogen und sind dann nicht mehr in der Lage die Verunreinigungen tatsächlich zu entfernen, sondern „verschleieren.“ diese dann nur mehr. Zu dicke Drähte erzeugen zu tiefe Riefen im Werkstoff. Ähnliche Gesichtspunkte sind beim Reinigen durch Sandstrahlen zu berücksichtigen. Die Auswahl des Strahlgutes soll mit dem Hersteller abgestimmt werden. Luftdruckwerkzeuge sollen ihre Abluft nach hinten zulassen um eine Kontamination der Oberfläche mit Öl zu vermeiden.

### Chemische Reinigung

Die Reinigung der zu fügenden Bauteile soll möglichst kurz vor dem Schweißvorgang durchgeführt werden. Mögliche Reinigungsmethoden sind das Beizen in alkalischen Lösungen und der Einsatz von Lösungsmitteln auf Kohlenwasserstoffbasis (Alkohol, Aceton etc.). Trotz des hohen Aufwandes ist dem Beizen der Vorzug zu geben. Der Einsatz von Lösungsmitteln ist in vielen Fällen aufgrund des Arbeitsschutzes bedenklich, da Rückstände von Lösungsmitteln durch den Lichtbogen in gesundheitsschädliche Gase und Dämpfe umgewandelt werden.

## Schutzgasschweißen von Aluminium

### Allgemeines

Das Schmelzschweißen von Aluminium bezogen auf die Menge des abgesetzten Zusatzes wird hauptsächlich mit dem MIG (Metall Inert Gas)-Prozess durchgeführt. Neben dem MIG-Schweißen hat das WIG (Wolfram Inert Gas)-Schweißen eine größere Bedeutung im Behälter- und Apparatebau und bei der Verarbeitung von Blechdicken unterhalb von 2 mm. Gegenwärtig erfolgt jedoch speziell im Blechdickenbereich unterhalb von 2 mm eine Substitution des WIG-Schweißens durch das MIG-Schweißen. Der Grund dafür liegt in den Fortschritten der MIG-Impulsschweißtechnik, welche es ermöglicht dünnere Bleche prozesssicher zu verarbeiten.

Die Gemeinsamkeit des MIG- mit dem WIG-Prozess liegt im inertem Schutzgas (Argon, Helium oder Gemische aus Argon und Helium) und dem Schmelzbad. Die hauptsächlichsten Unterschiede liegen in der Elektrode und der verwendeten Stromquelle. Während beim MIG-Schweißen als Elektrode der Zusatzwerkstoff selbst verwendet wird und die Stromquelle eine Konstantspannungseigenschaft aufweist, wird beim WIG-Schweißen eine nicht abschmelzende Wolframelektrode verwendet und die Stromquelle weist eine Konstantstromcharakteristik auf.

Während das MIG-Schweißen sehr gut mechanisierbar (Roboter) ist, ist dies beim WIG-Schweißen nur bedingt möglich. Deshalb und wegen der grundsätzlich höheren Abschmelzleistung des MIG-Prozesses erfährt das MIG-Schweißen zukünftig eine weiterhin zunehmende Bedeutung.

### Zusatzwerkstoffe

Die Auswahl des richtigen Schweißzusatzes kann aufgrund der Tabellen in diesem Katalog oder mit dem Werkstoffechner unter [www.migweld.de](http://www.migweld.de) vorgenommen werden. Diese Hilfsmittel können jedoch nicht alle konstruktiven und metallurgischen Besonderheiten und den Festigkeitszustand des Grundwerkstoffes berücksichtigen. Aus diesem Grund kann auf eigene Untersuchungen und Versuche vor einer Produktionsfreigabe in vielen Fällen nicht verzichtet werden. Die Qualität und die Prozesssicherheit des Fügevorganges kann mit der Qualität des Zusatzwerkstoffes in unmittelbarem Zusammenhang gebracht werden.

### MIG-Schweißen

Zusatzwerkstoffe von MIG WELD sind hochrein und weisen eine spezielle Oberflächenbehandlung auf. Beim MIG-Schweißen ist der Zusatzwerkstoff auch gleichzeitig die Elektrode und wird in einem automatischen Prozess von der Drahtspule über ein Drahtvorschubsystem durch ein Brennerschlauchpaket und ein Kontakrohr dem Lichtbogen zugeführt. Der Schweißstrom wird der Drahtelektrode erst kurz vor dem Lichtbogen übergeben. Die Gleiteigenschaft und die Reinheit der Oberfläche sind für einen störungsfreien Ablauf der Drahtförderung ausschlaggebend und MIG WELD-Drahtelektroden sind dafür optimiert. Sie zeichnen sich durch einen stabilen und reproduzierbaren Zündvorgang und durch einen geringen Gleitwiderstand im Schlauchpaket aus. Ein sehr angenehmer Nebeneffekt der Oberflächenarbeit ist die deutlich geringere Bildung von Schweißrauch, welcher in nicht unbeträchtlichem Maße durch die Verdampfung von Unreinheiten der Drahtoberfläche entstehen kann. Schweißnähte mit MIG WELD-Drahtelektroden zeichnen sich durch geringste Porosität und höchstmögliche Festigkeit aus.

Die geringe Schweißrauchbildung wurde durch Messungen des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitssicherheit, St. Augustin anhand von Drahtelektroden der Legierung AlSi5 1,2 mm im Vergleich zu anderen handelsüblichen Produkten nachgewiesen.

Die Drahtfördereinrichtung ist gemäß den Vorschriften des Geräteherstellers für die Verarbeitung von Aluminium auszustatten. Das betrifft die Fernumgebung der Drahtvorschubrollen, die Verwendung von Kunststoffseelen und die Auswahl der Kontaktrohre.

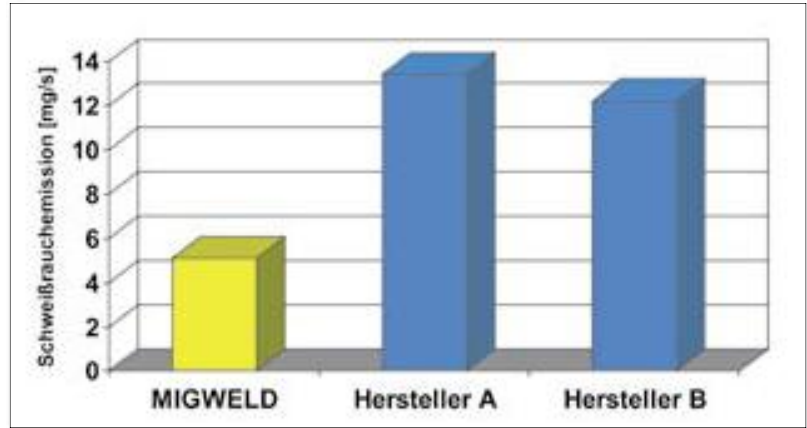


Abbildung: Drahtelektrodenvergleich in Bezug auf Schweißrauchemission

Gegenüber der Verarbeitung von Stahldrähten ist der Innendurchmesser des Kontaktrohres größer zu wählen. Beispielsweise hat sich ein Bohrungsdurchmesser von 1,6 mm des Kontaktrohres für 1,2 mm Drahtdurchmesser bewährt. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Drahtelektrode auf ihrem Weg von der Spule bis zum Lichtbogen an keiner Stelle scheuert und deren Oberfläche nicht beschädigt wird. Weiters ist zu beachten, dass Reinaluminium und Aluminium-Silizium-Legierungen weicher als Aluminium-Magnesium-Legierungen sind und deshalb bei ausschließlich geschobenen Drahtvorschubsystemen mit kürzeren Brennerschlauchpaketen verarbeitet werden sollen. Eine Länge von 3 m des Brennerschlauchpaketes soll in diesem Fall nicht überschritten werden, wogegen dieses bei AlMg-Legierungen eine Länge von 4 m erreichen darf. Bei mechanischen und automatischen Schweißprozessen (Roboter und Automaten) sollen Brennerschlauchpaketlängen von 1,5 bis 2 m nicht überschritten werden und im Interesse eines störungsfreien Ablaufes ist der Einsatz von gezogenen Drahtvorschubsystemen (Drahttrieb im Schweißbrenner) oder kombinierten Systemen (Push-Pull) zu empfehlen.

### Drahtförderung

Drahtvorschubsysteme für MSG-Schweißanlagen wurden zunächst für die Förderung von Stahldrähten entwickelt, ebenso wie meistens alle anderen Schweißbedingungen aus der Stahlschweißung abgeleitet wurden. Stahldrähte haben generell eine gute Gleitfähigkeit und eine hohe Knicksteiligkeit. Beides gilt für Aluminium nicht. Dies macht speziell die Förderung der weichen AlSi und der Reinaluminiumlegierungen sehr schwierig. Keinesfalls dürfen Aluminiumdrähte durch eine Drahtführungsseile gezogen werden, da es dadurch zu einer selbstverstärkenden Bremswirkung kommt.

Während es bei Drahtvorschubsystemen mit 7 kg (B300 oder S300) Spulen kaum notwendig ist den Draht durch eine Drahtführungsseile zu ziehen ist dies bei Großspulensystemen sehr oft der Fall. Um dieser Problematik zu begegnen wurden in den vergangenen 5 Jahren Abspulsysteme mit Push-Push Antrieb entwickelt. Bei derartigen Systemen wird entweder die Drahtspule angetrieben und direkt von einer Drahtfördereinheit übernommen oder der Draht aus unmittelbarer Nähe aus einer Fassspule gezogen. Die dem Drahtgebände direkt zugeordnete Drahtfördereinheit schiebt die Drahtelektrode in die Drahtführungsseile mit Überschuss (Push). Eine zweite Drahtfördereinheit befindet sich direkt am Schweißbrenner und gibt die Prozessdrahtgeschwindigkeit vor. Diese schiebt den Draht das letzte kurze Stück bis zur Stromkontaktöse (Push).



Zum Abspulen von B-400 40 kg Spulen sind spezielle Abspulvorrichtungen notwendig, während dies bei den Öko-Fässern nicht notwendig ist. Es ist jedoch auf eine möglichst kurze Verbindung des Fasses mit dem Drahtvorschubgerät (siehe Abbildung) zu achten. Bei manchen Legierungen kann es sinnvoll sein, die Abspulhaube mit einem Abspullinger zu versehen und Kugeln einzusetzen. Wir beraten Sie gerne.

Abbildung: Das Fass mit Abspulger und Kugeln

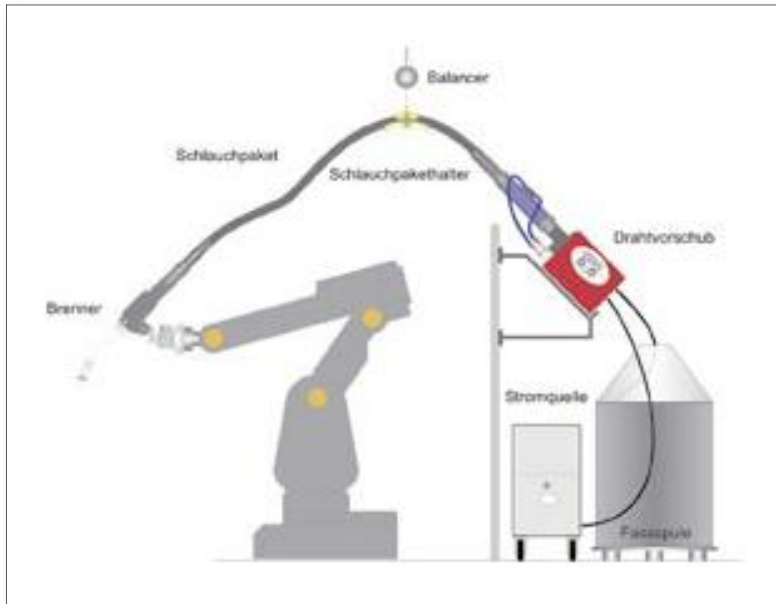


Abbildung: Vorgehensweise beim Zünden eines Lichtbogens

### Zünden des Lichtbogens

Aluminium hat eine wesentlich bessere elektrische Leitfähigkeit als Stahl. Dadurch ist es schwierig im Kurzschluss eine ausreichende ohmsche Erwärmung ( $I^2R$ ) des Drahtendes zu erhalten um das Schutzgas zu ionisieren und den Lichtbogen zu zünden. Zusätzlich sind die Oberflächen mit einer harten und isolierenden Aluminiumoxidschicht versehen welche vor dem Kurzschluss erst durchbrochen werden muss. Bei konventionellen MIG-Strömquellen konnte dieses Zündproblem oft nur durch speziell optimierte Drosseln teilweise gelöst werden. Durch die Fortschritte der elektronischen Stromquellen ist es möglich geworden den Zündstrom ausreichend schnell anzuheben zu lassen und anschließend rasch zu den Prozessparametern zurück zu kommen.

Seit einigen Jahren ist auch eine Lichtbogenzündung mit Drahtrückzug verfügbar. Dabei wird die Drahtelektrode langsam zum Werkstück gefördert bis der Kurzschluss entsteht. Anschließend wird die Elektrode einige Millimeter zurückgezogen und ein zunächst leistungsarmer Lichtbogen gezündet. In weiterer Folge wird der Lichtbogen rasch auf die gewünschten Prozessparameter gebracht. Dadurch bietet sich die Möglichkeit den MIG-Lichtbogen typischerweise spritzerfrei und innerhalb eines engen Zeitfensters zu zünden. Diese Art der Lichtbogenzündung ist jedoch auf einen Drahtantrieb in unmittelbarer Nähe des Schweißbrenners angewiesen um den Draht exakt bewegen zu können. Dies führt zu einem größeren und schwereren Brenner mit Nachteilen sowohl in teilmechanisierten als auch mechanisierten Anwendungen.

### Keine oder zu geringe Aufschmelzung am Nahtanfang und Füllen des Endkraters am Nahtende

Bedingt durch die hohe Wärmeleitfähigkeit von Aluminium ist es nach dem Zünden des Lichtbogens sehr schwierig ausreichend Wärme zuzuführen um den Grundwerkstoff aufzuschmelzen. In weiterer Folge des Schweißprozesses läuft die Wärme im Werkstück derart rasch vor, dass am Nahtende ungünstige Bedingungen für eine saubere Endkraterfüllung entstehen. Zu diesem Zweck wurden von den Stromquellenherstellern Stromprogramme in die Ablaufsteuerung integriert welche am Nahtanfang erhöhte und am Nahtende reduzierte Lichtbogenleistungen eingestellt werden können. Dies führt tatsächlich zu einer Verbesserung, wenngleich dennoch nicht mit Sicherheit Anfangsbrüche, Poren und Endkraterrisse vermieden werden können. Erhöhte Lichtbogenleistung geht beim MIG-Schweißen immer auch mit einem höheren Drahtangebot (Drahtvorschubgeschwindigkeit) bzw. am Nahtende mit geringerer Drahtzufuhr einher. Genau das umgekehrte Verhältnis wäre erforderlich.

Falls möglich sollten deshalb folgende zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden:

- Verwendung von Anlauf- und Auslaufblechen
- Zünden bzw. Beenden der Schweißnaht im Grundwerkstoff
- Vorwärmen
- Gekühlte Schweißvorrichtungen

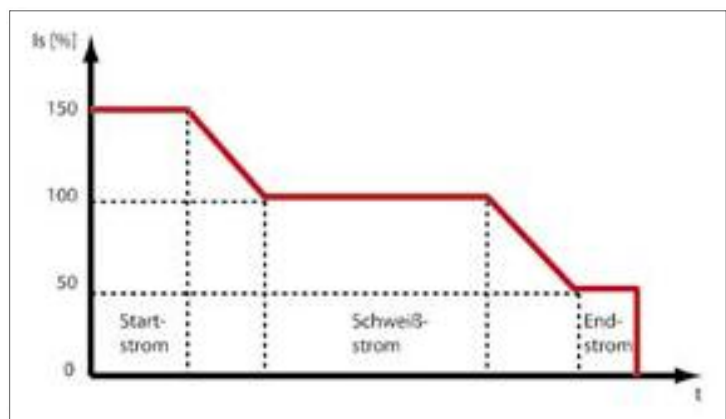


Abbildung: Stromprogramm mit erhöhtem Anfangs- und vermindertem Endstrom

### Schwarzer Niederschlag auf und neben der Naht

Bei vielen Anwendungen (Paletten für die chemische und Nahrungsmittelindustrie, Leitern, Gerüste) stört der schwarze Niederschlag. Dieser ist zwar relativ einfach durch Bürsten zu entfernen, erfolgt jedoch zusätzliche Arbeitsgänge die an schlecht zugänglichen Stellen oft nur manuell durchzuführen sind.

Der Niederschlag erfolgt aufgrund der Verdampfung und anschließenden Absetzung von Magnesiumoxid. Magnesium ist ein Legierungselement von Aluminium welches die Festigkeit des Werkstoffes beträchtlich erhöht und in der Regel unverzichtbar ist.

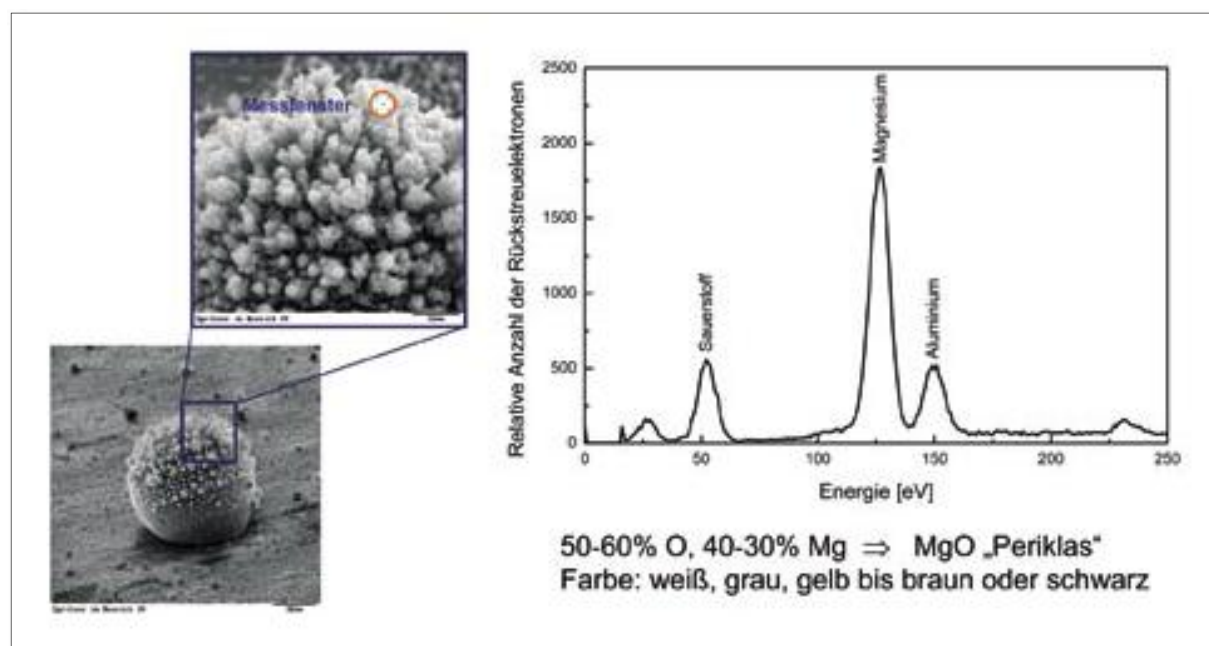


Abbildung: EDS-Analyse des schwarzen Niederschlags

Magnesiumoxid ist meist in weißer Form bekannt. Eine EDS-Analyse beseitigt jedoch jeden Zweifel dass es sich dabei um MgO handelt, welches neben seiner weißen Erscheinungsform auch Farben über grau, gelb, braun bis hin zu schwarz annehmen kann.

Folgende Möglichkeiten bestehen um die MgO-Bildung zu reduzieren:

- Einsatz von Drahtelektroden mit geringem oder ohne Mg-Gehalt (AlMg3, AlSi5)
- Optimierte Impulsparameter für möglichst geringe Metalldampfbildung
- Vermeidung schlechter Nahtzugänglichkeit und daraus folgender ungünstiger Brenneraustellung
- Sichere Schutzgasabdeckung um die Zufuhr von Sauerstoff gering zu halten

## Besonderheiten beim Schutzgasschweißen

### MIG-Schweißen

#### Drahttrieb an metallischen Kanten

Es muss sichergestellt sein, dass die Drahtelektrode während der Förderung von der Spule bis zum Kontaktrohr nicht über harte bzw. metallische Kanten gleitet und dadurch beschädigt wird. Neuralgische Punkte sind beispielsweise in den überstehenden schematischen Abbildungen dargestellt. Führungsrohre und Linienauflösen nahe den Verschiebrollen sind oft nicht präzise genug eingestellt, haben einen zu kleinen Durchmesser, oder weisen einen Grat auf. Ähnliches gilt für die



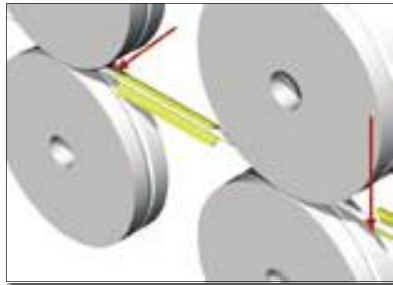


Abbildung: Schlechtes, ungenügendes Drahtdurchmesser

Kontaktrohre die in häufigen Fällen nicht für weiche Drähte geeignet sind. Der Bohrungsdurchmesser von Kontaktrohren muss für Aluminium um ca. 0,2 mm größer sein als bei Stahl. Kontaktrohre für Stahl sind meist um ca. 0,15-0,2 mm größer gebohrt als der Drahtdurchmesser, was somit bedeutet, dass Kontaktrohre für Aluminium um ca. 0,35-0,4 mm größer als der Durchmesser des Drahtes gebohrt sein müssen.

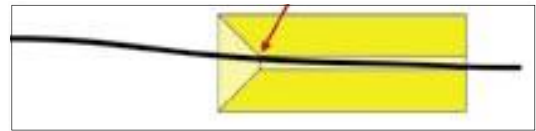


Abbildung: Drahtgröße im Kontaktrohr

### Falsch ausgeführte Drahtvorschubrollen

Drahtvorschubrollen für Aluminium und Kupferdrähte müssen vom Hersteller speziell für Aluminium hergestellt sein. Häufig wird eine sogenannte Halbroulnut oder ähnliche Nutform angeboten.

Die Abbildung zeigt häufige Fehler in Verbindung mit Drahtvorschubrollen. Der Anpressdruck der Drahtvorschubrollen muß so gering wie möglich eingestellt werden. Keinesfalls darf dieser bei auftretenden Vorschubstörungen erhöht werden, sondern es muß nach den Gründen für diese Störungen gesucht und diese behoben werden.

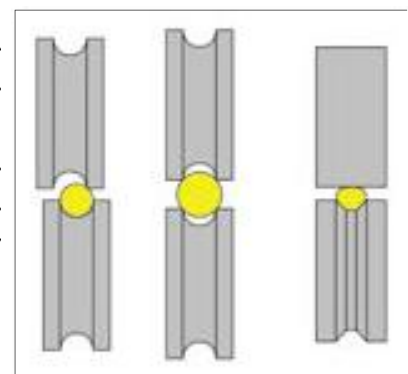


Abbildung: Unpassende Drahtvorschubrollen

### Feuchtigkeit und Undichtheit in den Gasschläuchen

$$A = \frac{P}{\delta} \cdot (p_{\text{innen}} - p_{\text{außen}})$$

$A$  ... Spezifische Wärmestromdichte  
 $P$  ... Permeabilitätskoeffizient  
 $\delta$  ... Dicke der Schlauchwand  
 $p$  ... Partialdruck der Komponente

Häufig ist festzustellen, dass die Ursache für Wasserstoffporosität im Zustand der Gasschläuche begründet ist. So kommt es vor, dass Gas- und Wasserschläuche vertauscht wurden und so Wasser in die Gasschläuche gelangt ist. Grundsätzlich sollen Gasschläuche nach einem derartigen Vorkommnis ausgetauscht werden, da ein vollständiges Trocknen nicht mehr möglich ist. Ein weiterer Grund für Feuchtigkeitsaufnahme liegt in porösem oder ungeeignetem Schlauchmaterial.

Gemäß dem Fick'schen Gesetz diffundieren Massen (Gase) auch durch sonst scheinbar dichte Materialien hindurch, falls innen ein geringerer Partialdruck der jeweiligen Komponente herrscht als außen. Feuchtigkeit in der Außenluft diffundiert somit durch eine Schlauchwand wenn sich innen trockenes Schutzgas befindet. Abhilfe kann lediglich durch eine möglichst geringe Permeabilität des Schlauchmaterials, durch kurze Schläuche und durch eine größere Wanddicke geschaffen werden.

### Verschmutzung

Die Drahtvorschubsysteme und speziell alle Teile die mit der Drahtelektrode in Kontakt kommen müssen sehr sauber gehalten werden. Die Verwendung von Schmiermitteln und von Schweißspray sind unbedingt zu vermeiden. Die Drahtspulen müssen immer abgedeckt werden und vor Staub und Feuchtigkeit geschützt sein.

### Reibung im Drahtfördersystem

Aluminium hat grundsätzlich sehr schlechte Gleiteigenschaften. Dennoch ist es beim MIG-Schweißen notwendig den Draht durch mehrere Meter lange Drahtführungsseelen zu fördern. Dem Werkstoff der Drahtführungsseelen kommt daher große Bedeutung zu. Bei geöffneten Spannebeln der Drahtvorschubrollen muss es möglich sein den Draht durch Festhalten mit 2 Fingern und mäßigem Kraftaufwand durch das gesamte Vorschubsystem hindurchzuschleusen. Einen guten Anhaltspunkt für die Reibung im Drahtfördersystem findet sich bei modernen Schweißstromquellen durch die Messung des Motorstroms des Vorschubmotors. Dieser soll kaum über dem Leerlaufwert liegen und soll regelmäßig überwacht werden.

### Zu langer Lichtbogen

Die Einstellung eines zu langen Lichtbogens führt häufig zur Aufnahme von großen Mengen an Atmosphäre in die Lichtbogenstule. Daraus resultiert Porosität und Oxideinschlüsse. Somit müssen die Schweißparameter stets so optimiert werden, dass ein möglichst kurzer Lichtbogen eingestellt ist. Dazu ist häufig viel Erfahrung und die Einflussnahme des Schweißanlagenherstellers nötig.

## WIG-Schweißen

Beim WIG-Schweißen ist zusätzlich darauf zu achten, dass auch angebrochene Packungen von Schweißstäben immer verschlossen bleiben und vor Feuchtigkeit und Staub geschützt sind. Beispielsweise ist es günstig, nur so viele Schweißstäbe zu entnehmen, wie man für die nächsten Stunden der Schweißfähigkeit benötigt. Unmittelbar vor der Verarbeitung kann der Schweißstab mit feiner Stahlwolle gereinigt werden. Der Schweißstab soll nicht mit bloßer Hand geführt werden und die verwendeten Handschuhe müssen trocken und fettfrei sein. Es ist darauf zu achten, dass das Ende des Schweißstabes solange in Schutzgasstrom des Schweißbrenners verbleibt bis es ausreichend abgekühlt ist um eine übermäßige Oxidation zu vermeiden. Die obestehenden Richtlinien bezüglich Feuchtigkeit und Unreinheit in den Gasschläuchen gelten sinngemäß ebenso für das WIG-Schweißen.

## Vorwärmen und Zwischenlagentemperatur

Vorwärmen kann aus folgenden Gründen angewendet werden:

- um die Feuchtigkeit vor dem Schweißen zu entfernen, z. B. beim Schweißen auf Baustellen;
- um Unregelmäßigkeiten beim Kaltstart zu vermeiden;
- um einen Wärmeausgleich beim Schweißen sehr großer Dickenunterschiede zu erzielen;
- um die Auswirkungen der Abkühlungen beim Schweißen dicker Teile zu vermindern.

Die Zeitdauer der Temperaturbeaufschlagung muss so kurz wie möglich sein, um nachteilige Auswirkungen zu vermeiden. Eine zu hohe Vorwärmtemperatur kann die Festigkeit der Verbindung negativ beeinflussen. Durch die Verwendung von Argon-Helium-Gemischen oder Helium anstelle von Argon kann die Vorwärmtemperatur möglicherweise reduziert werden, oder es kann fallweise auf das Vorwärmen vollständig verzichtet werden.

Grundwerkstoff	Maximale Vorwärmtemperatur [°C]	Maximale Zwischenlagentemperatur [°C]
Nichtaustbare Legierungen (Max. 30% Si, 0,5% AlSi-Guss; AlMg-Guss)	170	170
Austbare Legierungen (Max. AlSiMg-Guss; AlSiCu-Guss)	170	170
Ti-8%	150	20

Die Zwischenlagentemperatur sollte aus folgenden Gründen überwacht werden:

- um einer Verminderung der mechanischen Eigenschaften durch Überhitzung vorzubeugen;
- um die Größe der Erweichungszone in der WLZ zu vermindern;
- um das Ausmaß der Ausscheidungen in der WLZ, z. B. durch Überalterung, zu vermindern.

Es wird empfohlen, dass die Temperatur der Verbindung bei Beginn jeder der aufeinanderfolgenden Schweißraupen die entsprechenden Werte, die in der Tabelle aufgeführt sind, nicht überschreite.

## Anodisieren (Eloxieren)

Beim Anodisieren kann es zu einer Verfärbung der Schweißnaht im Vergleich zum Grundwerkstoff kommen. Silizium führt zu grauen bis schwarzen Schweißnähten und Mangan zu einer leicht gelblichen Verfärbung. Somit sind nur die Schweißzusätze AlMg3, AlMg5, sowie die Reinaluminiumlegierungen Al99,7 und Al99,5Ti für das Eloxieren einzusetzen. Es soll auf eine möglichst gleiche Legierung des Schweißzusatzes im Vergleich zum Grundwerkstoff geachtet werden. Eine Längungsprüfung der jeweils verwendeten Charge vor der Verfügbarkeit ist bei farbkritischen Anwendungen sehr zu empfehlen.

**Schweißnahtfehler und ihre Vermeidung**

Fehler	Hauptgründe	Verbesserung und Gegenmaßnahmen
Porosität	Verunreinigter Zusatzwerkstoff, Feuchtigkeit an der Oberfläche des Zusatzwerkstoffes.	Verbessern der Sauberkeit des Zusatzwerkstoffes und der Umgebung Schweißen oberhalb des Taupunktes
	Verunreinigter Schweißnahtbereich, Feuchtigkeit an der Oberfläche der Verbindung.	Reinigen und Trocknen des Schweißnahtbereichs, z. B. Vorwärmen. Sicherstellen, dass sich der Werkstoff vor dem Schweißen auf Raumtemperatur befindet..
	Ungünstige Schweißpositionen.	Wenn möglich, Schweißpositionen PA, FB, PF verwenden.
	Zeit für die Lufgasung zu kurz.	Erhöhen der Wärmebringung und/oder Vorwärmen. Ändern der Nahtvorbereitung.
	Unsauberes Schutzgas, infolge Leck im Kühlwasser- oder Gasversorgungssystem.	Beseitigen des Lecks.
	Unsauberes Schutzgas, infolge Leckungen von Feuchtigkeit. Ungünstige Schlauchqualität..	Verwenden von Gasen in Übereinstimmung mit EN 439. Sicherstellen der geeigneten Schlauchqualität, ersetzen von brüchigen Schläuchen und die Schlauchlänge so kurz wie möglich halten.
	Nichtlaminare Gasströmung infolge zu großer oder zu kleiner Durchflussgeschwindigkeit sowie durch Luftzug.	Optimierung der Einstellung für die Gasströmung. Vermeiden von Luftzug.
	Lichtbogenstabilität zu hoch. Brennerstellwinkel zu klein.	Optimieren der Lichtbogenstabilität. Richtiger Brennerstellwinkel anwenden
Oxideinschlüsse	Bildung von Oxiden im Lichtbogen oder im Schweißbad durch Aufnahme von Sauerstoff infolge einer unterbrochenen oder ungenügenden Gasströmung.	Siehe Porosität. Optimierung der Einstellung der Gasströmung, vermeiden von Zugluft..
	Unzureichende Reinigung des Nahtbereiches infolge der vorübergehenden Schweißraupen.	Sicherstellen, dass der Nahtbereich und die vorhergehenden Schweißraupen gereinigt werden.
	Sauerstoffüberschuss in der Vorwärmflamme.	Optimierung der Flamme.
	Falsche Handhabung der Schweißstäbe beim MIG-Schweißen.	Kein Herausziehen des Schweißstabendes aus dem Schutzgasbereich.
Risse	Einstellungseigenschaften des Schweißbades	Auswahl eines Zusatzwerkstoffes, um eine optimale Schweißbarkeit sicherzustellen. Den Endkrater auf das Auslaublich legen, oder mit einem Kraterfüllprogramm arbeiten
	innere Spannungen	Wahl einer Schweißfolge, die die Eigenspannungen und den Verzug mindert..
	Wiederaufschmelzen von Bestandteilen mit niedrigem Schmelzpunkt, die sich an den Kongruenzen in der WLZ ausscheiden.	Vermindern der Wärmebringung und der Zwischenlagentemperatur. Vermindern der Rissanfälligkeit durch Einsatz einer Lin-Bauart-Schweißtechnik. Verminderung der inneren Spannungen. Auswählen eines geeigneten Zusatzwerkstoffes (z. B. 4xxx-Reihe).

Wolframeinschlüsse	Wolframeinschlüsse infolge überhöhter Stromstärke oder durch Eintauchen in das Schweißbad.	Vermindern der Stromstärke oder Auswahl eines größeren Elektrodendurchmessers. Die Spitze der Wolframelektrode nicht in das Schweißbad eintauchen.
Kupfereinschlüsse	Kupfereinschlüsse beim MIG-Schweißen infolge Überbitzung.	Auswählen eines Brenners und einer Kontaktspitze, die für die Stromstärke geeignet sind.
	Aufnahme von Kupfer aus der Unterlage.	Ersetzen der Schweißbadsicherung aus Kupfer, falls notwendig, durch solche aus nichtrostendem Stahl, Aluminium oder Keramik.

**Weiterführende Literatur**

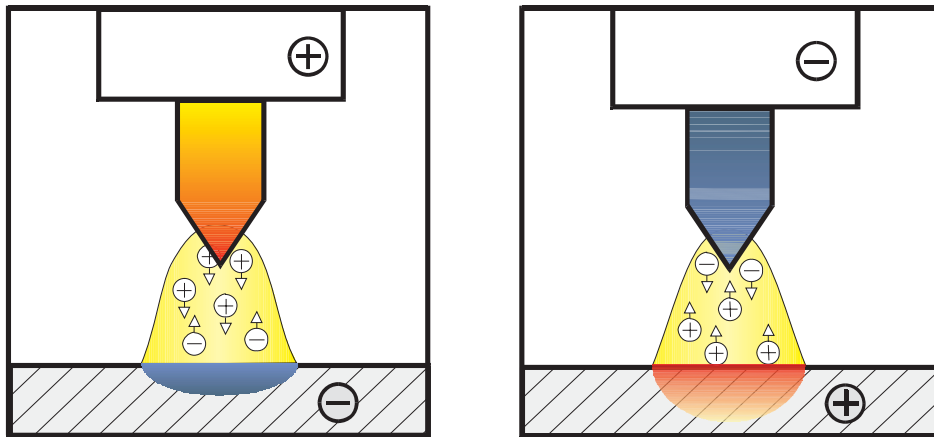
1. Schweiß- und Hartlötlösungen von Aluminiumwerkstoffen, Fachbeiräte Schweißtechnik, Band 107, L. Lohrer, 1990, ISBN: 3 87 56 477 5
2. Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure, Teil 4: Geschweißte Aluminiumkonstruktionen, Fachbeiräte Schweißtechnik, Band 501/A, Neumann, 1992, ISBN: 3 87 65 434 7
3. DVS-Merkblatt M 078 E 1.1 (Ausgabe 7/ 99), „Die Troggaschweißen von Edelmetallen und Aluminium“
4. DVS-Merkblatt M 07 E (Ausgabe 4/ 99), „MIG-Gasgeschweißverfahren Aluminium“
5. DVS-Merkblatt M 0933 (Ausgabe 3/1991) „MIG-Schweißen von Aluminium – Werkstoffe, Schweißparameter“
6. DVS-Merkblatt M 0931 (Ausgabe 4/1991) „MIG-Schweißen von Aluminium – Metallfaserfällische Grundlagen“

# VERFAHREN

## WIG-Wechselstromschweißung

Bei der WIG-Schweißung von Aluminium und dessen Legierungen wird üblicherweise mit Wechselstrom (AC=Alternating Current) gearbeitet. Dies ist notwendig, da über dem Aluminiumgrundmaterial (Schmelzpunkt ca. 550 - 660° C) eine höherschmelzende Oxidschicht (Schmelztemperatur ca. 2040 - 2100°C) liegt.

Während der Plushalbperiode des Wechselstromes (bezogen auf den Schweißbrenner) wird diese entfernt, um in der darauffolgenden Minusphase eine einwandfreie Aufschmelzung des Grundmaterials zu ermöglichen.



Dieses periodische Wechseln des Schweißstromes stellt an die Stromquelle zwei Anforderungen: Einerseits ein sicheres Wiedertzünden des Lichtbogens nach dem Nulldurchgang, und andererseits sollte die dabei auftretende Schallemission der Lichtbogensäule möglichst gering sein.

Vorteile:

- kontrollierte Durchschweißung von einer Seite ohne Badsicherung
- gute Positionschweißbarkeit
- sehr gutes Nahtaussehen
- keine Nacharbeit



**TECHNOLOGIE CENTER**



Nachteile:

- geringe Schweißgeschwindigkeit
- schwierige Wurzelerfassung bei Kehlnähten
- Vorwärmung ab 8 mm Wanddicke empfehlenswert
- hoher Verzug
- relativ breite Erweichungszonen

### **WIG-Gleichstrom-Heliumschweißung**

Das WIG-Gleichstromschweißen mit negativ gepolter Elektrode wurde Anfang der 40iger Jahre erstmalig in den USA unter Helium als Schutzgas patentiert.

Durch die hohe Wärmekonzentration (70% der Lichtbogenenergie sind auf das Werkstück konzentriert) entsteht sehr schnell ein kleines, dünnflüssiges Schmelzbad, aus dem die Oxide durch Oberflächenspannung herausgedrängt werden. Die Nahtoberfläche hat daher meist ein stumpfgraues Aussehen. Das WIG-Schweißen mit Gleichstrom erfolgt meist mechanisiert, es ist geeignet zum einseitigen Schweißen von I-Nähten oder X-Nähten bis 25mm in 2 Lagen

Vorteile:

- hohe Schweißgeschwindigkeit
- geringe Nahtüberhöhung
- geringer Verzug
- unerhebliche Entfestigung in der WEZ da geringer Wärmeeintrag
- geringe Poren und Bindefehlergefahr
- tiefer Einbrand

Nachteile:

- Lichtbogenlänge muß exakt eingehalten werden
- genaue Nahtvorbereitung



**TECHNOLOGIE CENTER**

## **Aluminium Elektrohandschweißen**

Das bei Aluminium erforderliche Flußmittel und lichtbogenstabilisierende Zusätze bilden die Umhüllung der abschmelzenden Stabelektrode. Geschweißt wird mit Gleichstrom, das Werkstück wird an den Minuspol angeschlossen.

Da die mit Elektrohandschweißen hergestellten Nähte sehr schnell erstarren, sind sie stark mit Gaseinschlüssen durchsetzt und haben so eine wesentliche schlechtere Qualität als die mit Schutzgasschweißen erzielten Nähte. Das Elektrohandschweißen hat daher für Schweißkonstruktionen keinerlei Bedeutung.

Es wird zur Reparatur von Gußstücken aus AlSi-Legierungen angewendet. Elektroden sind praktisch nur als S-AlSi 12 und S-AlSi 5 verfügbar.

Welches Schweißverfahren bei der Aluminiumschweißung zum Einsatz kommt wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

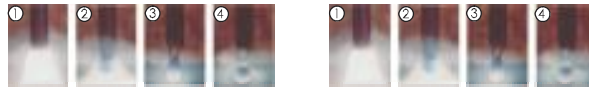
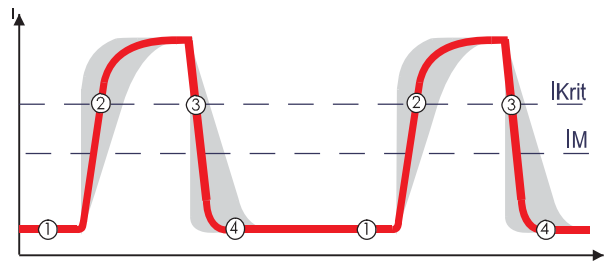
- Qualitätsanforderungen
- Wirtschaftlichkeit
- Schweißposition
- Werkstückart
- Materialstärke

## **MIG-Schweißung**

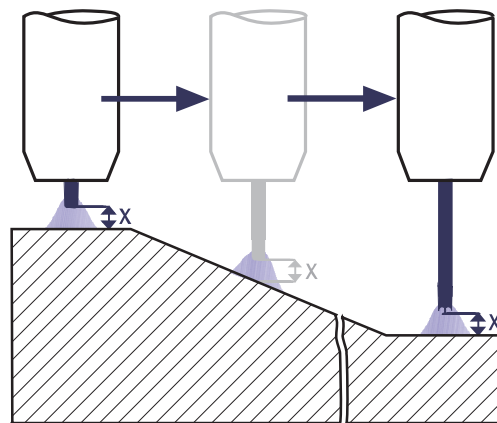
Hier kommt vorwiegend die **Impulslichtbogentechnik** zum Einsatz. Bei richtiger Parameterwahl wird genau ein Tropfen Zusatzdraht pro Impuls von der Drahtelektrode abgelöst. Das Ergebnis ist eine nahezu spritzerfreie Schweißung.

Untersuchungen haben ergeben, daß für unterschiedliche Zusatzwerkstoffe und Schutzgase differenzierte Impulsformen das Schweißergebnis deutlich verbessern. Gerade im Bereich Aluminium, wo die Materialstärken immer geringer werden, besteht die zentrale Forderung daß die Stromquelle im unteren Leistungsbereich (ca. 30A) einen besonders stabilen Lichtbogen ergibt. Ein niedrig einstellbarer Grundstrom ist dabei ebenso wichtig wie eine schnell reagierende Lichtbogenlängenregelung, d.h. bei Veränderung der freien Drahtlänge muß die Länge des Lichtbogen konstant bleiben.





Variable Impulsform



Lichtbogenlängenregelung

Vorteile im Vergleich zu TIG:

- dünne Materialstärken verschweißbar (0,8 mm)
- Einsatz von dickeren Drahtdurchmessern (bessere Fördereigenschaften)
- gute Positionsschweißbarkeit
- geringe Wärmeeinbringung
- wenig Verzug
- voll mechanisierbar

Nachteile im Vergleich zu TIG:

- höhere Porenhäufigkeit
- Durchschweißung in Position PA (Wannenposition) bei dickeren Materialstärken ohne Badsicherung eher schwierig
- Überschweißen von Heftstellen kann zu Schweißfehlern führen



**TECHNOLOGIE CENTER**

# BESONDERHEITEN BEIM VERSCHWEISSEN VON ALUMINIUMDRÄHTEN

## Brennerrüstung

- Für die Verarbeitung von weichen Aluminiumdrähten sind Schweißbrenner mit Kunststoffseele bzw. Teflonseele und entsprechenden Seeleneinsätzen im Rohrbogen notwendig.
- Für Aluminiumdrähte müssen Kontaktrohre des jeweils nächst größeren Durchmessers verwendet werden.
- Für Reinaluminium oder Si-legierte Drähte sind Push-Pull Systeme von Vorteil

## Drahtförderung:

Im Vergleich zu Stahldrähten sind Aludrähte sehr weich. Daher sind besondere Anforderungen an die Drahtförderung gestellt. Der Drahttransport muß abriebfrei erfolgen.



Ein Vier-Rollen Antrieb mit geeigneten Vorschubrollen bringt selbst bei geringen Anpreßkräften eine ausreichende Kraft auf den zu fördernden Draht. Üblicherweise werden glatte, polierte Halbrundnut-Rollen eingesetzt.



→ **Praxistipp zur Druckeinstellung der Anpreßrollen**

Vordere Anpreßrollen mehr Druck als hintere Anpreßrollen.

Bei durch Hand gestoppten Draht sollen die Rollen durchrutschen! Das Sprungmaß des Drahtes soll 800mm nicht unterschreiten.

**MERKE:**

Wenn weniger als 800mm

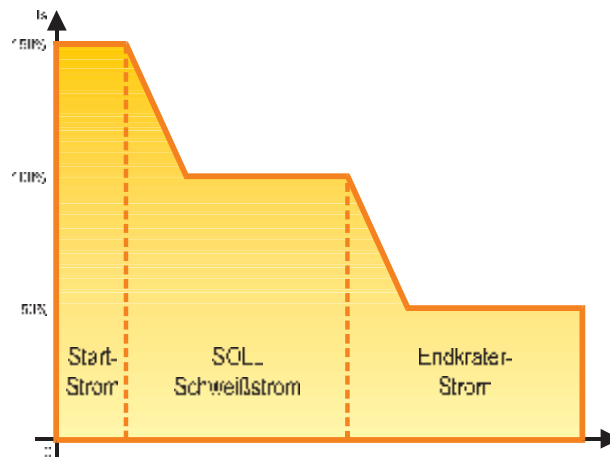
- Reibung in der Drahtführungsseele zu groß (F2 Motorstrombelastungstest)
- Reibung in den Antriebsrollen zu groß
- Reibung im Kontaktrohr zu groß

oder

- Antriebsrollen laufen versetzt
- Anpreßrollen zu viel Anpreßdruck, dadurch Deformierung des Drahtes.



## Schweißstart und Schweißende beim Aluminiumschweißen



Schweißprogramm zur Vermeidung von Kaltstellen bei Aluminium am Nahtbeginn

Aluminium hat nicht nur eine geringe Dichte, sondern ist auch ein guter Wärmeleiter. Durch diese Eigenschaft kommt es bei Schweißbeginn zu Kaltstellen. Deshalb wird zu Schweißbeginn mittels einer durch die Stromquelle unterstützten Funktion eine höhere Schweißleistung abgerufen. Dadurch wird das Grundmaterial bereits während der Zündphase aufgeschmolzen. Ist genügend Wärme ins Schmelzbad eingebracht, wird auf die nominelle Schweißleistung abgesenkt. Wenn gegen Ende der Schweißnaht die Wärme vorläuft und Gefahr für das "Durchfallen" besteht, wird auf eine geringere Schweißleistung abgesenkt.

→ **Praxistipp:** Einstellwerte Start/End sind **blechstärkenabhängig**. Als Universalparameter hat sich für I-S 135% mit einer Slopezeit von 1,0 sec. und I-E 50% bewährt.

Ist eine solche Funktion nicht abrufbar, müssen lt. DVS 1608 Vor- und Nachlaufbleche verwendet werden.

Bei Nahtunterbrechungen wird die Schweißgeschwindigkeit erhöht damit sich der Nahtauslauf keilförmig verjüngt.



### **Problematik beim Zünden:**

In der Zündphase tritt ein Kurzschluß auf. Bei einer konventionellen Zündung kann nun während dieses Kurzschlusses die Stromstärke auf bis zu 700 A steigen. Durch diese hohe Stromstärke, wird nun der Kurzschluß explosionsartig aufgelöst. Das Ergebnis sind Spritzer im Anfangsbereich der Schweißnaht.

Durch die Option Spatter Free Ignition (SFI) kann dies vermieden werden.

### **Vorteile der konventionellen Zündung**

- Kein Push-Pull-Antrieb notwendig
- Bei guter Zündung kurze Zündzeiten

### **Nachteile:**

- Keine reproduzierbare Zündung
- Spritzerauswurf
- Je dicker die Drähte um so höher der Zündstrom
- Enorme Kontaktrohrbelastung durch hohen Zündstrom (höchster Strom im ganzen Prozess); verringerte Kontaktrohrstandzeit

Die Stromquelle muß den zum Aufbrechen einer Kurzschlußbrücke nötigen Strom liefern können. Dieser liegt generell höher als der Pulsstrom!

### **OPTION SPATTER FREE IGNITION.**

Die Option Spatter Free Ignition (SFI) ermöglicht eine praktisch spritzerfreie Zündung des Lichtbogens. Zu Schweißbeginn wird der Draht langsam bis zur Werkstückoberfläche gefördert und bei Berührung gestoppt. Anschließend wird der Schweißstrom aktiviert und der Draht zurückgezogen. Ist die korrekte Lichtbogenlänge erreicht, wird der Draht mit der für den Schweißprozeß vorgesehenen Drahtgeschwindigkeit gefördert.

Zur Aktivierung der Option SFI gehen Sie wie folgt vor:

- SFI (Parameter Fdc - Anschleichen) im Setup-Menü anwählen
- Aus dem Setup-Menü aussteigen
- Schweißprogramm auswählen



Hinweis!

Die Freischaltung der Option Spatter Free Ignition ist nur mit Software möglich. Zur Zeit werden nur Aluminiumdrähte mit 1,0 mm, 1,2 mm und 1,6 mm sowie Fronius Push-Pull Drahtvorschubsysteme (Robacta Drive und Pull-MIG) unterstützt.

**Vorteile der Spatter Free Zündung**

- Praktisch spritzerfreie Zündung
- Keine Kontaktrohrbelastung durch Zündstrom (erhöhte Kontaktrohrstandzeit)
- 100% reproduzierbare Zündung
- Auch bei dicken Drähten problemlose Zündung
- Durch Push-Pull-Antrieb verbesserte Drahtförderung
- Der maximale Kurzschlußstrom, den die Stromquelle liefern muß, kann kleiner sein als der Pulsstrom (geringer als 50A, konventionell ca. 500A)

**Vergleich Zündung**



konventionell



Spatter Free Ignition



## OPTION SYNCHRO PULS

Die Option SynchroPuls wird für Schweißverbindungen mit Aluminiumlegierungen empfohlen, deren Schweißnähte ein geschupptes Aussehen erhalten sollen (vor allem im mechanisierten und automatisierten Bereich).

### Funktionsweise:

Die Option SynchroPuls beschreibt einen Impulslichtbogen, welcher zwischen zwei Leistungspunkten einer Kennlinie wechselt.

Die beiden Leistungspunkte ergeben sich aus einer positiven und negativen Änderung der Drahtvorschubgeschwindigkeit ( $v_D$ ), um einen im Setup-Menü einstellbaren Wert  $dFd$  (0 bis 2 m/min)

z.B:

$v_D = 10,0$  m/min und  
 $dFd = 1,5$  m/min

=> Leistungspunkt 1: = 8,5 m/min  
Leistungspunkt 2: = 11,5 m/min

Die Frequenz  $F$  (0,5 bis 5 Hz) bestimmt, wie oft zwischen den Leistungspunkten gewechselt wird und ist ebenfalls im Setup-Menü angegeben.

Wird die Frequenz  $F = 0$  gestellt, ist die Option SynchroPuls abgeschaltet.

Die Lichtbogenlängenkorrektur für den niedrigeren Leistungspunkt erfolgt über den Parameter Lichtbogenlängenkorrektur (z.B. am Jobmasterbrenner, Vorschub, Fernregler, ...)

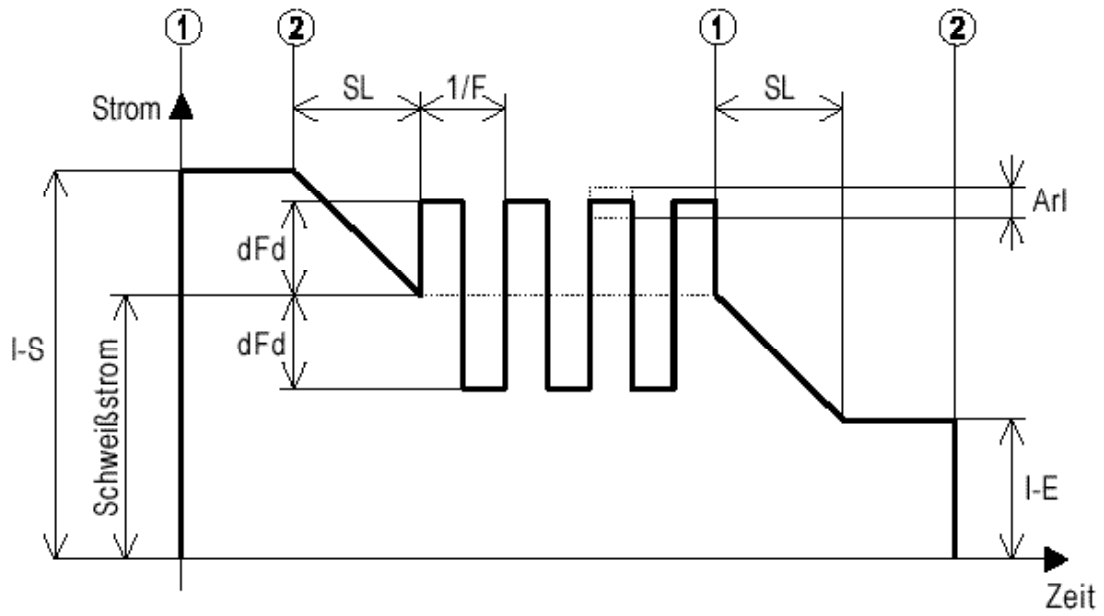
Die Lichtbogenlängenkorrektur für den höheren Leistungspunkt ist hingegen im Setup-Menü, über den Parameter "Arl", vorzunehmen.

Die nachfolgend dargestellte Grafik zeigt die Funktionsweise von SynchroPuls, bei Anwendung an der Betriebsart "Schweißstart Aluminium" (I-S = Startstrom, SL = Slope, I-E = Endstrom):



**TECHNOLOGIE CENTER**

- ① → Drücken und Halten der Brenntaste
- ② ← Loslassen der Brenntaste



**TECHNOLOGIE CENTER**

# NAHTVORBEREITUNG

## Bearbeitung

Beim Verarbeiten und Schweißen ist größte Sauberkeit erforderlich, da sonst die Korrosionsbeständigkeit gefährdet ist und die Schweißnähte zur Porenbildung neigen. Aluminium sollte abgeschlossen von der Bearbeitung von Stahl verarbeitet werden.

Alle Werkzeuge die für Stahl verwendet werden, dürfen nicht für Aluminium verwendet werden. Die Verarbeitung und Lagerung sollte staubfrei, trocken und frei von Spritzwasser erfolgen. Saubere Kleidung und Handschuhe sind ebenso notwendig.

Aluminium ist sehr kerbschlagempfindlich (auch bei statischer Belastung) und sollte daher nicht mit einer Reißnadel angerissen oder mit Schlagstempel gestempelt werden. Zum Anzeichnen verwendet man üblicherweise einen Bleistift. Das Richten von Aluminium durch Pressen, Hämmern oder Flammrichten ist möglich, jedoch muß auf obige Feststellungen geachtet werden. Flammrichten sollte überdies nur nach Rücksprache mit dem Hersteller erfolgen. Sämtliche, vorhin genannten Punkte, gelten speziell auch für die Schweißnahtvorbereitung. Ist kein Wurzelspalt vorgesehen, sollte die Wurzelenseite angefaßt werden.

Beim Schweißen mit Spalt sammeln sich die Oxydeinschlüsse in der Mitte, nachfolgendes Auskreuzen und Gegenschweißen, oder eine Badsicherung als Unterlage sind sinnvoll.

→ **Praxistipp:** Vorher den Nahtbereich bürsten (CrNi-Bürste) und/oder Entfetten (Aceton-Alkohol)

## Nahtformen

Die verwendeten Nahtformen werden vor allem durch die Materialdicke und die Gestaltung der Konstruktion bestimmt. Für die vollmechanisierte Schweißung sind Strangpreßprofile mit mitgepreßter Badstütze üblich. Für wasserdichte Y- oder U-Nähte sollte die Wurzellage WIG und der Rest MIG ausgefüllt werden.



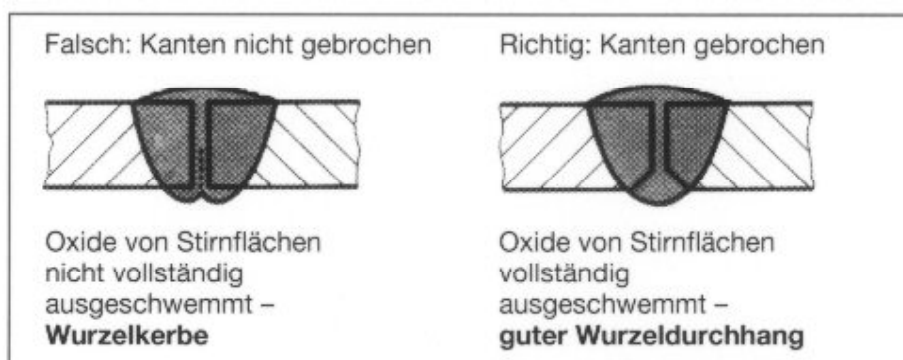
Werkstückdicke mm	Fugenform	Draht Ø mm	Schweißstrom A	Schweißgeschw. cm/min	Argonverbrauch l/min	Lagen- zahl
2	II	0,8	110	80	12	1
3	II	1,0	130	75	12	1
4	II	1,2	160	70	15	1
5	II	1,2	180	70	15	1
6	II	1,6	200	65	15	1
8	V	1,6	240	60	16	2
10	V	1,6	260	60	16	2
12	V	1,6	280	55	18	2
16	V	1,6	300	50	20	3
20	V	1,6	320	50	20	3

Richtwerte für Handschweißen:

Die Werte werden durch die Schutzgasart, den Werkstoff und die Lichtbogenart beeinflusst.

### Einstellhinweise

Nahtvorbereitung:



- Vermeidung von Wurzelkerben durch wurzelseitiges Brechen der Kanten  
Oxyde in Aluminium verhalten sich wie Schlacke im Stahl und sind genauso zu meiden.
- Zum Kantenanarbeiten nur Formfräser verwenden, auch für Wurzelanarbeitung der Gegenlage KEINE kunststoffgebundenen Schleifscheiben verwenden → POROSITÄTSFEHLER !!
- Mit ACETON und CrNi Handbürsten reinigen



**TECHNOLOGIE CENTER**

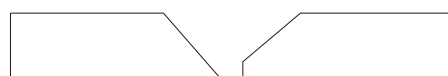


**Tafel 1: Fugenformen für das WIG- und MIG-Schweißen**

Werkstoff-Dicke: s	Ausführung	Benennung	Symbol	Fugenform Schnitt	Maße			Schweißverfahren
					$\alpha \cdot \beta$ Grad	Spalt b	Steghöhe c	
bis 2	einseitig	Bördelnaht			—	—	—	WIG
bis 4	einseitig	Sirnflachnaht			—	—	—	MIG WIG
bis 4	einseitig	I-Naht			—	0 bis 1	—	WIG
2 bis 4					—	0 bis 2	—	MIG
4 bis 16					beidseitig	—	0 bis 3	—
4 bis 10	einseitig oder beidseitig	V-Naht			90 bis 110	0 bis 1	bis 2	WIG
6 bis 20					50 bis 70	0 bis 2		MIG
über 6	einseitig	Y-Naht			15 bis 30	3 bis 7	2 bis 4	MIG
über 10	einseitig oder beidseitig	Y-Naht			60 bis 70	0 bis 4	~ 3	WIG
					50 bis 70		2 bis 8	MIG
über 10	einseitig	U-Naht			bis 10	0 bis 1	2 bis 4	MIG
über 10	beidseitig	DY-Naht			50 bis 70	0 bis 2	3 bis 4	MIG

Beachten Sie bitte die größeren Öffnungswinkel gegenüber Stahl!

Bei Reinaluminium ist durch Schmelzpunkt die Wurzelschweißung schwerer beherrschbar, Lichtbogen auf Steg halten !!

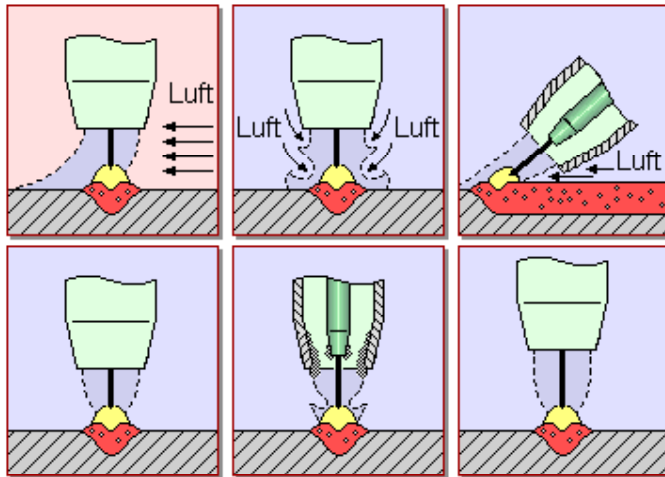


**TECHNOLOGIE CENTER**

# SCHWEISSNAHTFEHLER

## Folgen mangelhaften Gasschutzes

Eine mangelhafte Schutzgasabdeckung des Schweißbades führt zu Reaktionen Luft-Schweißbad, und zu **porösen Schweißnähten** mit ungenügender Stabilität.



Fehler:

Zugluft (z. Bsp. auf Baustellen) stört die Schutzgasabdeckung

Folge:

ungenügender Gasschutz, Porenbildung in der Schweißnaht

Hauptsächliche Porenursache bei Aluminium ist das Einbringen von Wasserstoff und Stickstoff (ab 0,5 % N<sub>2</sub> => große Porenanfälligkeit).

## **Wasserstoffquellen**

- feuchter oder verschmutzter Nahtbereich
- feuchter oder verschmutzter Zusatzwerkstoff
- Wasserstoff im Zusatzwerkstoff
- undichtes Brennersystem
- eingewirbelte Luft
- unruhiger Lichtbogen
- feuchtes Schutzgas infolge Verwendung falscher Schlauchqualität bzw. undichtes System

## Bindefehler

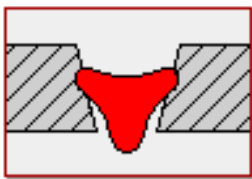
Nur der Lichtbogen (nicht das Schweißbad) besitzt ausreichende Energie, um die Fugenfläche aufzuschmelzen und eine stabile Verbindung zu erzeugen.

### Weitere Einflußkriterien

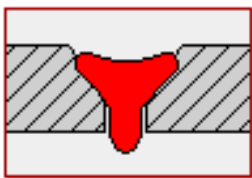
- Wärmeeinbringung
- elektrische Leitfähigkeit der Drahtelektrode
- Charakteristik im Regelverhalten der Stromquelle
- Lichtbogenart
- Schutzgaszusammensetzung

Um Bindefehler zu vermeiden, muß daher die zu schweißende Naht fachgerecht vorbereitet und bearbeitet werden.

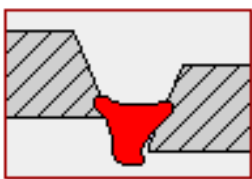
Folgende Fehler können dabei gemacht werden:



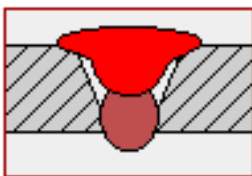
Öffnungswinkel zu klein  
Richtig: 60° bis 70°



Steghöhe zu groß  
Stegabstand zu groß



Kantenversatz zu groß



Überschweißen stark überwölbter Raupen  
Richtig: Vor dem Überschweißen untere Raupe muldenförmig ausschleifen



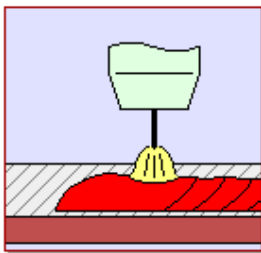
**TECHNOLOGIE CENTER**



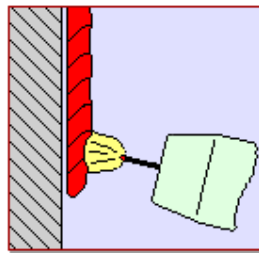
Ansatzbindefehler beim Schweißen mit geringer Lichtbogenleistung, Ansatzstelle nicht geschliffen, zu wenig überlappend geschweißt.

Richtig: Nahtende schleifen, vor dem Nahtende zünden und weiterschweißen.

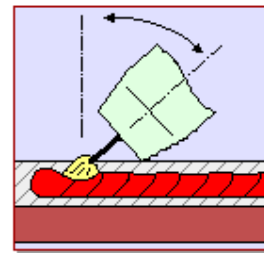
Es kann zu Bindefehlern kommen, wenn der Lichtbogen durch das vorlaufende Schweißbad die Nahtflanken oder die bereits geschweißte Lage nicht erreicht.



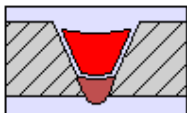
Schweißgeschwindigkeit zu gering oder Abschmelzleistung zu groß. Nicht zu dicke Einzelraupen schweißen !



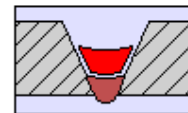
Schweißen in der Position PG (fallend). Die Abschmelzleistung muß begrenzt werden. Nicht zu langsam schweißen !



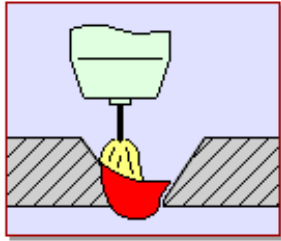
Die Brennerhaltung ist zu stark stechend.



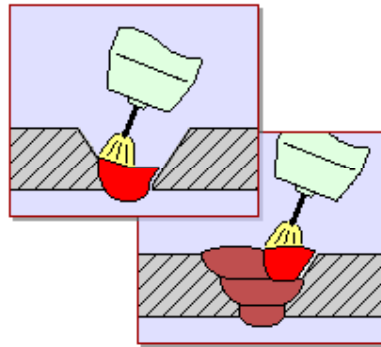
Poren bleiben im Schmelzbad. Bei Steignaht (PF) bessere Ausgasung!



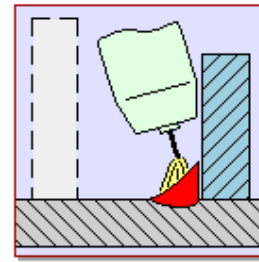
Bei fehlerhafter Brennerhaltung schmilzt der Lichtbogen die Nahtflanken nur einseitig auf. Es kommt zu Bindefehlern und somit zu instabilen Verbindungen.



Der Schweißbrenner wird außermittig gehalten.



Der Schweißbrenner wird zu einer Nahtflanke hin zu stark geneigt.



Fehlerhafte Brennerhaltung durch eingeschränkte Zugänglichkeit

### Oxydeinschlüsse

Für die Lichtbogenstabilität ist eine geringe Menge an Oxyden von Nöten, ein Zuviel bewirkt allerdings Oxydeinschlüsse, welche bei dynamischer Belastung zum Ausgangspunkt von Rissen werden.

### Risse

Zur Vermeidung von Heißrissen wird in der Regel mit überlegiertem Zusatzwerkstoff geschweißt. Endkraterrisse entstehen durch das große Schrumpfmaß von Aluminium. Diese lassen sich durch ein Auslaufblech oder ein Endkraterfüllprogramm (Stromquelle muß dafür geeignet sein) vermeiden.

Saubere Nahtvorbereitung (entgraten, entfetten) helfen ebenfalls bei der Vermeidung von Rissen.

Die relative Rißneigung eines Werkstoffes wird durch den Zusatzwerkstoff beeinflusst. Durch geeignete Grund- und Zusatzwerkstoff-Kombinationen kann die Rißneigung verringert werden.

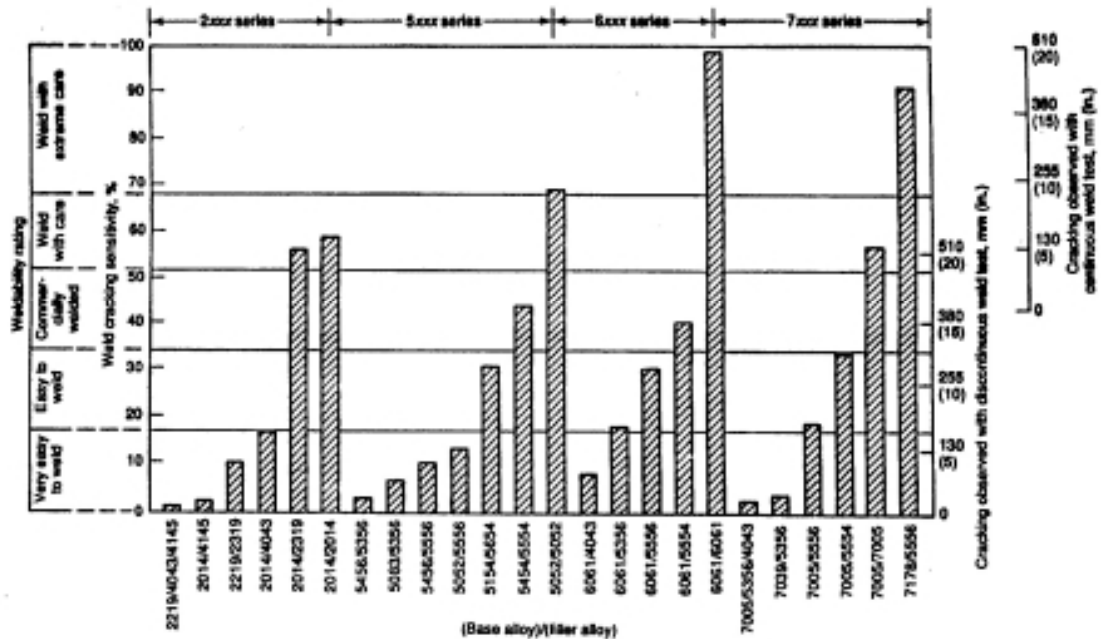


Bild 3: Relative Rißneigung ausgewählter Grund-/Zusatzwerkstoff-Kombinationen von Aluminium-Knetwerkstoffen

## Vorwärmtable

### Vorwärmen

Vorwärmen ist dann erforderlich, wenn aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums kein ausreichender Einbrand zu erzielen ist. Es ist darauf zu achten, daß kein zu starkes Dickenwachstum der Oxidschicht an den Nahtflanken durch zu lange Vorwärmzeiten oder O<sub>2</sub>-Überschuß im Brenngas erfolgt. Zu berücksichtigen ist weiterhin der Einfluß von Vorwärmtemperatur und -zeit auf die Werkstoffeigenschaften, insbesondere bei aushärtbaren Legierungen und kaltumgeformten sowie hoch Mg-haltigen Werkstoffen.

Tabelle 3: Richtwerte für Vorwärmtemperatur und Vorwärmzeit für das Schweißen von Aluminium-Knetwerkstoffen

Werkstoff	Blech- oder Wanddickenbereich in mm		max. Vorwärmtemperatur °C	max. Vorwärmzeit min
	WIG	MIG		
AlMgSi0,5 AlMgSi1 AlMgSi0,7	≥ 5 bis 12 (> 12)	> 20	180 200 220 250	60 30 20 10
AlZn4,5Mg <sup>1)</sup>	≥ 4 bis 12 (> 12)	> 16	140 160	30 20
AlMg4,5Mn <sup>2)</sup> AlMg3	≥ 6 bis 12 (> 12)	> 16	150 bis 200	10

1) Längeres Verweilen auf Temperaturen zwischen 200 und 300 °C setzt die Fähigkeit des Selbstaushärtens herab.  
2) IKK-Anfälligkeit beachten!



TECHNOLOGIE CENTER



Brennerarten für Stahl: Bei Aluminium immer nächstgrößeren Brenner verwenden !

Brennerart	Sauerstoffverbrauch l/h	Werkstückdicke mm
<b>Einflammenbrenner</b>		
Größe 2	160	< 15
Größe 4	500	< 15
Größe 5	800	< 15
Größe 6	1250	< 15
Größe 8	2500	< 40
Größe 10	4000	< 40
<b>Mehrflammenbrenner</b>		
Größe 9	4000	30 ... 100
Größe 11	7500	30 ... 100
<b>umschaltbare Brenner</b>		
3/2 Flammen, Größe 3	1000	5 ... 30
5/2 Flammen, Größe 3	1500	5 ... 30
3/2 Flammen, Größe 4	1500	30 ... 60
5/2 Flammen, Größe 4	2500	30 ... 60
<b>Sonderbrenner</b>		
		> 60

Zur überschlägigen Ermittlung der Temperatur der Richtstelle eignet sich die Beobachtung der Glühfarben der Werkstoffe, siehe Abschnitt 4.5.6. Wenn diese keine Glühfarben zeigen oder wenn sie noch nicht oder nicht deutlich genug erscheinen, kann die überschlägige Ermittlung der Temperatur der Richtstelle in vielen Fällen der Praxis ausreichend genau durch ein kurzes Anreiben geeigneter Mittel erfolgen. Die Rückstände auf der erhitzten Oberfläche verfärben sich in einem bestimmten Temperaturbereich. Dieses Verfahren ist zum Beispiel bei den Aluminiumwerkstoffen seit langem in Anwendung.

Ein Fichtenholzspan erzeugt beim Reiben über eine erwärmte Oberfläche bei 350 °C einen hellbraunen, bei 400 °C einen braunen, bei 450 °C einen dunkelbraunen und bei 500 °C einen schwarzen Strich.

Eine besser abgestufte und genauere Temperaturermittlung bieten die Farbkreiden im Temperaturbereich zwischen 65 und 670 °C. Auch hier werden die Temperaturen durch Farbumschlag entsprechend Tabelle 5 – 3 ermittelt.

Farb-Nr.	Ausgangsfarbe	Umschlagfarbe	Umschlag-Temperatur °C
2815/ 65	rosa	blau	65
2815/ 75	rosa	blaugrün	75
2815/100	rosa	blau	100
2815/120	hellgrün	blau	120
2815/150	grün	violett	150
2815/175	violett	blau	175
2815/200	blau	schwarz	200
2815/220	weiß	gelb	220
2815/280	grün	schwarz	280
2815/300	grün	braun	300
2815/320	grün	weiß	320
2815/350	gelb	rotbraun	350
2815/375	rosa	schwarz	375
2815/420	weiß	braun	420
2815/450	rosa	schwarz	450
2815/500	braun	schwarz	500
2815/600	blau	weiß	600
2815/670	grün	weiß	670

Praxistipp: Zur genaueren Temperaturmessung sind anzeigende Meßgeräte erforderlich,



**TECHNOLOGIE CENTER**



**Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg**  
Gemeinnützige GmbH

Anerkannt als Ausbildungsstätte und Prüfstelle für  
Schweißtechnik und Herstellerqualifikationen  
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 : 2000  
akkreditiert nach DIN EN ISO 17025

# Schweißen will gelernt sein!

Sichern Sie sich Ihren Wettbewerbsvorteil durch schweißtechnisches Know how



## Wir sind Ihr kompetenter Partner

- für** Schweißerausbildung im MAG-Schweißen, E-Schweißen, WIG-Schweißen, Gas-Schweißen und UP-Schweißen
- für** Fortbildungs- und Umschulungsmaßnahmen, die mit Prüfungen nach DIN EN 287, Druckgeräterichtlinie EG 97/23 und anderen geltenden Vorschriften abschließen
- für** Qualifikationen zum Schweißfachmann und zum Schweißgüteprüfer mit international anerkanntem Abschluss
- für** Erteilung von Herstellerqualifikationen

## Wir sind Ihr autorisierter Dienstleister

- für** Werkstoff- und Schweißnahtprüfung mit den Prüfdienstleistungen: Durchstrahlungsprüfungen, Ultraschallprüfungen, Oberflächenrissprüfungen, metallografische Untersuchungen und mobilen Spektralanalysen
- für** Verfahrensprüfungen nach EN 288-3 und -4
- für** Aufschweißbiegeversuche
- für** Zugversuche in Dickenrichtung (Z-Güten)
- für** Nachtestierungen 3.1C sowie 3.1A für alle Abnahmeorganisationen



Wir sind für Sie da und beraten Sie gern!

### Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg

An der Sülze 7, 39179 Barleben  
Telefon: 03 92 03 / 7 61- 0  
Telefax: 03 92 03 / 7 61- 55  
E-Mail: [info@sl-magdeburg.de](mailto:info@sl-magdeburg.de)  
Internet: [www.sl-magdeburg.de](http://www.sl-magdeburg.de)

### Geschäftsbereich Dardesheim

Kleiner Knick 311 B, 38836 Dardesheim  
Telefon: 03 94 22 / 9 56 9- 0  
Telefax: 03 94 22 / 9 56 9- 25