

# Workshop CrNi

---

## Arbeitsunterlagen, Vorträge und Hinweise

### Inhalt:

Vortrag CrNi  
Schweißen von CrNi Stahl  
Auswahl von Schweißgasen  
Anlauffarben beim Schweißen von CrNi-Stählen  
Neue Schutzgase

## **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)

# CrNi Workshop

SL Magdeburg

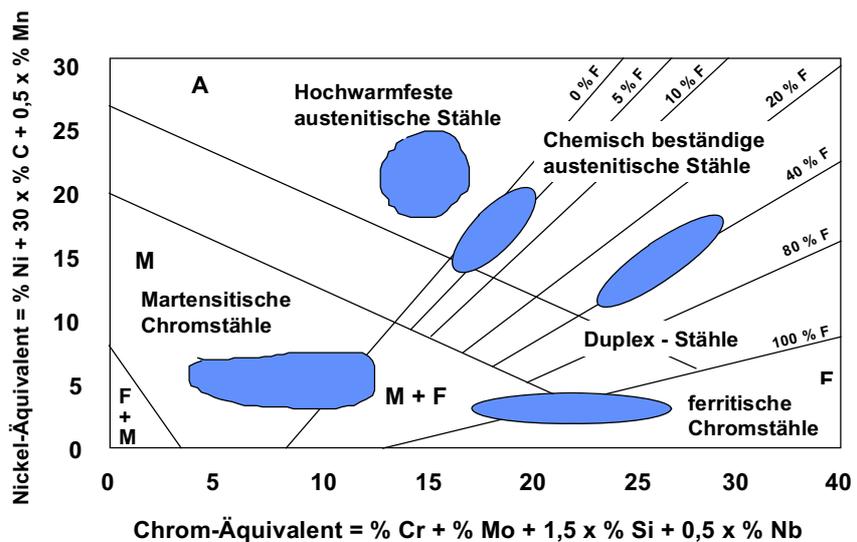
07.09.06

Westfalen AG

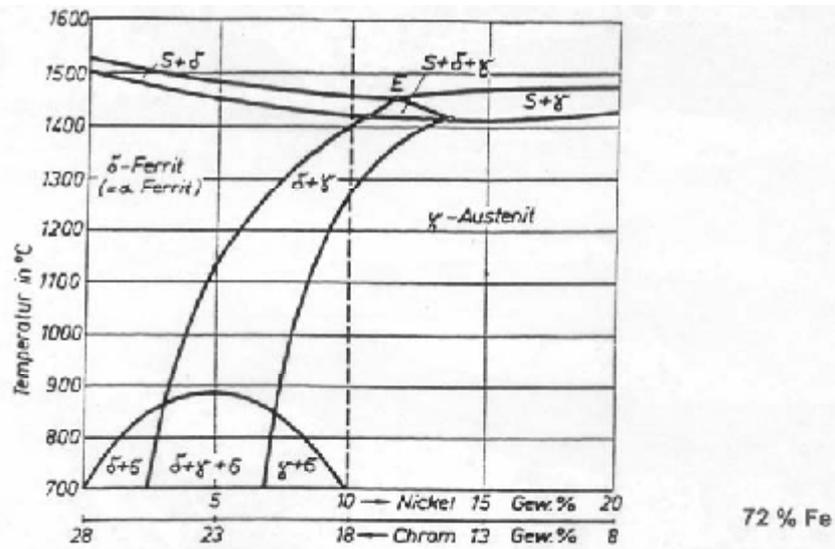
Ulf Jenter



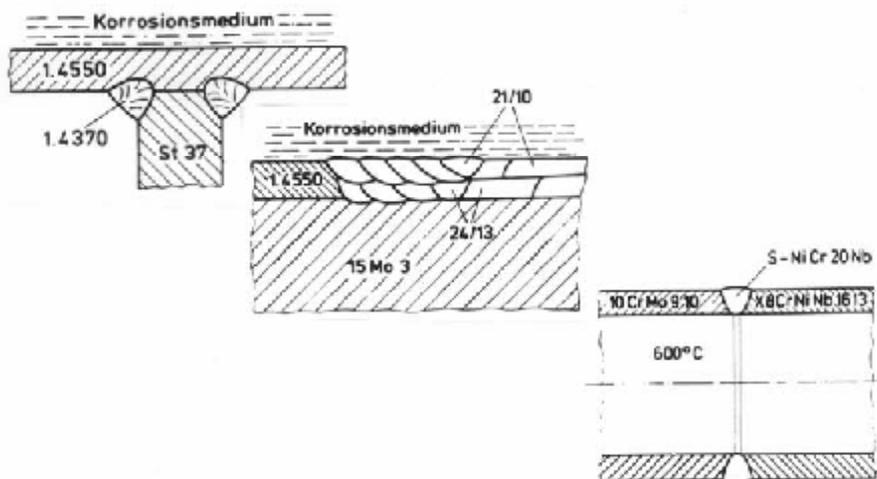
## Schaeffler - Diagramm



## Zustandsschaubild Fe-Cr-Ni



## Schwarz-Weiß-Verbindungen



## Gebräuchliche CrNi-Stähle

Nummer	Zusammensetzung
1.4301	X 5 Cr Ni 18-10
1.4541	X 6 Cr Ni Ti 18-10
1.4306	X 2 Cr Ni 19-11
1.4404	X 2 Cr Ni Mo 17-12-2
1.4571	X 6 Cr Ni Mo Ti 17-12-2
1.4439	X 2 Cr Ni Mo N 17-13-5
1.4539	X 1 Ni Cr Mo Cu 25-20-5

## Unterschiedliche Korrosionsarten

- **Interkristalline Korrosion**
  - Chromverarmung an den Korngrenzen durch Chromcarbid-Bildung
- **Lochfraßkorrosion**
  - lokaler Durchbruch der Passivschicht durch Halogenidionen
- **Spaltkorrosion**
  - fehlende Passivierung in Spalten
- **Spannungsrißkorrosion**
  - zusätzliche Zuspännungen
- **Schwingungsrißkorrosion**
  - mechanische Wechselbeanspruchung

## Physikalische Eigenschaften verschiedener Werkstoffe

Werkstoff	Wärmeleitfähigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Streckgrenze/ Dehngrenze
	[W/mk; bei 20°C]	[1/K*10 <sup>-6</sup> ; bei 20°C]	R <sub>e</sub> /R <sub>p 02</sub>
St 37-2	57	11,8	235
1.4571	16	16,8	210
1.4462	16	13	480
1.4501	16	13	550

CRNI-VOR.XLS

## Verarbeitungsunterschiede zum unlegierten Stahl

- ca. 50 % geringere Wärmeleitfähigkeit
- ca. 30 % höhere spezifische Wärmedehnung
- elektrischer Widerstand ca. 6 mal größer
- stärkerer Verzug
- engeres Heften
- nur Plasma- oder Laserschneiden
- Zwischenlagentemperatur max. 150 °C
- üblicherweise keine Vorwärmung
- keine Wärmenachbehandlung
- Reinigen der Oberfläche
- Schweißrauche enthalten Chrom- und Nickeloxid

## Verarbeitungshinweise für CrNi-Stähle

- **Zusatzwerkstoff**
  - artgleich bzw. etwas höher legiert
  - Zusatzwerkstoff nur mit Nb stabilisiert, Nb steigert die Empfindlichkeit gegen Heißrisse
  - unstabilisierter ZSW besitzt ruhigeren Lichtbogen, geringere Spritzerbildung
- **Nahtvorbereitung**
  - Fugenflanken spanend vorbereiten
  - größerer Öffnungswinkel
  - Stegabstand größer als beim unlegierten Stahl
- **Sauberkeit**
  - Spannelemente, Bürsten etc. aus CrNi-Stahl
  - schmutz-, fett-, ölfrei
  - getrennte Fertigung

## Einteilung der Schutzgasschweißverfahren

### Schutzgas-Schweißen

**Wolfram-Schutzgasschweißen**  
*Nichtabschmelzende  
Wolframelektrode*

**Metall-Schutzgasschweißen**  
*Abschmelzende  
Drahtelektrode*

**WIG**  
*Wolfram-  
Inertgasschweißen*  
*offener  
Lichtbogen*

**WPS**  
*Wolfram-  
Plasmaschweißen*  
*eingeschränkter  
Lichtbogen*

**MIG**  
*Metall-  
Inertgasschweißen*  
*Inertgas-  
atmosphäre*

**MAG**  
*Metall-  
Aktivgasschweißen*  
*CO<sub>2</sub> und/oder O<sub>2</sub>  
im Schutzgas*

## Physikalische Eigenschaften der inerten Gase

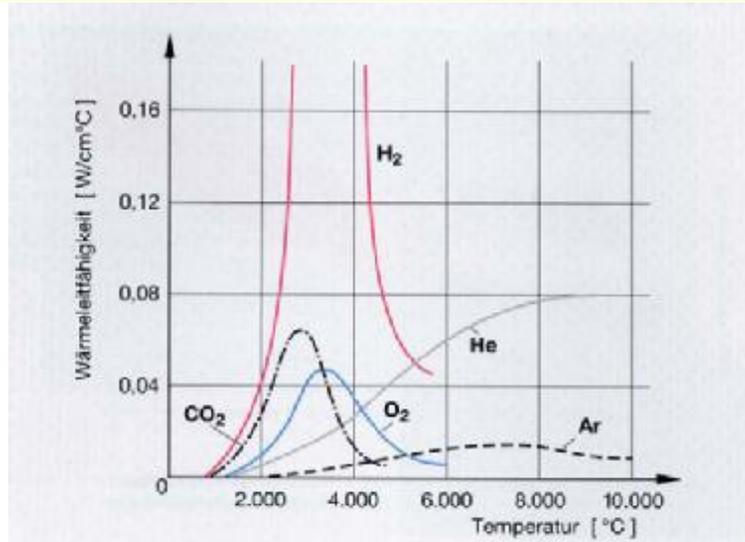


	Argon	Helium
Ionisations-energie [kJ/mol]	1525	2374
chemisches Verhalten	inert	inert



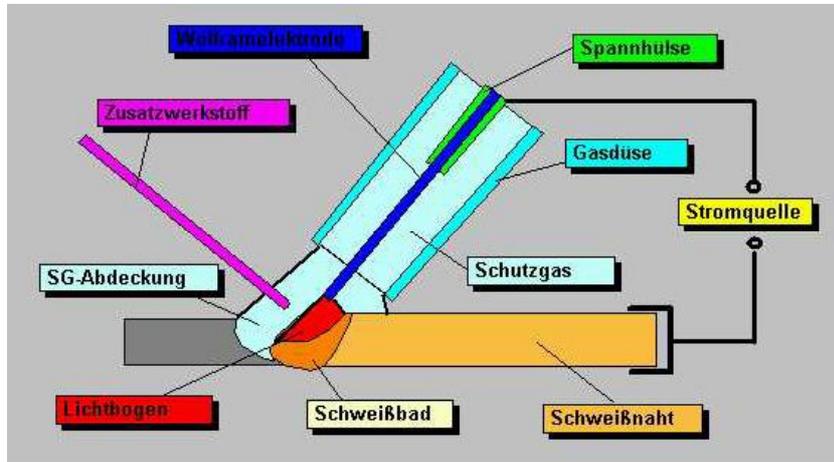
Westfalen AG

## Wärmeleitfähigkeit von Schutzgasen



Westfalen AG

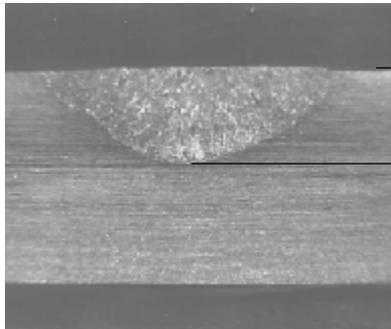
## Prinzip des WIG - Schweißen



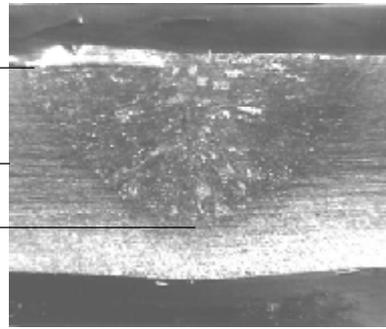
## Schutzgase zum WIG-Schweißen

Schutzgas	Gemisch-komponenten
Argon 4.6	100 % Argon
Ar/He - Gemische	30 % Helium Rest Ar 50 % Helium Rest Ar 70 % Helium Rest Ar
Ar/H <sub>2</sub> - Gemische	2-7,5 % H <sub>2</sub> , Rest Ar
Ar/N <sub>2</sub> - Gemische	2-5 % N <sub>2</sub> , Rest Ar

## Einbrandintensivierung durch Argon W 5



Schutzgas: Argon



Schutzgas: Argon W 5

Werkstoff: 1.4571  
Werkstückdicke: 5 mm  
Schweißstrom: 120 A



## Einfluß von Stickstoff auf den Deltaferritgehalt

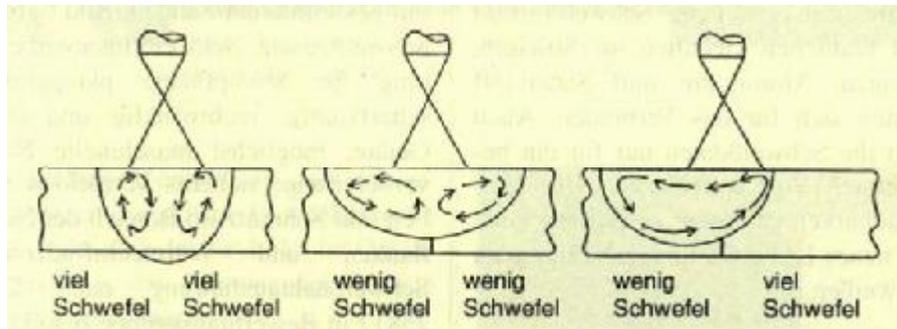


Ohne Stickstoffzusatz  
im Schutzgas:  
Deltaferritgehalt 3 %

Mit Stickstoffzusatz  
im Schutzgas:  
Deltaferritgehalt 0,5 %

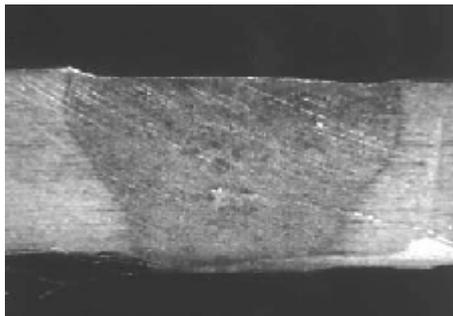


## Einfluss des Schwefelgehaltes auf die Einbrandform

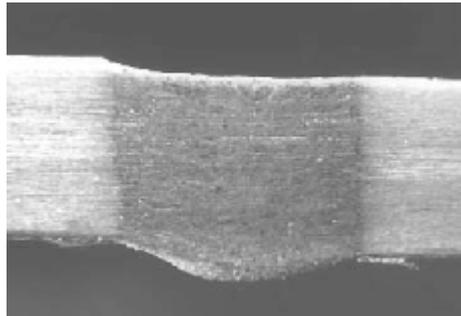


Quelle: praktiker, Heft 10,1997

## Einbrandveränderung durch Chargenwechsel beim 1.4571



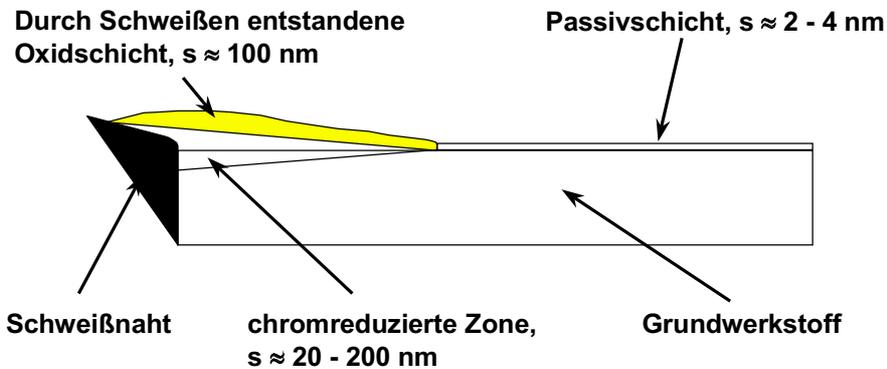
Charge 1



Charge 2

Werkstoff: 1.4571  
Verfahren: WIG  
Schweißstrom: 80 A

## Oxidationszone beim Schweißen von CrNi-Stählen

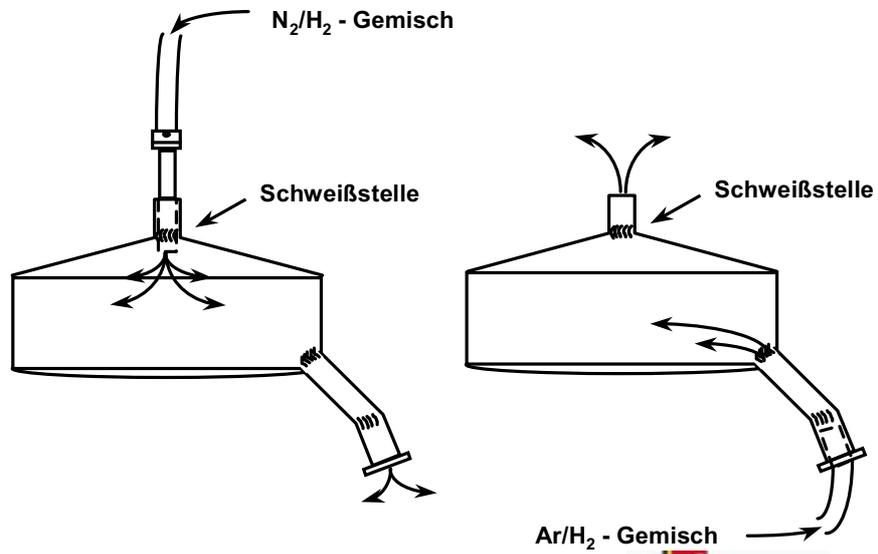


## Empfohlene Wurzelschutzgase für verschiedene Werkstoffe

Wurzelschutzgas	Werkstoffe
Argon-Wasserstoff-Gemische	austenitische CrNi-Stähle Ni und Ni-Basis-Werkstoffe
Stickstoff-Wasserstoff-Gemische	Stähle, mit Ausnahme hochfester Feinkornbaustähle, austenitische CrNi-Stähle
Argon	austenitische CrNi-Stähle, austenitisch-ferritische Stähle (Duplex), gaseempfindliche Werkstoffe (Titan, Zirkonium, Molybdän), wasserstoffempfindliche Werkstoffe (hochfeste Feinkornbaustähle, Kupfer und Kupferlegierungen, Aluminium und Aluminiumlegierungen sowie sonstige NE-Metalle), ferritisch Cr-Stähle
Stickstoff	austenitische CrNi-Stähle, austenitisch-ferritische Stähle (Duplex)



## Formieren von Behältern

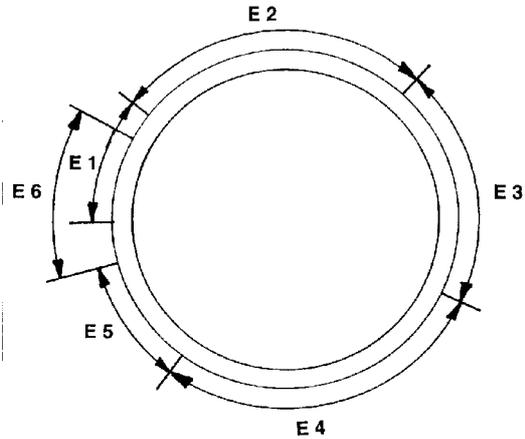


## Übliche Rohrabmessungen im Chemieanlagenbau

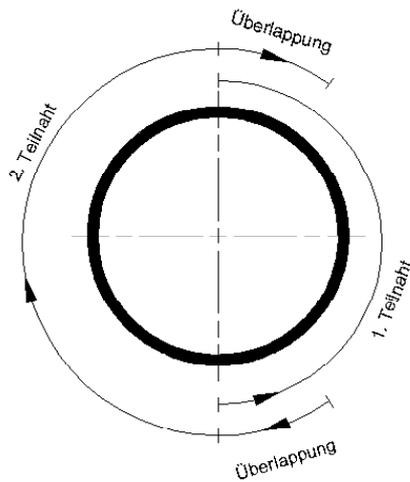
DN	normale Rohrleitungen		molchbare Rohrleitungen	
	OD in mm	Wanddicke in mm	OD in mm	Wanddicke in mm
80	88,9	2,3	88,9	3,2
100	114,3	2,6	114,3	3,6
150	168,3	2,6	168,3	4,5

## Aufteilung der Naht in Sektoren beim Orbitalschweißen

E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6
100%	95%	110%	90%	85%	75%



## Patentiertes Teilnahtschweißen



Wandstärken bis 5 mm  
in einer Lage ohne Zusatz

## Innenspannvorrichtung mit Formiergaszuführung



Westfalen AG

## Innenspannvorrichtung für Flansch-Bogen-Verbindung



Video



Westfalen AG

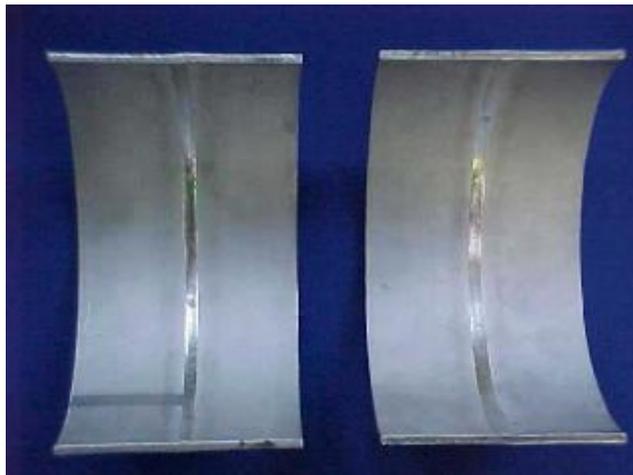
## Innenspannvorrichtung für Flansch-Bogen-Verbindung



Video



## Anlauffarbenfreie Wurzel durch Innenspannvorrichtung



Werkstoff:  
1.4571

Schutzgas:  
Argon W5

Wurzelschutzgas:  
Argon



## Innenspannvorrichtungen im Baustelleneinsatz

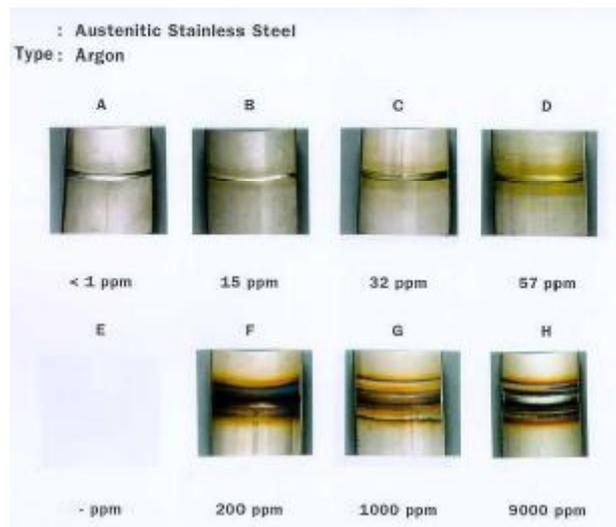


PPS PIPELINE SYSTEMS



Westfalen AG

## Anlauffarben in Abhängigkeit vom Sauerstoffanteil



Westfalen AG

**Schweißen von Titan in einer Kammer**



**Westfalen AG**

**Schweißen von Titan in einer Kammer**



**Westfalen AG**

## Schweißen von Titan in einer Kammer



Westfalen AG

## Kühlung der Wurzelseite über das Formiergas



Westfalen AG

## Reduzierte WEZ durch Einsatz der Kühlung

1.4571, Rohrabmessungen 135.0 x 3,0 mm



Schweißnaht  
Delta-Ferrit: 8-10%

Übergang

Grundwerkstoff

Pos.: 12<sup>00</sup>

## Vorteile der Kühlung mit flüssig Argon oder Stickstoff

- **Steuerung der Zwischenlagentemperatur**
  - kaum Wärmeeinflußzone  
sehr gute Beständigkeit gegen Spannungsrißkorrosion
  - drastische Reduzierung der Schweißzeiten  
Faktor 3-4
  - keine Anlauffarben

## Projekt Mittelplate



## Projekt Mittelplate

### Schematische Trassenaufteilung → 3-malige Kreuzung des Horizontalbohrers während Einzug der Leitung

HDD1 = Horizontal Directional Drilling (Horizontalbohrung) J-Tubes = Schutzrohr zum Einleiten der Rohrleitungen in die Insel MP (J-Kernig)  
 DR1 = Drill Rig Site Offshore (Bohranlage seeeseitig 1) Sektion 1 = Rohrleitungsschicht  
 DP1 = Drill Platform Offshore (Bohrplattform seeeseitig 1) VRS1 = vorgelagertes einseitiges Rohrstrang  
 BG1 = Sauggrube 1 = Schweißverbindungen der Rohrleitung  
 = Bahnrichtung  
 = Endanordnung der Eckknotenstellungen (Kopf Post)  
 = Trassensicherung



Projekt Mittelplate



Projekt Mittelplate



## Projekt Mittelplate



Westfalen AG

## Projekt Mittelplate



Westfalen AG

## Projekt Mittelplate



Westfalen AG

## Projekt Mittelplate



Westfalen AG

## Duplex-Leitung



1.4462

168,3 x 22 mm

Tulpennaht, 2,5 mm Steg

Öffnung 10 °, 12 mm

Alle Lagen Teilnahtgeschweißt

Wurzellage ohne Kühlung

Keine Wartezeiten zwischen  
den Lagen durch Kühlung



Westfalen AG

## Abwasserleitung DN 400

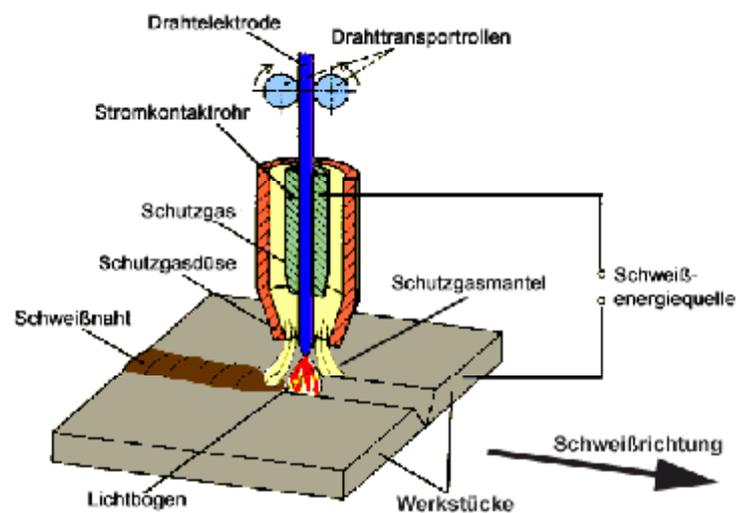


Westfalen AG



Westfalen AG

### Prinzip des MSG-Schweißverfahrens



Westfalen AG

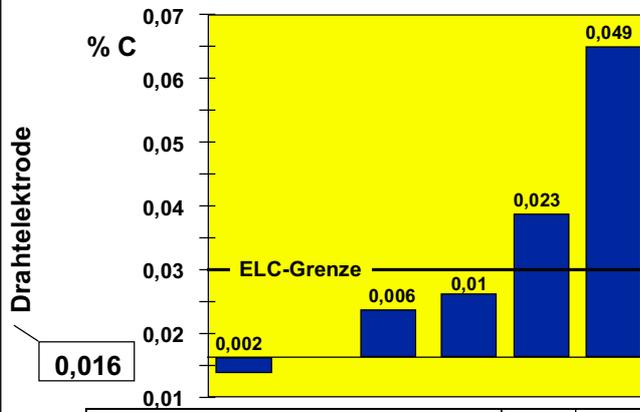
## Vorteile der Impulstechnik beim MAG-Schweißen

- nahezu kurzschlußfreier Werkstoffübergang
- Vermeidung des Mischlichtbogens
- geringe Spritzerbildung
- gezielte Wärmeeinbringung
- geringer Verzug

## Schutzgase zum MAG-Schweißen hochlegierter Stähle

Produkt	Gemisch- komponenten	Gruppe nach DIN EN 439	Anwendung
Argon S-Gemische	1% O <sub>2</sub> , Rest Argon 3% O <sub>2</sub> , Rest Argon 4% O <sub>2</sub> , Rest Argon	M13 M13 M22	hochlegierte Stähle
Sagox <sup>®</sup> 2K	2,5% CO <sub>2</sub> , Rest Argon	M12	hochlegierte Stähle
Sagox <sup>®</sup> 3K	30% He, 0,5% CO <sub>2</sub> , Rest Argon	M12	hochlegierte Stähle Mehrlagenschweißung

## Einfluß der Schutzgase auf den Zu- und Abbrand von C



Schutzgaseinteilung nach DIN EN 439						
Gruppe	M22	M13	M12	M23	M21	C1
% Argon	92	99	97,5	91	82	-
% CO <sub>2</sub>	-	-	2,5	5	18	100
% O <sub>2</sub>	8	1	-	4	-	-

## Sagox SC

**Standardschutzgas: Sagox 2K (2,5 % CO<sub>2</sub>)**

**Sagox SC**

**Zusammensetzung:**

1,0 % CO<sub>2</sub>

1000 vpm O<sub>2</sub>

30 % He

Rest Argon

**Reduzierter CO<sub>2</sub>-Anteile führt zu geringer Oxidation**

**Sauerstoffanteil für einen stabilen Lichtbogen**

**Helium für ein gutes Anfließverhalten**

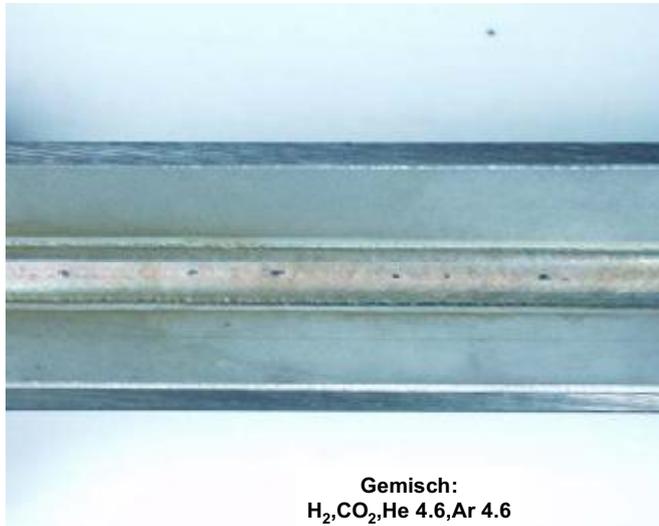
**Vorteil:**

**Guter Einbrand**

**Optimale Nahtausbildung**

**Hohe Schweißgeschwindigkeit**

## Sondergemische zum MAK-Schweißen



Gemisch:  
H<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub>,He 4.6,Ar 4.6

## Einsatz von Sagox 3K



Ventilatorrad aus 1.4462



## Aufbau CMT-Prozess



  
Westfalen AG

## Schutzgasvergleich anhand CMT-Prozess



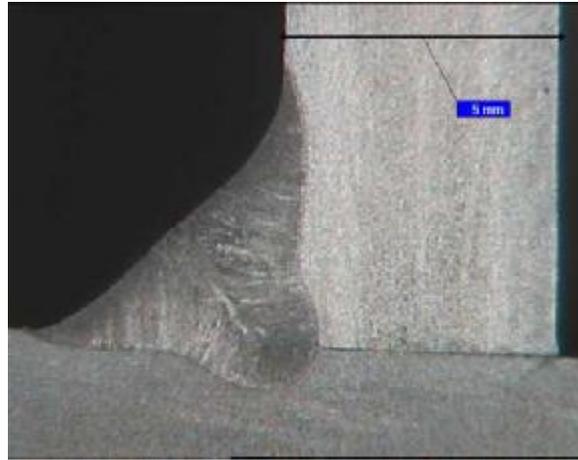
Schutzgas Sagox® 2K



Schutzgas Sagox® HC

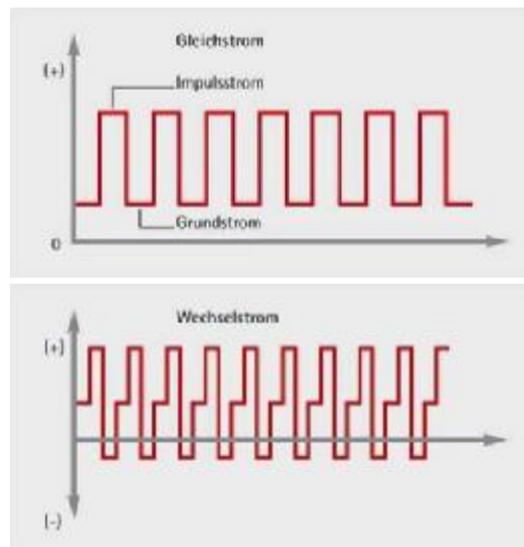
  
Westfalen AG

## Schliffbild Blech 1.4301



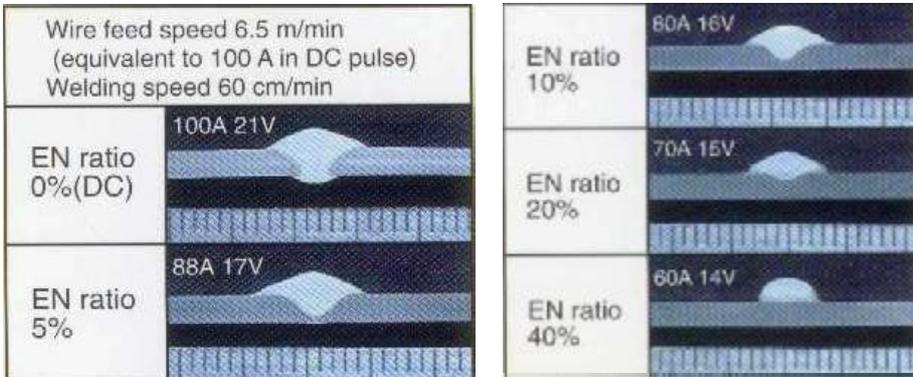
Westfalen AG

## Prinzip des MSG - Wechselstrom - Schweißens



Westfalen AG

## Einfluß des Negativanteils auf den Einbrand

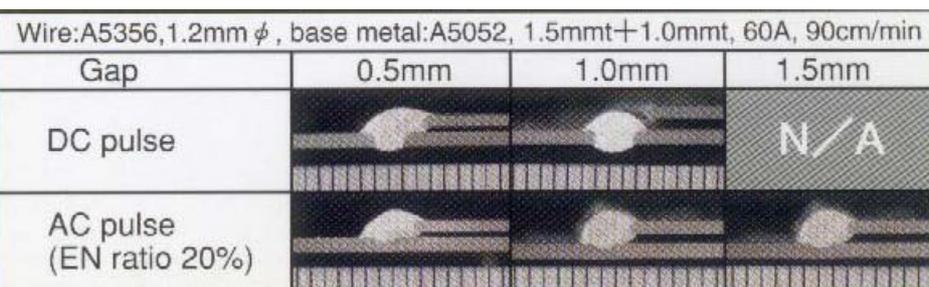


Quelle:



Westfalen AG

## Einfluß des Negativanteils auf die Spaltüberbrückbarkeit



Quelle:

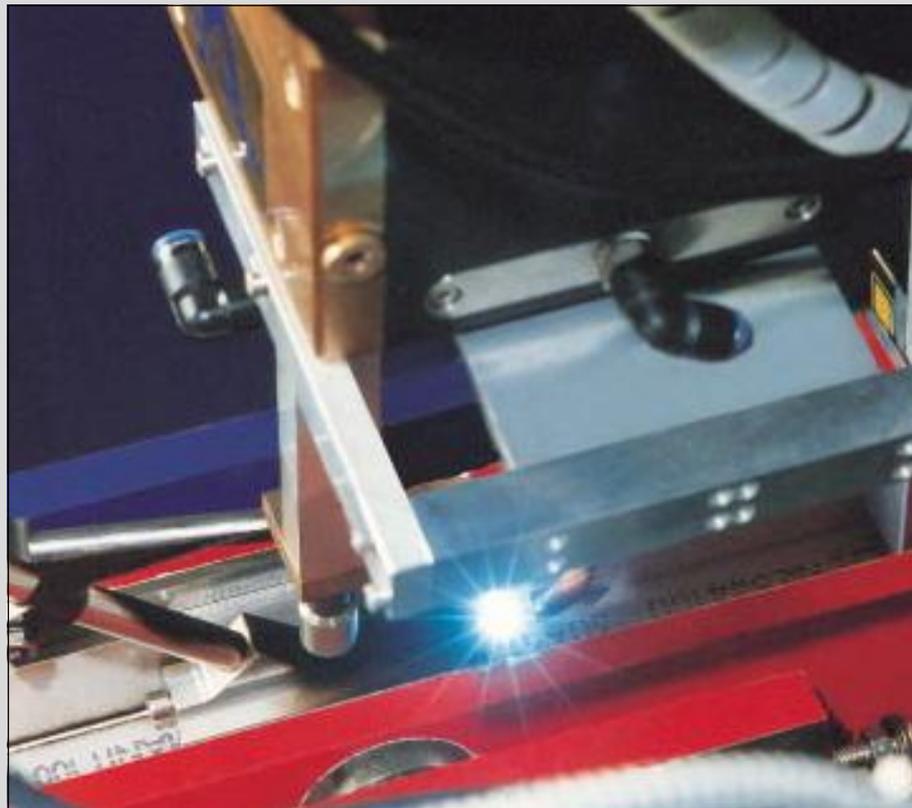


Westfalen AG



Merkblatt 823

## **Schweißen von Edelstahl Rostfrei**



**Informationsstelle Edelstahl Rostfrei**

# Die Informations- stelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) ist eine Gemeinschaftsorganisation von

- Edelstahlherstellern,
- Edelstahlverarbeitern,
- Edelhändler, -
- Legierungsmittelproduzenten,
- Oberflächenveredlern,
- sonstigen mit Edelstahl Rostfrei befaßten Unternehmen und Organisationen.

Die Aufgaben der ISER umfassen die firmenneutrale Information über Eigenschaften und Anwendung von Edelstahl Rostfrei. Schwerpunkte der Aktivitäten sind

- praxisbezogene, zielgruppenorientierte Publikationen,
- Pressearbeit für Fach- und Publikumsmedien,
- Messebeteiligungen,
- Durchführung von Schulungsveranstaltungen,
- Information über Bezugsmöglichkeiten von Produkten aus Edelstahl Rostfrei,
- individuelle Bearbeitung technischer Anfragen.

Ein aktuelles Schriftenverzeichnis wird auf Anforderung gerne übersandt.

## Impressum

Schweißen von Edelstahl Rostfrei  
3. Auflage 2000

### Herausgeber:

Informationsstelle  
Edelstahl Rostfrei  
Postfach 10 22 05  
40013 Düsseldorf  
Telefon: 0211 / 67 07-8 36  
Telefax: 0211 / 67 07-3 44  
Internet: [www.edelstahl-rostfrei.de](http://www.edelstahl-rostfrei.de)  
E-Mail: [info@edelstahl-rostfrei.de](mailto:info@edelstahl-rostfrei.de)

### Autoren:

Dipl.-Ing. L. Faust, Dortmund  
Dr. D. Grimme, NL-CV Bochltz  
Dr.-Ing. M. Nagel, Aachen  
Dipl.-Ing. S. Nestler, Hamm  
Dipl.-Ing. SFI H.-D. Prinz,  
Eisenberg  
Dr. F.W. Strassburg, Kempen  
Dipl.-Ing. Rainer Trillmich,  
Meinerzhagen  
Dr. G. Uhlig, Krefeld  
Dr.-Ing. H. Wehner, Trebur

### Abbildungen:

Stefan Elgaß,  
Geretsried  
Krupp Thyssen Nirosta GmbH,  
Krefeld  
Thyssen Laser-Technik GmbH,  
Aachen  
Bilder 3, 4, 5, 6 wiedergegeben mit  
Erlaubnis des DIN Deutsches  
Institut für Normung e.V.  
Maßgebend für das Anwenden der  
Normen ist deren Fassung mit dem  
neuesten Ausgabedatum, die bei  
der Beuth Verlag GmbH,  
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin,  
erhältlich ist.

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungsansprüche können hieraus nicht abgeleitet werden. Nachdrucke, auch auszugsweise, sind nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

## Inhalt

	Seite
1 Einleitung	1
2 Grundwerkstoffe	1
2.1 Metallkundliche Merkmale der nichtrostenden Stähle in bezug auf das Schweißen	1
2.2 Korrosionseigenschaften	2
3 Schweißverfahren	3
3.1 Schmelzschweißen	4
3.1.1 Lichtbogenhandschweißen mit umhüllter Stabelektrode	4
3.1.2 Schutzgasschweißen	4
Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)	
Plasmalichtbogenschweißen (WPL)	
Metall-Schutzgasschweißen (MSG)	
3.1.3 Laserstrahlschweißen	6
3.1.4 Unterpulverschweißen (UP)	9
3.2 Preßschweißverfahren	9
3.2.1 Widerstandspreßschweißen	9
3.2.2 Bolzenschweißen	11
4 Schweißzusätze	14
4.1 Schweißzusätze für austenitische Stähle	14
4.2 Schweißzusätze für ferritisch-austenitische Stähle	14
4.3 Schweißzusätze für ferritische Stähle	14
5 Vorbereiten und Ausführen der Schweißarbeiten	14
5.1 Schweißnahtvorbereitung	14
5.2 Schweißausführung	16
6 Nachbehandlung von Schweißverbindungen	16
6.1 Bürsten	16
6.2 Schleifen und Polieren	17
6.3 Strahlen	17
6.4 Beizen	17
7 Artverschiedene Verbindungen	17
8 Schweißen auf der Baustelle	18
9 Schweißaufsicht, Eignungsnachweise	19
9.1 Gütesicherung der Schweißarbeiten, Anforderungen an die Betriebe	19
9.2 Voraussetzungen für den Eignungsnachweis zum Schweißen nichtrostender Stähle	19
9.3 Schweißerprüfung für nichtrostende Stähle	19
10 Schrifttum	19
11 Normen und Regelwerke	20

# 1 Einleitung

„Edelstahl Rostfrei“ ist ein Sammelbegriff für die nichtrostenden Stähle. Diese enthalten mindestens 10,5% Chrom. Höhere Chromgehalte und weitere Legierungsbestandteile, insbesondere Nickel, Molybdän, Titan und Niob, verbessern die Korrosionsbeständigkeit und beeinflussen auch die mechanischen Eigenschaften.

umfangreich für zahlreiche Anwendungen eingesetzt. Für diese Sorten werden in der vorliegenden Schrift allgemeine Erfahrungen und Empfehlungen zum Schweißen gegeben. Bei speziellen Fragen sind die Hersteller der Stähle und der Schweißzusätze zu weiteren Auskünften bereit.

Die Angaben zu den Grund- und Zusatzwerkstoffen entsprechen den europäischen und den deut-

Bei allen Rostfrei-Sorten beruht die Korrosionsbeständigkeit auf der Passivität der Werkstückoberfläche, die sich bei Anwesenheit von Sauerstoff in dem umgebenden Medium (z.B. Luft) ausbildet. Diese Passivschicht ist ein optisch nicht erkennbarer, dünner amorpher Film von etwa  $10^{-5}$  mm Dicke. Nach Beschädigung der Passivschicht bildet sich diese neu, solange Sauerstoff aus der Umgebung zur Verfügung steht.

Stahlsorte		Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C W/(m · K)	elektr. Widerstand bei 20 °C $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	Wärmeausdehnung zwischen 20 und 100 °C $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Kurzname	Werkstoff-Nr.			
unlegierter Baustoff		50	0,22	12,0
X5CrNi18-10	1.4301	15	0,73	16,0
X6CrNiTi18-10	1.4541			
X4CrNiMo17-12-2	1.4401			
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571			
X2CrNiMo18-14-3	1.4435			
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	14	0,85	16,5
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	12	1,00	
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	15	0,80	12,0
X2CrNi12	1.4003	25	0,60	10,5
X6Cr17	1.4016			10,0
X3CrNb17	1.4511			10,0
X2CrTi12	1.4512			10,5

**Tabelle 1: Einige für das Schweißen wichtige physikalische Eigenschaften ausgewählter nichtrostender Stähle im Vergleich zu unlegiertem Baustahl**

Edelstahl Rostfrei hat in seiner fast 90jährigen Geschichte wegen seiner hohen Korrosionsbeständigkeit, guten mechanischen Eigenschaften und ausgezeichneten Verarbeitbarkeit wesentliche Bedeutung für Industrie und Wirtschaft erlangt.

Weltweit werden jährlich über 15 Millionen Tonnen rostfreier Stähle erzeugt, der überwiegende Teil in Form von Flachprodukten, aber auch als Stangen, Drähte, Rohre, Schmiedestücke und Formguß.

Alle diese Erzeugnisse werden vorwiegend durch Schmelzschweißen, in geringerem Umfang durch Widerstandsschweißen und Lötten gefügt.

Von der großen Zahl weltweit genormter Stähle (z.B. EN 10 088) werden einige Sorten besonders

schen Normen bzw. Stahl-Eisen-Werkstoffblättern und den DVS-Merkblättern.

## 2 Grundwerkstoffe

Die vorliegende Schrift behandelt das Schweißen von ausgewählten, häufig verwendeten Stählen aus den Gruppen der austenitischen Chrom-Nickel-(Molybdän)-Stähle, der ferritisch-austenitischen (Duplex-)Stähle und der ferritischen Stähle (**Tabelle 1**).

Weitergehende Angaben zu den Grundwerkstoffen enthalten die Broschüren der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei „Edelstahl Rostfrei-Eigenschaften (MB 821)“ und „Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei (MB 822)“.

### 2.1 Metallkundliche Merkmale der nichtrostenden Stähle in bezug auf das Schweißen

Die hier erfaßten Chromstähle haben ein ferritisches Gefüge mit kubisch-raumzentriertem Gitter, die Chrom-Nickel-Stähle ein austenitisches Gefüge mit kubisch-flächen-zentriertem Gitter. Ferritisch-austenitische Stähle wie z.B. der Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4462 haben ein Mischgefüge aus Ferrit und Austenit.

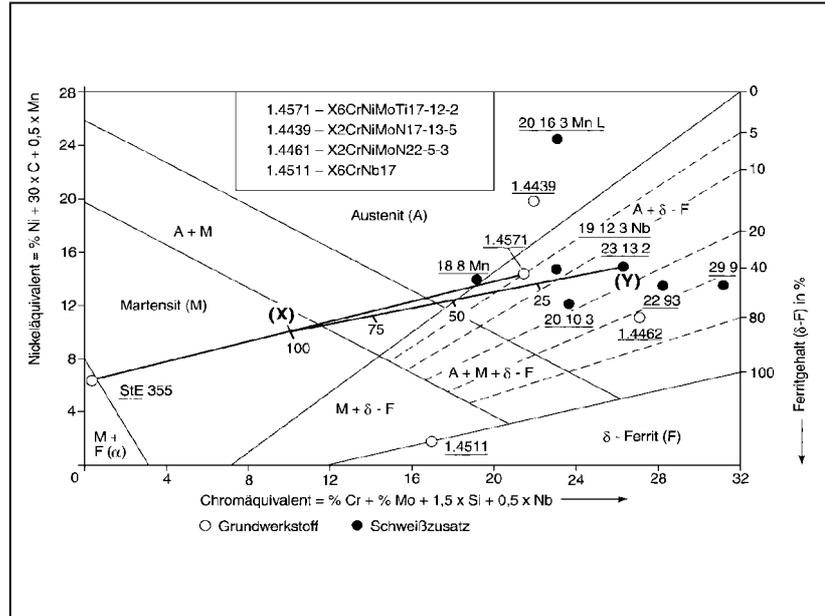
Die beiden Gefügearten weisen neben der unterschiedlichen Korrosionsbeständigkeit der Stähle unterschiedliche Festigkeits- und Umformeigenschaften auf, die auch für das Schmelzschweißen der Stähle von Bedeutung sind.

Die ferritischen Chromstähle, insbesondere die nichtstabilisierten Sorten, haben eine geringere Bruchdehnung und Zähigkeit, die beim Schweißen größere Aufmerksamkeit in bezug auf Schweißzusatz, -verfahren und Wärmebringen erfordert, um Risse beim Schweißen zu vermeiden.

Das Gundgefüge der nichtrostenden austenitischen Standardstähle ist im Walz- und Schmiedezustand vollaustenitisch, sowohl bei Raumtemperatur als auch bei hohen Temperaturen. Die chemische Zusammensetzung der Stähle ist so abgestimmt, daß im Schweißgut kleine Anteile von Deltaferrit entstehen. Diese wirken einer Heißrißanfälligkeit entgegen. Die Anteile des Deltaferrits sind in erster Linie von dem Verhältnis der Ferritbildner Cr, Mo, Si und Nb zu den Austenitbildner Ni, C, Mn und N abhängig und lassen sich mit Hilfe des Schaeffler-Diagramms (**Bild 1**) näherungsweise bestimmen.

Das DeLong-Diagramm ist ein Ausschnitt aus dem Schaeffler Diagramm, das die Wirkung des Stickstoffes auf die Austenitbildung berücksichtigt und für Ferrit-Nummern bis FN 18 angewendet werden kann.

Genauere Angaben der Ferritnummern bis FN 100 ermöglicht das WRC-Diagramm und damit auch die Abschätzung des Ferritgehaltes im Schweißgut von Duplex-Stählen. Aber auch das WRC-Diagramm liefert nur (bessere) Anhaltswerte. Demgegenüber enthalten die vollaustenitischen Stähle mit den Werkstoff-Nrn. 1.4439 und 1.4539 keinen Ferrit und können unter bestimmten Bedingungen (s. Abschnitt 4.1 und 5.2) zur Heißrißbildung neigen. Während Risse bei den ferritischen Stählen in bezug auf ihre Kerbwirkung (z.B. bei Dauerschwingbeanspruchung) kritisch sind, spielen Mikrorisse in austenitischen Schweißnähten für das Festigkeits- und Schwingverhalten wegen der großen Zähigkeit der Stähle im allgemeinen keine Rolle.



**Bild 1: Schaeffler-Diagramm für Verbindungsschweißungen**

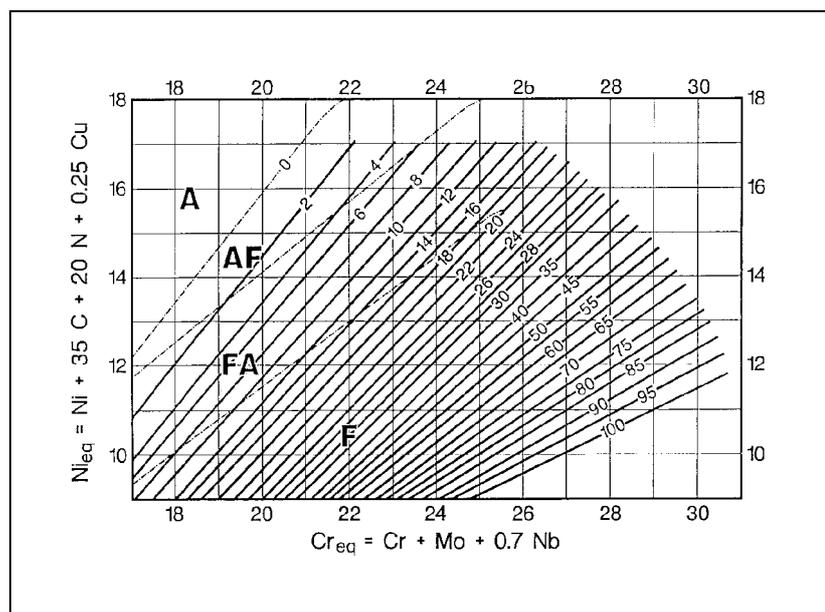
## 2.2 Korrosionseigenschaften

In passivem Zustand sind die nichtrostenden Stähle gegen zahlreiche aggressive Medien beständig und bedürfen keines weiteren Oberflächenschutzes. Es ist aber wichtig, daß die Passivschicht nicht defekt ist, insbesondere durch Anlauffarben und/oder Zunder im Bereich der Wärmeeinflußzonen der Schweißnaht.

Vom Hersteller werden die Erzeugnisse (Bänder, Bleche, Stangen, Rohre u.a.) mit passivierter Oberfläche geliefert. Häufig werden die blanken Bleche noch mit Folie oder Abziehlack gegen Beschädigung geschützt.

### Wichtige Korrosionsarten:

**Flächenkorrosion** ist durch einen gleichmäßigen oder annähernd gleichmäßigen Werkstoffabtrag



**Bild 2: WRC-1992-Diagramm mit Angabe der Ferritnummern**

gekennzeichnet. In der Regel wird eine Abtragung unter 0,1 mm/Jahr als ausreichende Beständigkeit gegen Flächenkorrosion zugelassen. Wenn anstelle der Abtragsrate die Massenverlustrate pro Flächeneinheit als Maßgröße benutzt wird, so gilt bei nichtrostendem Stahl für die Umrechnung die Beziehung  $1 \text{ g/h} \cdot \text{m}^2 = 1,1 \text{ mm/a}$ . Ungleichmäßige Flächenkorrosion wird als Muldenkorrosion bezeichnet.

Für die Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen Flächenkorrosion gibt es zahlreiche Beständigkeits Tabellen und -diagramme. Gleichmäßige Flächenkorrosion kann bei nichtrostenden Stählen in Säuren und starken Laugen auftreten; sie wird von der Stahlzusammensetzung wesentlich mitbestimmt. Die 13%-Chromstähle liegen an der unteren Grenze, die 17%-Chromstähle sind wesentlich beständiger. Eine noch höhere Beständigkeit gegen Flächenkorrosion zeigen die austenitischen Cr-Ni-Stähle. Molybdän verbessert die Beständigkeit gegen chloridhaltige Medien und nichtoxidierende Säuren. Auch der Oberflächenzustand spielt eine Rolle: Glattere Oberflächen ergeben im allgemeinen eine bessere Korrosionsbeständigkeit.

Gegen **interkristalline Korrosion** sind die austenitischen Stähle mit einem niedrigen C-Gehalt ( $\leq 0,03\% \text{ C}$ ) und die mit Titan oder Niob stabilisierten Stähle auch bei größeren Wanddicken ( $> 6 \text{ mm}$ ) ohne Wärmenachbehandlung sicher. Diese Stahlsorten sollten deshalb für geschweißte Bauteile bevorzugt werden.

Nichtrostende Stähle mit C-Gehalten  $>0,03\%$  können bei Wanddicken oberhalb 6 mm - abhängig von der Korrosionsbeanspruchung - ohne Wärmenachbehandlung interkristalline Korrosion zeigen, bevorzugt im Schweißnahtbereich. Dabei tritt durch Ausscheiden von Chromkarbiden an den Korngrenzen eine Chromverarmung ein, die zu Kornzerfall führen kann.

**Lochkorrosion** (Pitting) kann eintreten, wenn die Passivschicht

örtlich beschädigt wird; an diesen Stellen können Grübchen oder Löcher entstehen, wenn Chloridionen (oder andere Halogenionen), besonders bei erhöhten Temperaturen, die Oberfläche angreifen. Auch Ablagerungen auf der Oberfläche, z.B. Fremdrost, Schlackenreste, Anlauffarben, können zu Lochkorrosion führen.

**Spaltkorrosion** kann eintreten, wenn sich in Spalten ein Korrosionsmedium anreichert. Unter aggressiven Bedingungen sind mit Molybdän legierte Rostfrei-Stähle besser beständig. Spalte sollten nach Möglichkeit konstruktiv vermieden werden.

**Kontaktkorrosion** ist eine Korrosionsart, die auftreten kann, wenn sich zwei unterschiedliche metallische Werkstoffe in Anwesenheit eines flüssigen Mediums, das als Elektrolyt wirkt, in Kontakt befinden. Der weniger edle Werkstoff (Anode) wird an der Kontaktstelle angegriffen und geht in Lösung. Der edlere Werkstoff (Kathode) wird nicht angegriffen. In der Praxis, besonders im Stahlbau, sind die nichtrostenden Stähle die edleren Werkstoffe gegenüber vielen anderen metallischen Werkstoffen wie unlegierten und niedrig legierten Stählen und Aluminium. Kontaktkorrosion ist besonders dann kritisch, wenn die Oberfläche des edleren Werkstoffes groß ist im Verhältnis zur Oberfläche des weniger edlen Werkstoffes. Je größer der Potentialunterschied der beiden Werkstoffe ist, desto höher ist das Risiko von Kontaktkorrosion. Schäden lassen sich vermeiden, indem die beiden Werkstoffe gegeneinander isoliert werden. Bei deutlichen Größenunterschieden der Werkstückoberflächen der Paarung muß die kleinere Fläche aus dem edleren Werkstoff, die größere Fläche aus dem weniger edlen Werkstoff bestehen. Typisches Beispiel: Edelstahl-Rostfrei-Schrauben an Aluminium-Fassaden vermeiden Kontaktkorrosion.

**Spannungsrißkorrosion** ist eine Korrosionsart, die im Bauwesen kaum auftritt. Bei Spannungsriß-

korrosion entstehen transkristalline Risse bevorzugt bei austenitischen Stählen, selten bei ferritischen Stählen, wenn chloridhaltige Medien bei erhöhten Temperaturen unter Zugspannung auf den Werkstoff einwirken. Ferritisch-austenitische Stähle und austenitische Stähle mit höheren Nickelgehalten sind weniger empfindlich gegen Spannungsrißkorrosion als austenitische Stähle mit 8 bis 12% Ni.

**Schwingungsrißkorrosion** ist eine Sonderform der Spannungsrißkorrosion bei Beanspruchung auf Schwingfestigkeit. Korrosionsmedien können die Schwingfestigkeit herabsetzen. Die höher legierten nichtrostenden Stähle (z.B. mit Molybdän) sind besser beständig gegen Schwingungsrißkorrosion als die Standardgüten.

### 3 Schweißverfahren

Mit wenigen Einschränkungen können die austenitischen und ferritischen nichtrostenden Stähle mit demselben Schmelz- und Preßschweißverfahren (ausgenommen Gasschmelzschweißen) und Schweißanlagen gefügt werden, die für un- und niedriglegierte Stähle üblich sind. Folgende Schweißverfahren werden vorwiegend angewendet:

Schmelzschweißverfahren:

- Lichtbogenhandschweißen (EH),
- Schutzgasschweißen:
  - Wolfram-Schutzgasschweißen (WSG),
  - Metall-Schutzgasschweißen (MSG),
  - Plasma-Lichtbogen-schweißen (WPL),
- Laserstrahlschweißen,
- Unterpulverschweißen (UP).

Preßschweißverfahren:

- Widerstandspreßschweißen (Punkt-, Rollennaht- und Abbrennstumpfschweißen),
- Bolzenschweißen.

### 3.1 Schmelzschweißen

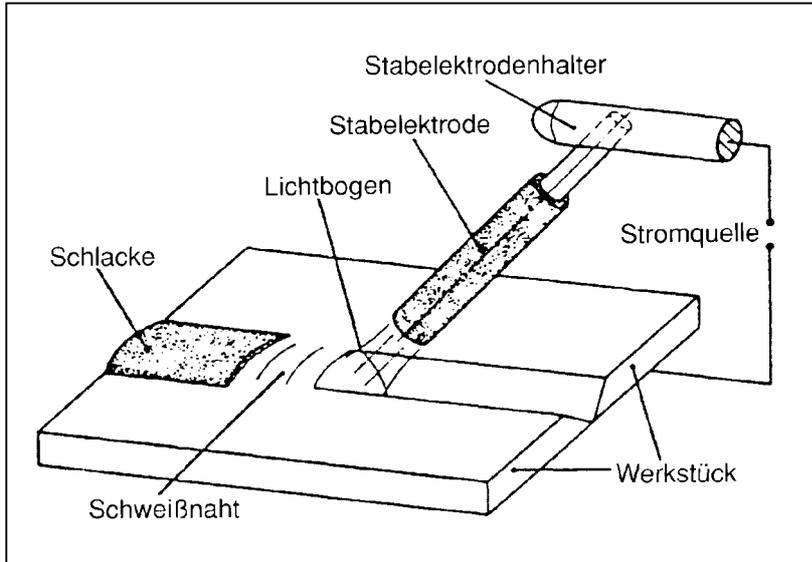
#### 3.1.1 Lichtbogenhandschweißen mit umhüllter Stabelektrode

**Bild 3** zeigt schematisch das Lichtbogenhandschweißen. Das Lichtbogenhandschweißen

Wechselstrom verschweißbar. Die Schlacke läßt sich leicht entfernen, zum Teil ist sie selbstlösend. Wegen der besseren Schweiß-eigenschaften werden wesentlich mehr rutilumhüllte Stabelektroden verarbeitet als die nachfolgend beschriebenen mit basischer Hülle.

Wurzelnähte eingesetzt. Im Vergleich zu den rutilumhüllten Stabelektroden ist hier die Naht grobschuppiger und die Schlacke vergleichsweise schlechter zu entfernen.

Bei beiden Hüllentypen ist mit möglichst kurzem Lichtbogen zu arbeiten.



**Bild 3: Lichtbogenhandschweißen (DIN 1910-2 Ausgabe 08.77, Bild 24)**

Wegen des höheren elektrischen Widerstandes des hochlegierten Kernstabes müssen diese Stabelektroden mit niedrigerer Stromstärke verschweißt werden als Baustahlelektroden.

Feuchtigkeit in der Elektrodenumhüllung kann Schweißverhalten und Schlackenabgang verschlechtern sowie zu offenen Poren und bei empfindlichen Stählen (z.B. Feinkornstähle, nichtrostende ferritische Stähle) zu Kaltrissen führen. Basisch umhüllte hochlegierte Stabelektroden sind weniger porenempfindlich als rutilumhüllte. Für Transport, Lagerung und Rücktrocknung umhüllter Stabelektroden gibt das Merkblatt DVS 0504 Hinweise.

besitzt aufgrund der nachfolgend aufgeführten Vorteile einen hohen Stellenwert beim Schweißen nichtrostender Stähle:

- einfache Handhabung,
- geringer Geräteaufwand,
- universell in der Werkstatt und auf der Baustelle einsetzbar,
- breites Angebot an Spezial-elektroden für unterschiedliche Anwendungsfälle,
- auch für Zwangspositionen sicher einsetzbar,
- niedriges Wärmeeinbringen (wichtig für voll-austenitische Stähle).

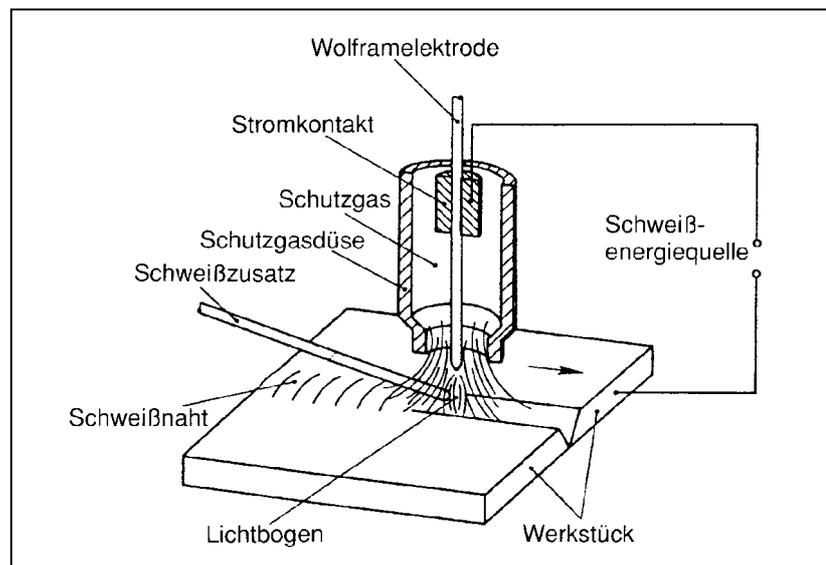
Schweißverhalten und Nahtaussehen werden maßgeblich von der Umhüllung bestimmt. Für die nichtrostenden Stähle werden rutilumhüllte und basische Stabelektroden verwendet.

**Rutilumhüllte** Elektroden haben einen feintropfigen Werkstoffübergang und führen zu feinschuppigen, glatten und flachen Nähten. Sie sind sowohl an Gleichstrom (Elektrode am Pluspol) als auch an

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

#### 3.1.2 Schutzgasschweißen

Beim Schutzgasschweißen brennt der Lichtbogen unter einem Mantel von inertem oder aktivem Schutzgas, der die Umgebungsluft von Lichtbogen und Schweißbad fernhält. Zu den Wolfram-Schutzgas-



**Bild 4: Wolfram-Inertgasschweißen (DIN 1910-4 Ausgabe 04.91, Bild 1)**

Schweißverfahren (WSG) gehören die Verfahren WIG und WPL.

### Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)

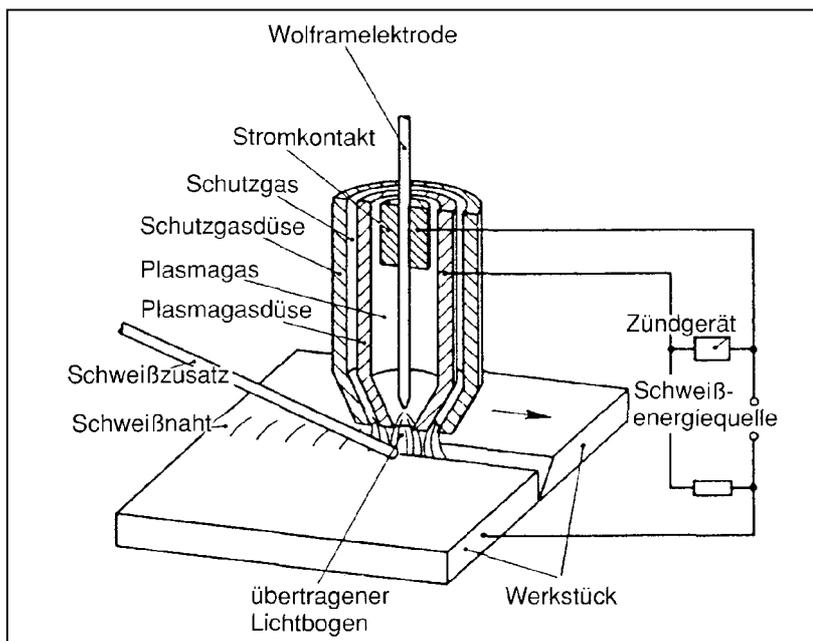
Das WIG-Schweißen (**Bild 4**) ist im Merkblatt DVS 0920 beschrieben.

Als Schutzgas dient Schweißargon (DIN EN 439), für die austenitischen Stähle können bei maschinellen Verfahren zum Erhöhen der Schweißgeschwindigkeit auch handelsübliche Argon-Wasserstoff-Mischgase (R 2 nach DIN EN 439) verwendet werden. Geschweißt wird mit Gleichstrom, die nichtabschmelzende Wolframelektrode ist mit dem Minuspol verbunden. Das WIG-Schweißen eignet sich für alle Schweißpositionen und besonders gut für dünne Bleche und Wurzellagen. Bis zur Blechdicke von ca. 3 mm können die austenitischen Stähle mit den Werkstoff-Nrn. 1.4301, 1.4541, 1.4401 und 1.4571 auch ohne Schweißzusatz verbunden werden. Für die Stähle mit den Werkstoff-Nrn. 1.4435, 1.4439, 1.4539 und 1.4462 wird die Verbindung vorwiegend mit Schweißzusatz ausgeführt.

### Plasmalichtbogenschweißen (WPL)

Das Plasmalichtbogenschweißen (**Bild 5**) ist mit dem WIG-Verfahren eng verwandt. Durch die scharfe Bündelung des Lichtbogens wird eine wesentlich höhere Energiedichte erreicht.

Als Plasmagas dient Schweißargon, dem beim Schweißen von Austeniten geringe Anteile von Wasserstoff zugemischt werden



**Bild 5: Plasmalichtbogenschweißen (DIN 1910-4 Ausgabe 04.91, Bild 3)**

können. Für das äußere Schutzgas werden meist Argon-Wasserstoff-Gemische verwendet. Das Plasmaschweißen wird überwiegend als mechanisiertes Verfahren eingesetzt:

- Mikroplasmenschweißen für den Dickenbereich bis 1 mm,
- Stichlochschiessen: Blechdicken bis ca. 10 mm können als I-Stoß durchgeschweißt werden (**Tabelle 2**). Für größere Blechdicken wird eine Y-Naht mit einer Steghöhe von ca. 5 mm gewählt. Der verbleibende Querschnitt wird nach anderen Verfahren gefüllt.

Meist wird ohne Schweißzusatz gearbeitet, Spaltbreiten  $>0,08 \times$  Blechdicke erfordern Schweißzusatz.

Vorteile des Plasmaschweißens sind:

- hohe Schweißgeschwindigkeit,
- schmale Raupe und schmale Wärmeeinflusszone (WEZ),
- geringes Wärmeeinbringen,
- geringer Verzug.

Von Nachteil sind:

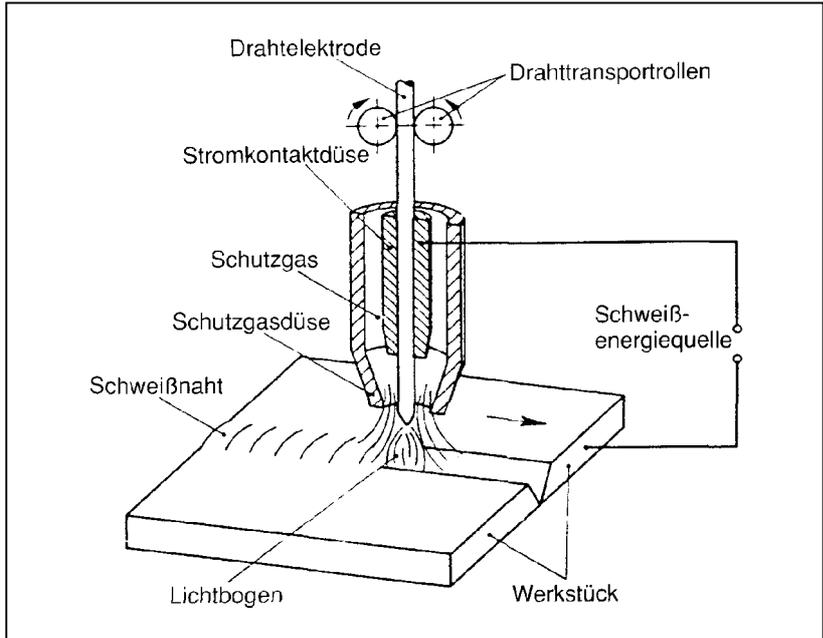
- aufwendigere Schweißanlage im Vergleich zu WIG,
- genaue Nahtvorbereitung erforderlich,
- Spannvorrichtungen und Fahrwerk erforderlich.

### Metall-Schutzgasschweißen (MSG)

Bei nichtrostenden Stählen wird fast ausschließlich das Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG) angewendet.

Blechdicke mm	Schweißstromstärke A	Düsendurchmesser mm	Plasmagas L/min.	Schutzgas L/min.	Schweißgeschwindigkeit cm/min
Mikroplasmenschweißen von Hand					
0,1	2,5	0,8	0,2	5,0	20
0,5	18,0	1,0	0,3	7,0	25
1,0	40,0	1,2	0,3	7,0	25
Mechanisches Plasma-Stichlochschiessen					
2,5	180	2,8	2,4	15,0	50
5,0	230	3,2	2,5	20,0	45
10,0	340	4,0	4,0	20,0	22

**Tabelle 2: Richtwerte für I-Nähte (ohne Spalt) zwischen austenitischen Stählen in w-Position**



**Bild 6: Metall-Schutzgasschweißen (DIN 1910-4 Ausgabe 04.91, Bild 5)**

Der Schweißstrom wird der abschmelzenden Drahtelektrode im Schweißbrenner durch schleifenden Kontakt zugeführt (**Bild 6**). Im Vergleich zum WIG-Schweißen lassen sich hohe Abschmelzleistungen erreichen. Verwendet werden sowohl Massiv- als auch Fülldrahtelektroden. Die Drahtdurchmesser liegen meist zwischen 0,8 bis 1,6 mm. Geschweißt wird mit Gleichstrom, Drahtelektrode am Pluspol.

Für **Massivdrahtelektroden** wird als Schutzgas üblicherweise Argon mit 1 bis 3 % Sauerstoff oder mit max. 2,5 % CO<sub>2</sub> verwendet. (Höhere CO<sub>2</sub>-Gehalte können zu einer Aufkohlung des Schweiß-

gutes führen und vermindern dadurch die Korrosionsbeständigkeit.) Die Drahtelektroden können je nach Anwendungsfall im Sprüh-, Kurz- und Impulslichtbogen verschweißt werden:

In Wannen- und Horizontalposition wird in der Regel mit dem **Sprühlichtbogen** gearbeitet, der bei geringer Spritzerneigung einen kurzschlußfreien, feinstropfigen Werkstoffübergang ergibt. Der **Kurzlichtbogen** wird angewendet, wenn geringes Wärmeeinbringen gefordert ist, z.B. für dünne Bleche, Wurzellagen und in Zwangspositionen. Von Nachteil sind Spritzerneigung (festhaftend) und überhöhte Raupe. Mit dem

**Impulslichtbogen** ist das Wärmeeinbringen ebenfalls verringert; mit ihm lassen sich sowohl dünne Bleche als auch größere Wanddicken (diese auch in Zwangsposition) vorteilhaft fügen.

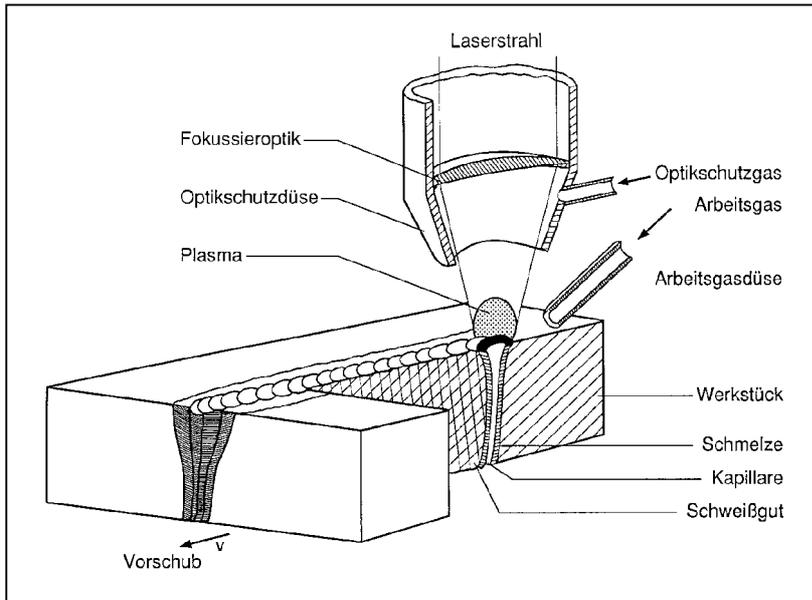
**Fülldrahtelektroden** sind mit jedem üblichen MSG-Gerät verschweißbar; dabei kann dieselbe Vorschubeinheit benutzt werden wie für Massivdraht. Es besteht sehr geringe Spritzerneigung, die Raupen fließen flach und kerbfrei an und ihre Oberfläche ist glatt und nur leicht geschuppt. Die besonderen Eigenschaften der beiden üblichen Fülldraht-Typen sind in **Tabelle 3** gegenübergestellt.

**3.1.3 Laserstrahlschweißen**

Neben den konventionellen Schweißverfahren hat sich das Laserstrahlschweißen als neues, leicht automatisierbares Fügeverfahren etabliert. Nach DIN 1910 Teil 2 wird das Laserstrahlschweißen den Schmelzschweißverfahren zugeordnet. Durch fokussierte Laserstrahlung wird das Metall lokal eng begrenzt aufgeschmolzen und durch Erzeugung einer Dampfkapillare (Keyhole) ein Tiefschweißeffekt erzeugt (**Bild 7**). Die erzielten Schweißnähte sind daher wesentlich schlanker als vergleichbare Schweißnähte konventioneller Schweißverfahren. Durch die Anwendung von Hochleistungslasern im Multikilowatt-Bereich können so Blechdicken bis zu 15 mm und mehr verschweißt werden. Aufgrund der lokal begrenzten

	Typ der Fülldrahtelektrode	
	schlackenlos	schlackenbildend
Stahlmantel	un- oder niedriglegiert	CrNi(Mo)-Stahl
Füllung	Metallpulver	Metallpulver + Schlackenbildner
Lichtbogen	Sprüh-, Kurz- und Impulslichtbogen	Sprüh- und Kurzlichtbogen, nicht für Impulslichtbogen
Schutzgas	Argon + 1 bis 3% O <sub>2</sub> Argon + max. 2,5% CO <sub>2</sub>	Argon + O <sub>2</sub> Argon + CO <sub>2</sub>
Schweißtechnische Eigenschaften	hohe Abschmelzleistung und tiefer Einbrand  keine Schlacke, daher zum vollmechanisierten Mehrlagenschweißen gut geeignet	geringer Einbrand und weicher Lichtbogen  leicht abhebende Schlacke

**Tabelle 3: Eigenschaften üblicher Fülldrahttypen**



**Bild 7: Prinzip Schweißen mit Laser**

Wärmeeinbringung und der schnellen Wärmeabfuhr aus der Schweißnaht ergeben sich spezifische Eigenschaften von Laserschweißnähten:

- schmale Schweißnähte mit großem Tiefen/Breitenverhältnis,
- sehr schmale Wärmeeinflußzone,
- geringer thermischer Verzug,
- gute Umformbarkeit.

Im industriellen Einsatz stehen heute zwei Lasertypen zum Schweißen von Edelstählen zur Verfügung:

**CO<sub>2</sub>-Laser**

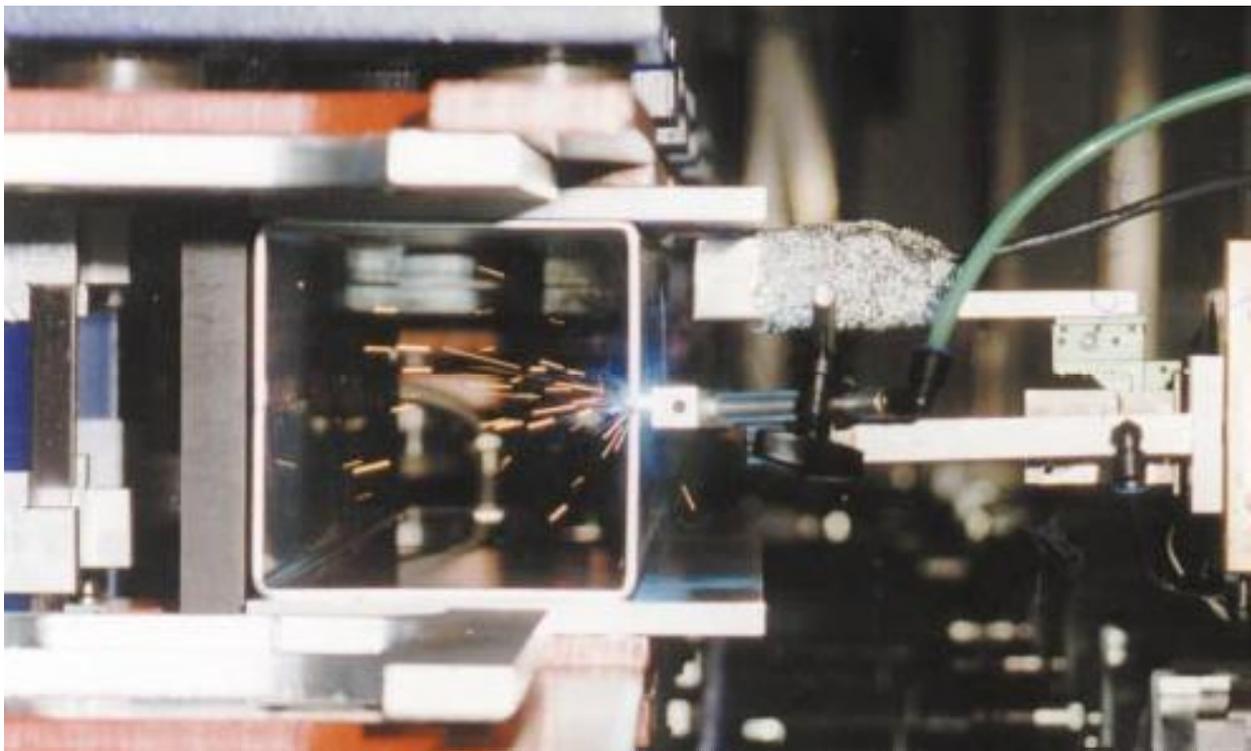
Der CO<sub>2</sub>-Laser ist im kW-Bereich bis zu 25 kW-Laserleistung kommerziell verfügbar und eignet sich gut für das Verschweißen von

Werkstücken von 1 mm bis ca. 15 mm.

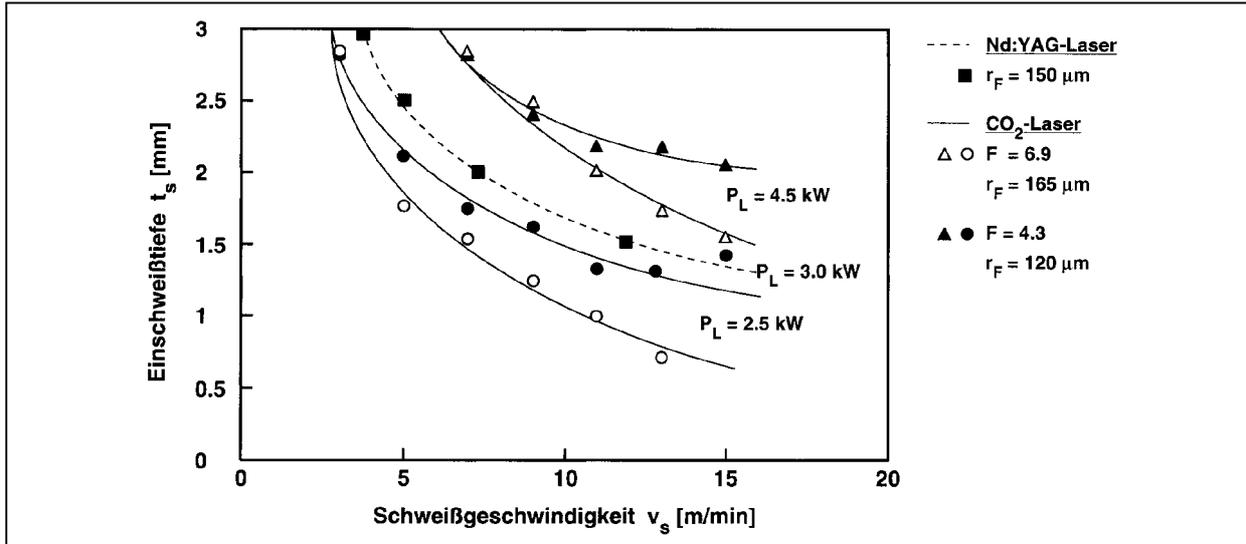
Beim CO<sub>2</sub>-Laser wird die Laserstrahlung über Spiegeloptiken auf das Werkstück fokussiert. Der Schweißprozess wird durch ein Schutzgas wie Helium, Argon oder ein Gasgemisch unterstützt. Durch den Schweißprozess baut sich über dem Keyhole ein laserinduziertes Plasma auf, das bei geeigneter Steuerung durch das Schutzgas den Schweißprozess unterstützt. **Bild 8** zeigt eine Darstellung des Schweißprozesses an speziell konfektionierten Edelstahlprofilen (tailored beams). Aufgrund der starren Strahlführung über Spiegelelemente stellen Schweißanlagen mit CO<sub>2</sub>-Laser eine komplexe Anlagenlösung dar. **Bild 9** ist eine graphische Darstellung der zum Schweißen notwendigen Laserleistung in Abhängigkeit von der Einschweißtiefe.

**Nd:YAG-Laser**

Aufgrund der verfügbaren Laserleistungen von ca. 100 W bis 5 kW wird der Nd:YAG-Laser vorwiegend zur Feinbearbeitung von Komponenten aus Edelstahl und zum Verschweißen von Blechdicken von 0,2 bis ca. 4 mm einge-



**Bild 8: Schweißprozess mit CO<sub>2</sub> -Laser an speziell konfektionierten Edelstahlprofilen (tailored beams)**



**Bild 9: Einfluß von Leistung und Fokussierung auf den Schweißprozeß am Beispiel eines 3-mm-Blech**

setzt. Die Laserstrahlung wird im Unterschied zu den CO<sub>2</sub>-Lasern von der Strahlquelle zur Bearbeitungsoptik über Glasfaserkabel geführt. Die Bearbeitungsoptik ist ein Quarzliniensystem, das die Laserstrahlung auf das Werkstück fokussiert. Durch die Strahlführung über Glasfaserkabel wird eine Verknüpfung mit Knickarmrobotern für die Führung der Fokussieroptik ermöglicht. Dadurch wird eine sehr hohe Flexibilität für die dreidimensionale Bearbeitung gewährleistet.

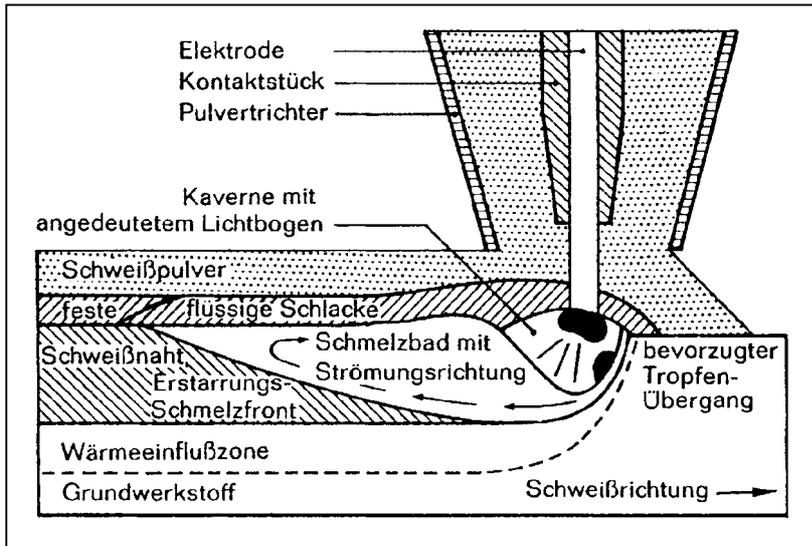
**Bild 10** zeigt das Verschweißen von Edelstahlbehältern aus 0,7 mm dickem Blech der Qualität 1.4301 mittels Roboterarm. Aufgrund der schmalen Nahtgeometrie ist eine präzise Kantenvorbereitung zum Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff erforderlich. Als maximales Spaltmaß zwischen den Fügeteilen wird ein Verhältnis von 1/10 der Blechdicke angesetzt. Bei größeren Blechdicken darf der Füge-spalt nicht größer als der halbe

Fokusbereich z.B. von 0,6 mm sein. Sollten größere Spaltmaße unvermeidbar sein, kann beim Laserstrahlschweißen mit Zusatzdraht gearbeitet werden. Die erreichbaren Schweißgeschwindigkeiten reduzieren sich dabei um ca. 1/3 gegenüber der Schweißgeschwindigkeit ohne Zusatzdraht.

Bei höher legierten Edelstählen kann eine Heißrißbildung beim Schweißen auftreten. Dies kann



**Bild 10: Schweißen von Membranringen mit Nd:YAG-Laser**



**Bild 11: UP-Schweißen (Handbuch für das Unterpulverschweißen, Bild 1)**

durch Verwendung eines geeigneten Zusatzdrahtes oder durch Vorwärmen verhindert werden.

### 3.1.4 Unterpulverschweißen (UP)

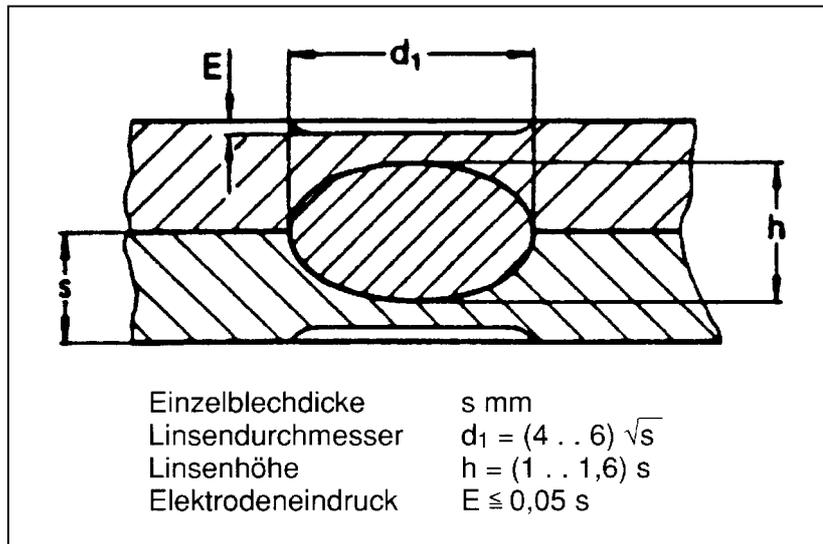
Beim UP-Verfahren (vgl. Merkblatt DVS 0917) brennt der Lichtbogen zwischen Drahtelektrode und Werkstück verdeckt in einer Schlackenkaverne, die durch Schmelzen des lose aufgeschütteten Pulvers entsteht (**Bild 11**). UP-Schweißen ist nur in Wannen- und Horizontalposition möglich, mit Sondervorrichtung auch in q-Position.

Üblicherweise wird die Drahtelektrode am Pluspol mit Gleichstrom verschweißt. Je nach Wanddicke beträgt der Drahtelektroden-Durchmesser zwischen 1,2 und 4 mm. Die Stromstärke wird etwa 10 bis 20% niedriger angesetzt als bei den un- und niedriglegierten Stählen.

## 3.2 Preßschweißverfahren

### 3.2.1 Widerstandspreßschweißen

Widerstandspreßschweißverfahren (DVS-Merkblatt 2916 und 1609) ermöglichen mit geringem Aufwand hochwertige Verbindungen guter Reproduzierbarkeit.



**Bild 12: Angaben für empfohlene Linsenabmessungen und die Eindringtiefe beim Punktschweißen**

Dank der niedrigen elektrischen Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit der austenitischen Stähle im Vergleich zu den unlegierten Stählen sind diese für das Widerstandsschweißen sehr gut geeignet. Wegen der geringen Wärmezufuhr wird die Oberfläche dabei kaum beeinträchtigt. Ihre höhere Wärmeausdehnung (siehe Tabelle 1) kann sich aber nachteilig auf den Verzug auswirken.

Beim Punkt- und Rollennahtschweißen werden meist überlappt angeordnete Bleche miteinander verbunden, wobei ein ungeschweißter Spalt verbleibt. Die Verfahren werden bevorzugt dort

angewendet, wo eine Gefährdung durch Spaltkorrosion (s. Abschnitt 2.2) nicht gegeben ist. Die beim Schweißen entstehenden Anlauf-farben sind ggf. zu entfernen. (s. Abschnitt 6)

Die Oberfläche der zu verschweißenden Teile muß metallisch sauber sein. Beim Punktschweißen hängen Größe und Form der Schweißlinse wesentlich von Stromstärke, Einschaltzeit des Stromes und Elektrodenkraft ab. Mit zunehmender Stromeinschalt-dauer werden Höhe und Durchmesser der Schweißlinse größer; in der Praxis werden kurze Stromzeiten bevorzugt. Wegen des höheren elektrischen Widerstan-

des der austenitischen Stähle (s. Tabelle 1) werden niedrigere Stromstärken angewendet als bei unlegierten Stählen. Die Stromstärke ist so einzustellen, daß die Höhe der Schweißlinse etwa 50% der Dicke beider Blechquerschnitte beträgt und 80% nicht überschreitet (**Bild 12**). Zu hohe Schweißströme können Spritzer und damit Lunker in den Schweiß-linsen verursachen.

Im Vergleich zu unlegierten Stählen werden zwei- bis dreimal höhere Elektrodenanpreßdrücke benötigt. Der Anpreßdruck muß auch nach Abschalten des Stromes noch so lange aufrechterhalten bleiben,

Blechdicke	Elektrode		Elektrodenkraft F	Schweißstrom I	Stromzeit	Punkt-durchmesser	Scherzugkraft
	Durchmesser d	Balligkeitsradius r					
mm	mm	mm	kN	kA	Perioden	mm	kN
0,5	5	75	2,3	4,0	3	2,8	200
1,0	6	75	5,0	7,0	5	4,0	550
1,5	8	100	8,0	9,0	8	5,2	1000
2,0	8	100	9,0	10,5	12	6,9	1500
2,5	10	150	12,0	12,5	14	7,2	1900
3,0	10	150	15,0	15,0	16	7,7	2600

**Tabelle 4: Richtwerte für die Maschineneinstellung zum Punktschweißen von austenitischen Stählen**

bis die Schweißlinse erstarrt ist (bei dünnen Blechen genügt eine Nachpreßzeit von 0,5 s, bei 3 mm Blechdicke von etwa 1 s).

Zum **Punktschweißen** der nicht-rostenden Stähle werden Elektroden aus Kupferlegierungen mit einer Warmhärte von mind. 70 HB bei 400 °C verwendet. Es kommen hierfür Elektroden aus CuCrZr- oder CuCrBe-Legierungen in

te Justierung erfordern wie Elektroden mit flachen Kontaktflächen. Richtwerte für Maschinen-Einstell-daten in Abhängigkeit von der Blechdicke enthält für austeniti-sche Stähle **Tabelle 4**. Eine Zusammenstellung von Schweiß- Fehlern beim Punktschweißen und deren Ursachen enthält **Tabelle 5**.

Das **Rollennahtschweißen** – konti-nuierlich oder mit intermittierender

Richtwerte zum Rollennahtschwei-ßen enthält **Tabelle 6**.

Beim **Abbrennstumpfschweißen** werden die Kontaktflächen der Werkstücke mehrmals kurzzeitig zur Berührung gebracht und wieder getrennt. Dabei findet an den Kon-taktflächen ein Planbrennen statt, wenn diese vor dem Schweißen nicht exakt plan waren. Wenn sich die Enden der Teile auf Füge-tempe-

Schweißfehler	Einstellwerte				Werkstück-oberfläche
	Schweiß-strom	Stromzeit	Elektroden-kraft	Elektroden-durchmesser	
Oberflächenfehler (Anlegieren, Aufschmelzung und dergleichen)	zu hoch		zu niedrig		verunreinigt
übermäßiges Eindrücken der Elektroden in das Werkstück	zu hoch	zu lang	zu hoch	zu klein	
Spritzen zwischen den Werkstücken	zu hoch		zu niedrig	zu klein	verunreinigt
Klaffen der Werkstücke	zu hoch	zu lang	zu hoch	zu klein	
zu große Schweißlinse	zu hoch	zu lang	zu niedrig		
zu kleine Schweißlinse	zu niedrig	zu kurz	zu hoch		verunreinigt
Porosität	zu hoch	zu kurz	zu niedrig		verunreinigt
Risse	zu hoch		zu niedrig		verunreinigt

**Tabelle 5: Schweißfehler beim Punktschweißen und ihre möglichen Ursachen**

Frage (Werkstoffe A3/1 oder A3/2 nach DIN 44759 und Merkblatt DVS 1609, Abmessungen nach DIN 44750). Elektroden mit balliger Kontaktfläche werden bevorzugt verwendet, weil sie keine so exak-

Rollenbewegung (Schrittschweißen) – kann mit balligen oder flachen Elektrodenauflä-chen durchgeführt werden. Die Elektrodenkraft bleibt ständig aufrecht erhalten, der Strom wird intermittierend eingeschaltet.

ratur erwärmt haben, werden sie mit hoher Geschwindigkeit zusammen-gepreßt. Der dabei entstehende Stauchdruck bewirkt das Ver-schweißen der Enden, wobei Oxide und ein Teil des Werkstoffes aus

Blechdicke	Rollenelektrode		Elektroden-kraft F	Schweiß-strom I	Stromzeit t <sub>s</sub>	Strompause t <sub>p</sub>	Schweiß-geschwindig-keit m/min
	Breite B	Radius R					
mm	mm	mm	kN	kA	Periode	Periode	
0,5	4,0	50	3,3	8,3	∞	0	3,0
1,0	5,0	75	5,8	12,8	3	3	1,2
1,5	6,0	75	8,0	14,0	4	3	1,1
2,0	7,0	75	10,7	16,5	4	6	1,1
2,5	8,0	100	12,0	16,6	5	6	1,0

**Tabelle 6: Richtwerte zum Rollennahtschweißen von austenitischen Stählen (Dichtnähte)**

dem Schweißspalt herausgepreßt werden. Die Spannkraft muß genügend groß sein, damit die Werkstücke in den Spannbacken nicht rutschen (die Spannkraft soll das 1,5- bis 2-fache der Stauchkraft betragen).

Für Edelstahl Rostfrei werden etwas geringere Stromstärken, aber etwas höhere Stauchdrücke angewendet als für unlegierte Stähle. Dementsprechend sind auch die Spannkraften für nicht-rostende Stähle höher als für unlegierte und niedriglegierte

### 3.2.2 Bolzenschweißen

Beim Bolzenschweißen werden stiftförmige Teile mit flächigen Werkstücken durch Preßschweißen verbunden. Die Verbindung erfolgt im flüssigen oder plastischen Zustand der Schweißzone. Das **Lichtbogen-Bolzenschweißen** hat die größte Bedeutung. Dabei wird zwischen Bolzenspitze und Werkstück ein Lichtbogen gezündet, der die Stirnflächen anschmilzt. Nach Ablauf der Schweißzeit wird der Bolzen in die Schmelze gedrückt, wodurch der Lichtbogen

Fügeverfahren haben sie folgende Vorteile:

- Das Bauteil muß nur von einer Seite zugänglich sein, es entfallen Bohrungen, die zu Undichtigkeiten führen können.
- Es entsteht eine vollflächige Verschweißung mit hoher Belastbarkeit.
- Der große Durchmesserbereich von 0,8 bis 25 mm und das Verarbeiten von Flachstiften mit einem Seitenverhältnis von bis zu 1:5 erlauben vielfältige Anwendungen.

Kenngrößen beim Bolzenschweißen				
Kenngröße	Hubzündungsbolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas	Kurzzeitbolzenschweißen mit Hubzündung	Kondensator-Entladungsbolzenschweißen mit Hubzündung	Bolzenschweißen mit Spitzenzündung
Nr. nach ISO 4063	783	784	785	786
Bolzendurchmesser d (mm)	3 bis 25	3 bis 12	2 bis 8	2 bis 8
Spitzenstrom (A)	2500	1500	5000	8000
Schweißzeit (ms)	100 bis 2000	5 bis 100	3 bis 10	1 bis 3
Energiequelle	Schweißgleichrichter oder -umformer	Schweißgleichrichter	Kondensator	Kondensator
Schweißbadschutz	Keramikring oder Schutzgas	Ohne Schutz oder Schutzgas	Ohne Schutz	Ohne Schutz
Bolzenwerkstoff	S 235, CrNi-Stahl, (bis 12 mm)	S 235, CrNi-Stahl, Messing (mit Schutzgas)	S 235, CrNi-Stahl, Messing, Kupfer	S 235, CrNi-Stahl, Messing, Kupfer
Blechoberfläche	metallisch blank, Walzhaut, Flugrost, Schweißprimer	metallisch blank, verzinkt, leicht geölt	metallisch blank, leicht geölt	metallisch blank, verzinkt (Kontaktschweißen bis M 6)
Mindestblechdicke	1/4 d, bei Schutzgas 1/8 d	1/8 d	1/10 d	1/10 d (ab ca. 0,5 mm)

Tabelle 7: Kenngrößen beim Bolzenschweißen

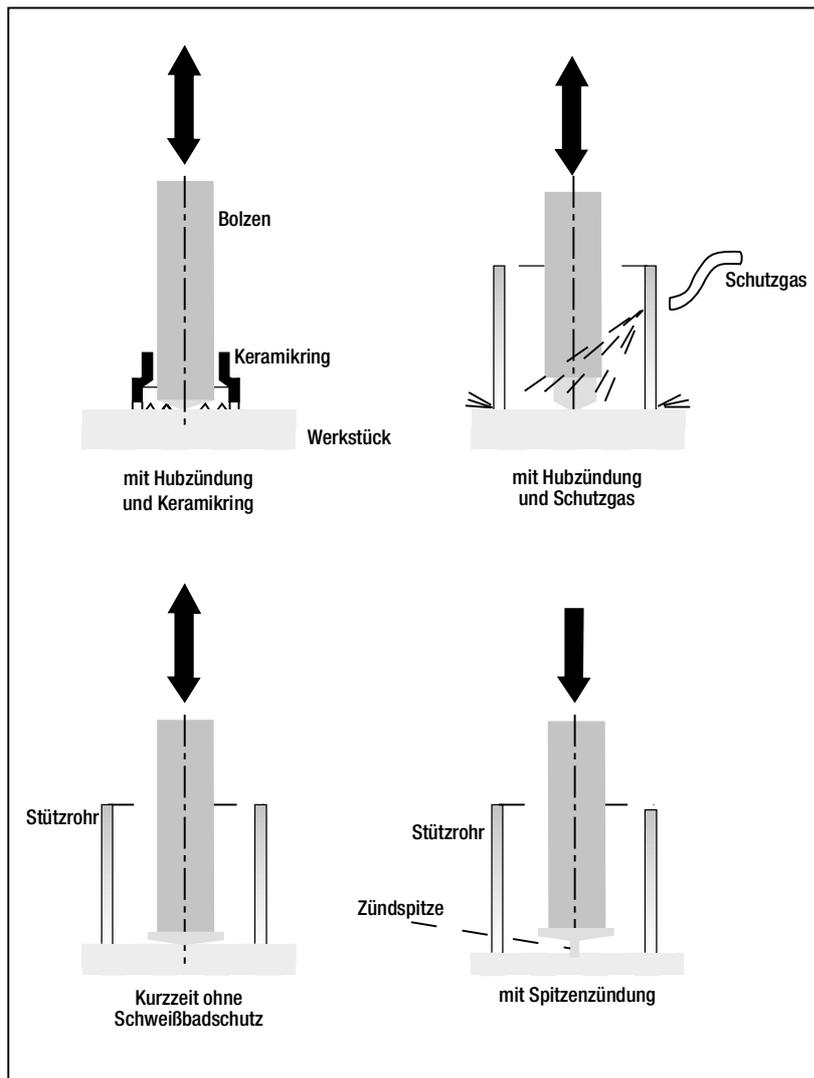
Stähle. Die Einstellwerte sind im Vorversuch zu ermitteln. Weitere Angaben zum Abbrennstumpfschweißen enthält Merkblatt DVS 2901.

Das **Buckelschweißen** ist ein weiteres Widerstandspreßschweißverfahren, findet aber im Bauwesen und Stahlbau kaum Anwendung; es wird deshalb hier nicht behandelt. Hinweise enthält das Merkblatt DVS 2905.

erlischt und die Schmelze erstarrt. Typische Verfahrensparameter können der **Tabelle 7** entnommen werden.

Von den verschiedenen Varianten des Lichtbogen-Bolzenschweißens (**Bild 13**) werden vor allem das Hubzündungsbolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas, das Kurzzeit-Bolzenschweißen mit Hubzündung und das Bolzenschweißen mit Spitzenzündung industriell eingesetzt. Gegenüber anderen

- Mit leichten Handpistolen kann in allen Schweißpositionen gearbeitet werden.
- Durch die kurze Schweißzeit kommt es zu nur geringem Einbrand und Verzug.
- Durch einen angestauchten Flansch an der Bolzenspitze kann die Schweißfläche vergrößert werden, so daß die Festigkeit des Bolzens oder des Grundwerkstoffes erreicht wird.



**Bild 13: Die wichtigsten Verfahrensvarianten beim Lichtbogenbolzenschweißen**

Die meisten Anwendungen gibt es im Bauwesen (Stahl-Beton-Verbundbau, Fassaden), im Anlagenbau (Verankerung von feuerfesten Isolierungen), im Apparatebau (Befestigung von Flanschen und Deckeln), im Schiffbau (Befestigung von Isolierungen und Ausbauelementen) sowie im Straßen- und Schienenfahrzeugbau (Befestigung von Kabelbäumen, Rohrleitungen und Aggregaten). Bei Bolzen ab 12 mm Durchmesser und Werkstückdicken über etwa 3 mm wird fast ausschließlich mit der Variante „Hubzündung mit Keramikring“ geschweißt. Bei dünnen Blechen (auch unter 1 mm Dicke) und hohen Ansprüchen an das dekorative Aussehen der Rückseite wird man der Variante

„Kondensatorentladung mit Spitzenzündung“ den Vorzug geben (**Tabelle 8**). Dabei ist allerdings der Bolzendurchmesser auf 8, max. 10 mm begrenzt.

Für hohe Ansprüche an die mechanische Festigkeit der Verbindung, auch für Schwarz-Weiß-Verbindungen, eignet sich besonders die Variante „Kurzzeit mit Hubzündung“ (**Tabelle 9**).

#### **Bolzenschweißen von nichtrostenden Stählen**

Beim Bolzenschweißen von austenitischen nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen tritt keine Gefügeumwandlung und damit auch keine Aufhärtung ein. Die hohe Abkühlungsgeschwindigkeit

beim Bolzenschweißen ist daher von Vorteil, da sie Ausscheidungsvorgänge (z.B. Karbidausscheidungen) verhindert. Die austenitischen Stähle sind auch gut umformbar. Bei den austenitischen CrNi(Mo)-Stählen entsteht im Schweißgut bis zu 10% Delta-Ferrit; sie sind daher nicht heißrißgefährdet. Dagegen besteht bei den höherlegierten vollaustenitischen Stählen die Gefahr der Heißrißbildung im aufgeschmolzenen Schweißgut; ihre Eignung zum Bolzenschweißen muß daher vorgeprüft werden. Eine Übersicht der möglichen Werkstoff-Kombinationen, z.B. das Schweißen von nichtrostenden Bolzen auf unlegierte oder niedrig legierte Bleche (Schwarz-Weiß-Verbindungen) enthalten **Tabellen 8 und 9**.

Die im Schweißgut zu erwartenden Gefüge als Folge der Vermischung der beiden Werkstoffe können mit dem WRC-Diagramm abgeschätzt werden (vgl. **Punkt 2.1**).

Für das Bolzenschweißen im bauaufsichtlichen Bereich sind die Stähle gemäß der jeweils gültigen Zulassung „Bauteile und Verbindungsmittel aus nichtrostenden Stählen“ zulässig, die in ihrer aktuellen Fassung als Sonderdruck SD 862 bei der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei bestellt werden kann.

Die Schweißbedingungen sind bei den nichtrostenden Stählen sorgfältiger abzustimmen als bei den unlegierten Stählen, weil der Toleranzbereich der Schweißparameter enger ist. Auch die mögliche Blaskwirkung ist zu beachten. Das Schweißen unter Schutzgas (z.B. 82% Ar und 18% CO<sub>2</sub>) erweitert den Toleranzbereich der Schweißparameter und ist besonders bei Bolzendurchmessern über 16 mm erforderlich.

Die umwandlungsfreien ferritischen Chromstähle haben einen Kohlenstoffgehalt unter 0,1%, sind mit zunehmendem Cr-Gehalt (Cr 13 bis 24%) weniger verformungsfähig und neigen zur Grobkornbildung. Sie werden beim Bolzenschweißen vorwiegend zur

Bolzenwerkstoff	Grundwerkstoff			
	EN 288-3/ Gruppen 1, 2, 3, 4 und Kohlenstoffstahl bis 0,30% C-Gehalt	EN 288-2/ Gruppen 1, 2, 3, 4 und verzinkte und metallbeschichtete Stahlbleche, max. Beschichtungsdicke 25 mm	EN 288-3/ Gruppe 9	Kupfer und bleifreie Kupferlegierungen z.B. CuZn 37
S 235	a	b	a	b
1.4301 1.4303	a	b	a	b

**Erläuterung der Buchstaben für die Schweißbeignung:**

a: gut geeignet für jede Anwendung, z.B. Kraftübertragung  
b: geeignet mit Einschränkungen für Kraftübertragung

**Erläuterung der Gruppen:**

Gruppe 1: Stähle mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze von  $R_{eH}$  360 N/mm<sup>2</sup> und mit folgenden höchsten Analysewerten in %:

C = 0,24 Si = 0,60 Mn = 1,60 Mo = 0,70 S = 0,045 P = 0,045

Andere Einzelelemente = 0,3

Alle anderen Legierungselemente zusammen = 0,8

Gruppe 2: Normalisierte oder thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze  $R_e > 360$  N/mm<sup>2</sup>

Gruppe 3: Vergütete Feinkornbaustähle mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze  $R_e > 500$  N/mm<sup>2</sup>

Gruppe 4: Stähle mit Cr max. 0,75%, Mo max. 0,6%, V max. 0,3%

Gruppe 9: Austenitische nichtrostende Stähle

**Tabelle 8: Schweißbeignung von gängigen Grundwerkstoff/Bolzen-Kombinationen beim Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Spitzenzündung**

Bolzenwerkstoff	Grundwerkstoff		
	EN 288-3/ Gruppen 1 und 2 <sup>1)</sup>	EN 288-2/ Gruppen 4 und 5	EN 288-3/ Gruppen 9
S 235 4.8 (schweißgeeignet) 16 Mo 3	a	b	b <sup>2)</sup>
X10CrAl18 X10CrAl24 X20CrNiSi25-4	c	c	a
1.4301 1.4303 1.4401 1.4541 1.4571	b(a) <sup>3)</sup>	b	a

**Erläuterung:**

<sup>1)</sup> Maximale Streckgrenze  $R_{eH}$  460 N/mm<sup>2</sup>

<sup>2)</sup> Nur beim Kurzzeit-Bolzenschweißen mit Hubzündung

<sup>3)</sup> Bis 10 mm Durchmesser und Schutzgas in Pos. PA

**Erläuterung der Buchstaben für die Schweißbeignung:**

a: gut geeignet für jede Anwendung, z.B. Kraftübertragung

b: geeignet mit Einschränkungen für Kraftübertragung

c: geeignet mit Einschränkungen nur für Wärmeübertragung

**Erläuterung der Gruppen:**

Gruppe 1: Stähle mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze von  $R_{eH}$  360 N/mm<sup>2</sup> und mit folgenden höchsten Analysewerten in %:

C = 0,24 Si = 0,60 Mn = 1,60 Mo = 0,70 S = 0,045 P = 0,04

Andere Einzelelemente = 0,3

Alle anderen Legierungselemente zusammen = 0,8

Gruppe 2: Normalisierte oder thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze  $R_e > 360$  N/mm<sup>2</sup>

Gruppe 4: Stähle mit Cr max. 0,75%, Mo max. 0,6%, V max. 0,3%

Gruppe 5: Stähle mit Cr max. 10%, Mo max. 1,2%

Gruppe 9: Austenitische nichtrostende Stähle

**Tabelle 9: Schweißbeignung von gängigen Grundwerkstoff/Bolzen-Kombinationen beim Hubzündungsbolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas und Kurzzeit-Bolzenschweißen mit Hubzündung**

Kessel- und Feuerraumbestattung an unlegierten warmfesten Stählen (z.B. 16Mo3, 13CrMo4 4) verwendet.

#### **Bolzenschweißen von unlegiertem mit nichtrostendem Stahl**

Bolzenschweißungen von unlegiertem mit austenitischen CrNi-Stählen (Schwarz-Weiß-Verbindungen) führen durch die Vermischung von ferritischen mit austenitischen Werkstoffen zu einem spröden Martensitgefüge im Schweißgut. Sind die Anteile von Bolzen- und Grundwerkstoff im Schweißgut bekannt, kann im Diagramm das zu erwartende Gefüge ermittelt werden. Im allgemeinen liegt der Bolzenanteil in der Schmelze bei 55 bis 60%.

Er ist abhängig vom Bolzendurchmesser, Blechdicke und Schweißbedingungen. Beim Kurzzeitbolzenschweißen mit Schutzgas liegt er bei 65%. Durch Variation der Arbeitsbedingungen allein kann der Martensitbereich der Schmelze nicht verlassen werden. Nur durch ein starkes Auflegieren der Bolzenspitze wäre dies möglich. Dazu kommt bei artfremden Schweißverbindungen eine Kohlenstoffdiffusion im Übergang vom kohlenstoffreichen (unlegierten) zum kohlenstoffarmen (legierten) Werkstoff bzw. Schmelzbad. Dabei entsteht immer eine sehr dünne (ca. 0,05 mm) kohlenstoffreiche Zone mit starker Aufhärtung. Die Verbindung von unlegierten Bolzen mit legiertem Werkstück ist dabei besonders ungünstig. Sie führt außerdem tiefer in den Martensitbereich als bei legierten Bolzen auf unlegiertem Werkstück.

Das Hubzündungsbolzenschweißen mit Keramikring und Schweißzeiten über 100 ms eignet sich für Bolzendurchmesser bis ca. 8 mm. Bei größeren Bolzendurchmessern können meist keine Schweißungen ausreichender Festigkeit und Umformungsfähigkeit erzielt werden. Da durch den (porösen) Keramikring immer etwas Luftfeuchtigkeit vorhanden ist, die im Lichtbogen in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird, besteht die Gefahr der wasserstoffinduzierten Ribbildung. Man kann dann auf reibgeschweißte Verbundbolzen

ausweichen, die an der Bolzenspitze ein dem Werkstück entsprechendes Zwischenstück haben.

Schwarz-Weiß-Verbindungen im Bauwesen sind durch den jeweils gültigen Zulassungsbescheid „Bauteile und Verbindungsmittel aus nichtrostenden Stählen“ des DiBt geregelt. Danach darf nur die Kombination weißer Bolzen-/schwarzer Grundwerkstoff verarbeitet werden. Der Bolzendurchmesser ist auf 10 mm begrenzt, statt des Keramikringes muß Schutzgas verwendet werden. Ein Korrosionsangriff des schwarzen Teils ist durch eine Beschichtung zu vermeiden. Weitere Einzelheiten können der Zulassung entnommen werden. Damit hat man z.B. die Möglichkeit, Glasfassaden durch Bolzenschweißen rationell zu erstellen, ohne daß nach kurzer Zeit häßliche Rostfahnen entstehen.

Bei Bolzendurchmessern bis 12 mm ist es möglich, durch Kurzzeitbolzenschweißen mit Schutzgas die Schmelzzone so schmal zu halten, daß sich die spröde Martensitzone nicht auf die Verformungsfähigkeit und Festigkeit des Bolzens auswirkt.

Beim Bolzenschweißen mit Kondensatorentladung sind durch die größere Schweißfläche mit Flansch und die sehr schmale Schmelzzone (ca. 0,1 mm) Bedingungen gegeben, die zu brauchbaren Schwarz-Weiß-Verbindungen führen.

## **4 Schweißzusätze**

Für die in der Bauindustrie am häufigsten zum Einsatz kommenden nichtrostenden austenitischen, ferritischen und austenitisch-ferritischen Stähle (s. Tabelle 1) sind in der **Tabelle 10** die empfohlenen Schweißzusätze aufgeführt.

### **4.1 Schweißzusätze für austenitische Stähle**

Während das Schweißen der Stähle mit den Werkstoff-Nrn. 1.4301 bis 1.4435 mit den artgleichen

Schweißzusätzen mit Deltaferritanteil unproblematisch ist, sind beim Schweißen der stabilaustenitischen Stähle besondere Maßnahmen zur Vermeidung von Heißrißanfälligkeit zu beachten (s. Abschnitt 5).

### **4.2 Schweißzusätze für ferritisch-austenitische Stähle**

Der ferritisch-austenitische Stahl 1.4462 ist schweißtechnisch wie die austenitischen Stähle mit Ferritanteil zu behandeln. Das Schweißen mit erhöhtem Wärmeeinbringen ist vorteilhaft.

### **4.3 Schweißzusätze für ferritische Stähle**

Ferritische nichtrostende Stähle werden im allgemeinen mit austenitischen Schweißzusätzen gefügt. Wenn eine Farbgleichheit zwingend gefordert ist, sind ferritische Schweißzusätze vom Typ X8CrTi18 zu verwenden; bei Mehrlagenschweißung nur für die Decklage (Hinweise zur Schweißausführung s. Abschnitt 5).

## **5 Vorbereiten und Ausführen der Schweißarbeiten**

### **5.1 Schweißnahtvorbereitung**

Die **Nahtvorbereitung** ist in Abhängigkeit vom Schweißverfahren, von der Blechdicke und auch von der Schweißposition festzulegen. Die Wahl der Fugenformen kann in Anlehnung an die jeweiligen DIN-Normen oder nach sonstigen Vorschriften erfolgen.

Zur **Nahtkantenvorbereitung** werden mechanische oder thermische Trennverfahren angewendet. Die mechanische Bearbeitung erfolgt z. B. durch Scheren, Hobeln, Fräsen und Schleifen, Wasserstrahlschneiden. Als thermische Bearbeitungsverfahren kommen das Plasmaschneiden und das Laserstrahlschneiden in Betracht.

Kurznamen	Stahlsorte		Legierungstyp des Schweißzusatzes
		Werkstoff-Nummer	
X5CrNi18-10		1.4301	19 9 L
X6CrNiTi18-10		1.4541	19 9 L 19 9 Nb
X5CrNiMo17-12-2		1.4401	19 12 3 L
X6CrNiMoTi17-12-2		1.4571	19 12 3 L 19 12 3 Nb
X2CrNiMo18-14-3		1.4435	19 12 3 L 18 16 5 N L
X2CrNiMoN17-13-5		1.4439	18 16 5 N L
X1NiCrMoCu25-20-5		1.4539	20 25 5 Cu N L
X2CrNiMoN22-5-3		1.4462	22 9 3 N L
X2CrNi12		1.4003	18 8 Mn <sup>1)</sup> 19 9 L
X6Cr17		1.4016	19 9 L 19 9 Nb
X3CrNb17		1.4511	19 9 Nb 19 9 L 18 8 Mn <sup>1)</sup>
X2CrTi12		1.4512	19 9 L 18 8 Mn <sup>1)</sup>

Zum Schweißen der Mo-freien Stähle 1.4301 und 1.4541 können allgemein auch die für die Mo-legierten Stähle 1.4401, 1.4571 und 1.4435 genannten Schweißzusätze angewendet werden.

<sup>1)</sup> mit abgesenktem C-Gehalt: C ≤ 0,10%.

### 1. Umhüllte Stabelektroden nach DIN EN 1600

Bezeichnung: z. B. E 19 12 3 L R oder E 19 12 3 L B.  
R = rutilumhüllt, B = basisch umhüllt

### 2. Drahtelektroden, Drähte und Stäbe nach DIN EN 12072

Drahtelektrode mit Si ≤ 0,65% zum Schutzgasschweißen: z. B. G 19 12 3 L  
Drahtelektrode mit Si > 0,65% bis 1,2% zum Schutzgasschweißen: z. B. G 19 12 3 L Si  
Drahtelektrode mit Si ≤ 0,65% zum UP-Schweißen: z. B. S 19 12 3 L  
Stab oder Draht mit Si ≤ 0,65% zum WIG-Schweißen: z. B. W 19 12 3 L  
Stab oder Draht mit Si > 0,65% bis 1,2% zum WIG-Schweißen: z. B. W 19 12 3 L Si

### 3. Fülldrahtelektroden nach DIN EN 12073

#### a) schlackebildende Typen:

Kennzeichen R: rutil, langsam erstarrende Schlacke, für Positionen PA und PB  
Kennzeichen P: rutil, schnell erstarrende Schlacke, für alle Schweißpositionen

#### b) schlackeloser Typ:

Kennzeichen M: Metallpulver  
Bezeichnung für eine Fülldrahtelektrode mit schnell erstarrender Schlacke: z. B. T 19 12 3 L P M  
M für Mischgas

**Tabelle 10: Zuordnung von Legierungstyp des Schweißzusatzes zum Grundwerkstoff**

Bei den thermisch geschnittenen Nahtflanken ist es häufig notwendig, diese vor dem Schweißen leicht zu **überschleifen**, um noch vorhandene Oxidreste zu beseitigen. Zum Schleifen sind kunstharzgebundene Korundscheiben (Fe- und S-frei) mit feiner Körnung zu verwenden. Es ist zu beachten, daß die verwendeten Schleifmittel nicht vorher für die Bearbeitung un- und niedriglegierter Stähle benutzt wurden.

Bei allen nichtrostenden Stählen hängt das Schweißergebnis wesentlich von der Vorbereitung zum Schweißen ab. Eine der wichtigsten Voraussetzungen ist die Sauberkeit der Schweißnahtkanten. Diese müssen nicht nur metallisch blank, d. h. frei von Oxiden und Zunder sein, sondern dürfen auch keine Verunreinigungen durch Fette, Öle oder andere organische Stoffe aufweisen, die zu Aufkohlungen und Einschlüssen in den Schweißnähten führen können.

Bei der mechanischen Reinigung der Nahtkanten bzw. der Nahtumgebung dürfen nur Bürsten aus nichtrostendem Stahl verwendet werden. Für eine chemische Reinigung kommen zugelassene Lösemittel in Betracht.

## 5.2 Schweißausführung

Beim Schweißen nichtrostender austenitischer Stähle sind gegenüber den un- und niedriglegierten Stählen die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften zu beachten (s. Tabelle 1):

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

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

Abhilfemaßnahmen sind:

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

Folgende Heftabstände werden empfohlen:

Blechdicke	Abstand zw. Heftstellen empfohlen
mm	mm
1,0 - 1,5	20 - 40
2,0 - 3,0	50 - 70
4,0 - 6,0	70 - 100
>6,0	100 - 150

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

Beim Schweißen einseitig zugänglicher Nähte ist die Wurzellage vor Oxidation zu schützen. Dazu verwendet man inerte (Ar/He), reaktionsträge (N) oder reduzierende (Ar + H<sub>2</sub>, N + H<sub>2</sub>) Schutzgase zur Gegenspülung.

In Abhängigkeit von Stahlsorte und Wanddicke sind die Elektroden-/ Drahtdurchmesser und die entsprechenden Schweißparameter zu wählen. Die Zwischenlagentemperatur sollte auf max. 150 °C begrenzt werden.

Beim Schmelzschweißen der vollaustenitischen Stahlsorten wie 1.4439 und 1.4539 ist besonders beim zusatzlosen Schweißen (dünne Wanddicken) die erhöhte Heißrißgefahr zu beachten, d.h. Schweißen mit begrenztem Wärmeeinbringen und Einhalten der Zwischenlagen- und Arbeitstemperaturen.

Die ferritischen Stähle mit den Werkstoff-Nrn. 1.4003, 1.4016, 1.4511 und 1.4512 verhalten sich bezüglich der Wärmeausdehnung

etwa wie un- und niedriglegierte Stähle. Im Vergleich zu den austenitischen Stählen sind sie jedoch bis auf den Stahl 1.4003 in der Wärmeeinflußzone wegen der Bildung von Grobkorn und Chromkarbidausscheidungen wesentlich kritischer zu verarbeiten. Deshalb sind die Schweißverbindungen mit kleinstmöglichen Schmelzbädern (kleine Elektrodendurchmesser, niedrige Streckenenergie) auszuführen. Meistens werden austenitische Schweißzusätze wegen der besseren Zähigkeitseigenschaften in der Schweißverbindung verwendet.

Vor Beginn der Schweißarbeiten ist es ratsam, die Verarbeitungsempfehlungen der Stahlhersteller und Schweißzusatzwerkstoffhersteller sowie die jeweiligen Normen und Regelwerke (s. Abschnitt 11) zu beachten.

## 6 Nachbehandlung von Schweißverbindungen

Zur Erzielung bester Korrosionsbeständigkeit ist es erforderlich, die Schweißnähte und die beeinflussten Zonen grundsätzlich von Schlackenresten, Schweißspritzern, Anlauffarben oder anderen Oxidationsprodukten zu reinigen. Die Behandlung kann durch Bürsten, Schleifen, Polieren, Strahlen oder Beizen erfolgen. Je feiner und glatter die Oberfläche, desto größer ist die Korrosionsbeständigkeit.

### 6.1 Bürsten

Zum Bürsten sind handelsübliche nichtrostende Stahlbürsten zu benutzen, die vorher nicht zur Reinigung anderer Werkstoffe verwendet wurden. Das Bürsten kann ausreichend sein, wenn sich dadurch vorhandene Oxidschichten und Schlackenreste völlig beseitigen lassen und eine metallisch blanke, saubere Oberfläche erzielt wird.

Hohe Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit erfordern ein anschließendes Beizen und ggf. Passivieren.

## 6.2 Schleifen und Polieren

Beim Beschleifen von Schweißnähten ist zu beachten, daß die Schleifwerkzeuge eisenfrei sind (Fremdstoffgefahr) und nur für die Bearbeitung nichtrostender Stähle eingesetzt werden. Die verwendete Körnung richtet sich nach dem jeweiligen Anwendungsfall und sollte beim Fertigschliff üblicherweise bei 180 bis 240 (und feiner) liegen. Es darf nicht mit zu hohem Anpreßdruck gearbeitet werden. Nach Beendigung der Schleifarbeiten dürfen keine Anlauffarben und grobe Schleifriefen zurückbleiben.

Besonders glatte Oberflächen werden durch mechanisches Polieren oder Elektropolieren erzielt. In Sonderfällen, z.B. bei Gefahr von Spannungsrißkorrosion in chloridhaltigen Medien, sollte nach dem Schleifen gebeizt werden.

## 6.3 Strahlen

Beim Strahlen werden als Strahlmittel nichtrostender Stahl, Quarzsand, Glasperlen oder andere eisenfreie synthetische oder mineralische Strahlmittel verwendet. Die entstehende metallisch blanke, angeraute Oberfläche sollte anschließend bei hohen Anforderungen an die Korrosionssicherheit gebeizt, ggf. passiviert werden.

## 6.4 Beizen

Vor dem Beizen sind grobe Verunreinigungen sowie Fett und Ölreste vollständig zu entfernen. Das Beizen kann durch Tauchbeizen, Sprühbeizen oder Beizen mit Beizpaste oder Beizgel erfolgen. Im einzelnen sind die Empfehlungen der Beizmittellieferanten zu beachten.

Nach dem Beizen ist eine sorgfältige Spülung mit Wasser vorzunehmen. Es ist darauf zu achten, daß keine Beizmittelrückstände z.B. in Spalten verbleiben, da diese Korrosionsschäden auslösen können.

Damit das mit Beize kontaminierte Spülwasser nicht ungeklärt in die Kanalisation gelangt, kann die gebeizte Schweißnaht mit einer Neutralisationspaste behandelt werden. Nachdem sich in dem aufgefangenen Spülwasser die Rückstände abgesetzt haben, kann das geklärte Wasser in die Kanalisation abfließen. Die Rückstände müssen (als Sondermüll) separat entsorgt werden.

Bei hohen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit kommt als Endbehandlung eine Passivierung in ca. 20%iger Salpetersäure in Betracht. Auch nach dem Passivieren ist eine sorgfältige Reinigung mit Wasser notwendig.

# 7 Artverschiedene Schweißverbindungen

Für Schmelzschweißverbindungen zwischen artverschiedenen Grundwerkstoffen wird der Schweißzusatz so ausgewählt, daß die Schweißnaht die an die Grundwerkstoffe gestellten Anforderungen erfüllt. Als Schweißverfahren werden hierfür vorwiegend das Lichtbogenhand- und Schutzgasschweißen eingesetzt.

Sind zwei unterschiedliche nichtrostende austenitische Stähle durch Schmelzschweißen miteinander zu verbinden (z.B. 1.4301 mit 1.4401), dann genügt im allgemeinen der für den weniger hochlegierten Grundwerkstoff geeignete artgleiche Schweißzusatz.

Verbindungen zwischen einem austenitischen Stahl und dem ferritisch-austenitischen Stahl 1.4462 können mit den Schweißzusatztypen 22 9 3 N L oder 19 12 3 L ausgeführt werden.

Für Verbindungen von austenitischem Stahl mit ferritischem Chromstahl oder mit un- und niedriglegiertem Stahl mit nichtrostenden Stählen - letztere auch als „Schwarz-Weiß-Verbindungen“ bezeichnet - haben sich in der Pra-

xis die in **Tabelle 11** aufgeführten Schweißzusätze bewährt. Für Verbindungen zwischen dem ferritisch-austenitischen Stahl 1.4462 und un- bzw. niedriglegierten Stählen sind sowohl die Schweißzusätze nach Tabelle 11 als auch der Duplexschweißzusatz 22 9 3 N L geeignet.

Die Schweißzusätze sind in ihren Legierungsgehalten so abgestimmt, daß kein rißempfindliches Gefüge in der Naht entsteht, wenn das Verhältnis der aufgeschmolzenen Grundwerkstoffanteile zu dem abgeschmolzenen Schweißzusatz (Aufschmelzgrad) entsprechend begrenzt wird.

Für artverschiedene Verbindungen im bauaufsichtlichen Bereich dürfen Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe (z.B. Schutzgas, Schweißpulver) nur dann verwendet werden, wenn sie von einer hierfür bestimmten Stelle, z.B. vom Bundesbahn-Zentralamt Minden, zugelassen wurden.

Zur Auswahl des geeigneten Schweißzusatzes und zu schweißtechnischen Besonderheiten gibt das in Bild 1 dargestellte Schaeffler-Diagramm Hinweise. Auf graphische Weise wird darin für eine Mischverbindung zwischen einem allgemeinen Baustahl (z.B. St 52-3) und 1.4571 am Beispiel der Wurzelschweißung gezeigt, welche Zusammensetzung und welches Gefüge in der Schweißnaht zu erwarten sind: Werden beide Stähle ohne Schweißzusatz miteinander verschweißt und nimmt man an, daß die Naht aus gleichen Anteilen der beiden Grundwerkstoffe besteht, so erhält man den Punkt X in Bild 1. Aus dem Diagramm ist zu ersehen, daß ein vollmartensitisches Schweißnahtgefüge entsteht, das wegen seiner hohen Härte und Rißempfindlichkeit nicht erwünscht ist. Punkt Y gilt für den Schwarz-Weiß-Zusatztyp 23 13 2 bzw. 23 12 L (s. Tabelle 11). Das zu erwartende Schweißnahtgefüge läßt sich jetzt auf der Verbindungslinie X-Y in Abhängigkeit vom Aufschmelzgrad ablesen. Für einen Aufschmelzgrad von

Schweißzusatztyp	Stabelektrode (DIN EN 1600)	Drahtelektrode Schweißstab <sup>1)</sup> (DIN EN 12072)	Fülldrahtelektrode (DIN EN 12073)
<b>Für geringen Aufschmelzgrad</b>			
20 10 3	E 20 10 3 L	G 19 12 3	
18 8 Mn	E 18 8 Mn	G 18 8 Mn	T 18 8 Mn
<b>Für höheren Aufschmelzgrad</b>			
23 13 2	E 23 13 2	G 23 13 2	
23 12 L	E 23 12 L	G 23 12 L	T 23 12 L
20 16 3 MnL	E 20 16 3 MnL	G 20 16 3 MnL	

<sup>1)</sup> Zur Bezeichnung gelten die Bemerkungen zu **Tabelle 10**

**Tabelle 11: Schweißzusätze für artverschiedene Verbindungen**

z.B. 25% erhält man Austenit mit etwa 10% Ferrit, eine Gefügezusammensetzung, die angestrebt wird.

In gleicher Weise kann man mit den in Tabelle 11 aufgeführten Schweißzusätzen nach DIN 12072 und DIN 12073 vorgehen. Dabei

ist zu erkennen, daß die Legierungstypen 20 10 3 und 18 8 Mn nur für geringe Aufschmelzgrade verwendet werden sollten, damit keine spröden martensitischen Gefügeanteile in der Naht entstehen. Für höhere Aufschmelzgrade sind die beiden anderen Legierungsgruppen geeignet.

## 8 Schweißen auf der Baustelle

Neben der Fertigung von Bauteilen, Behältern und Anlagen in der Werkstatt ist es erforderlich, Schweißarbeiten auf der Baustelle unter erschwerten Bedingungen auszuführen. In großem Umfang sind Baustellenschweißungen im Rohrleitungsbau - überwiegend an unlegierten Stählen - üblich und erforderlich. Nichtrostende Stähle werden beim Bau von Chemieanlagen und Raffinerien auf der Baustelle geschweißt, ebenso im Stahlbau, z. B. bei der Errichtung von Großbehältern. Vorwiegend wird auf der Baustelle mit der Elektrodenhandschweißung gefügt, aber auch Schutzgasverfahren, wie WIG und MAG (s. Abschnitt 3.1.2) eingesetzt.

Die Baustellenbedingungen, insbesondere die Wetterverhältnisse, können das Schweißen schwieriger gestalten als die eigentlichen Fügearbeiten an nichtrostenden Stählen. Dies gilt für alle Verfahren, besonders aber für das Schutzgasschweißen. Baustellenschweißungen verlangen auch häufiger als in der Werkstatt das Schweißen in Zwangspositionen (waagrecht an senkrechter Wand, Fallnähte, Steignähte, Überkopfnähte).

Es ist dafür zu sorgen, daß der Schweißer einen sicheren und festen Standplatz hat und die Schweißstelle weitgehend vor Zugluft und Nässe geschützt wird. Bei der Elektrodenhandschweißung müssen die umhüllten Elek-



**Bild 14: WIG-Schweißen auf der Baustelle**

troden trocken verschweißt werden, um Porenbildung durch Feuchtigkeit zu vermeiden. Zugluft beeinträchtigt vor allem das Schutzgasschweißen.

Die vorbereiteten Nahtstellen sind vor Schweißbeginn auf Sauberkeit und metallisch blanke Oberfläche zu prüfen und gegebenenfalls mit Schleifmitteln, Bürsten und dergleichen nachzureinigen. Auch ein erneutes Entfetten kann notwendig sein. Nach dem Schweißen sind Anlauffarben auf und neben der Naht zu entfernen; hierfür kommen die gleichen Hilfsmittel in Frage. Alle diese Arbeiten muß der Schweißer vor Ort ausführen und dafür die geeigneten Arbeitsmittel griffbereit haben. An seine Zuverlässigkeit werden erhöhte Anforderungen gestellt. Wenn diese Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden, lassen sich nichtrostende Stähle auf der Baustelle einwandfrei schweißen.

## 9 Schweißaufsicht, Eignungsnachweise

Über zugelassene Werkstoffe und Verfahren trifft die jeweils gültige bauaufsichtliche Zulassung „Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen“ des DIBt Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, detaillierte Aussagen. Der Sonderdruck ist bei der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei unter der Bestell-Nr. SD 862 kostenfrei zu beziehen.

### 9.1 Gütesicherung der Schweißarbeiten, Anforderungen an die Betriebe

Schweißarbeiten an tragenden Bauteilen und Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen dürfen nur von Betrieben vorgenommen werden, die einen entsprechenden Nachweis erbracht haben. Als Nachweis gilt im allgemeinen der Große Eignungsnachweis nach DIN 18 800 Teil 7.

Sofern Schweißarbeiten nur an einfachen, serienmäßigen Bauteilen, Verankerungs- oder Verbindungsmitteln vorgenommen werden, genügt der Kleine Eignungsnachweis mit Erweiterung auf nichtrostende Stähle.

Die Bescheinigung über die Eignung der Betriebe wird von den anerkannten Stellen erteilt. Sie kann ggf. auf das Schweißen von nichtrostenden Stählen begrenzt werden.

### 9.2 Voraussetzungen für den Eignungsnachweis zum Schweißen nichtrostender Stähle

Abgesehen von den notwendigen Einrichtungen für Schweißarbeiten und den Gutachten für die o.g. Schweißverfahren muß der Betrieb als Schweißaufsichtsperson

- für den Großen Eignungsnachweis über einen Schweißfachingenieur
- für den Kleinen Eignungsnachweis über einen Schweißfachmann verfügen.

Für die Ausführung der Schweißarbeiten dürfen nur geprüfte Schweißer eingesetzt werden.

Für das Anschweißen von nichtrostenden Stählen an Betonstähle gilt DIN 4099 in Verbindung mit den Bestimmungen des Zulassungsbescheids des DIBt.

### 9.3 Schweißerprüfung für nichtrostende Stähle

Die generellen Anforderungen für die Prüfung von Stahlschweißern sind in DIN EN 287 Teil 1 (früher DIN 8650 Teil 1) festgelegt.

Nichtrostende Stähle sind in den Werkstoffgruppen

- W 04 (nichtrostende ferritische oder martensitische Stähle mit 12 - 20% Cr) und
- W 11 (rostfreie ferritisch-austenitische oder austenitische Cr-Ni-Stähle) erfaßt.

## 10 Schrifttum

J. Lefebvre:

**Guidance on Specifications of Ferrite in Stainless Steel Weld Metal**, in: *Welding in the World* 31 (1993) S. 390-406

H. Ornig/M. Richter:

**„WRC-1992-Diagramm löst DeLong-Diagramm ab“**, in: *Schweißen und Schneiden* (1997) S. 467-469

F.W. Strassburg/H. Wehner:

**Schweißen nichtrostender Stähle**, Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf 2000

W. Welz:

**Bolzenschweißen mit hochlegierten Stählen**,

Hg. Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf 1987 (Forschung für die Praxis P 133).

**Edelstahl Rostfrei - Eigenschaften**,

Hg. Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf 1997 (MB 821)

**Nichtrostende Stähle -**

**Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendung, Normen**, Hg. Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1989

**Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei**,

Hg. Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf 2000 (MB 822)

**Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6**

vom 3. August 1999

„Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen“ des DIBt,

Hg. Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf 2000 (SD 862)

Die nachstehend aufgeführten  
**Merkblätter DVS** können bezogen  
werden bei

Verlag für Schweißen und  
verwandte Verfahren  
DVS-Verlag GmbH  
Aachener Str. 172  
40223 Düsseldorf  
Tel. 02 11/15 91-0  
Fax 02 11/15 91-1 50  
Internet: [www.dvs-verlag.de](http://www.dvs-verlag.de)

**Merkblatt DVS 0504**

Transport, Lagerung und  
Rücktrocknung umhüllter  
Stabelektroden

**Merkblatt DVS 0901**

Bolzenschweißen für Metalle -  
Übersicht

**Merkblatt DVS 1609**

Widerstandspunktschweißen  
von hochlegierten Stählen im  
Schienenfahrzeugbau

**Merkblatt DVS 0917**

Unterpulverschweißen austeniti-  
scher Stähle

**Merkblatt DVS 0920**

Wolfram-Inertgasschweißen.  
Allgemeine Übersicht

**Merkblatt DVS 2905**

Buckelschweißen von unlegiertem  
Stahl bis 3 mm Blechdicke

**Merkblatt DVS 2916**

Prüfen von Punktschweißen

## 11 Normen und Regelwerke

Die nachstehend aufgeführten  
**Normen** können bezogen werden  
bei

Beuth Verlag GmbH  
Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin  
Tel. 0 30/26 01-0,  
Fax 0 30/26 01-2 32  
Internet: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)

**DIN 1910-2**, Ausgabe: 1977-08  
Schweißen; Schweißen von  
Metallen, Verfahren

**DIN 1910-4**, Ausgabe: 1991-04  
Schweißen; Schutzgasschweißen,  
Verfahren

**DIN EN 439**, Ausgabe: 1995-05  
Schweißzusätze - Schutzgase  
zum Lichtbogenschweißen und  
Schneiden

**DIN EN 1600**, Ausgabe: 1997-10  
Schweißzusätze - Umhüllte  
Stabelektroden zum Lichtbogen-  
handschweißen von nicht-  
rostenden und hitzebeständigen  
Stählen - Einteilung

**DIN EN 12072**,  
Ausgabe: 2000-01  
Schweißzusätze - Drahtelektroden,  
Drähte und Stäbe zum Licht-  
bogenschweißen von nicht-  
rostenden und hitzebeständigen  
Stählen - Einteilung

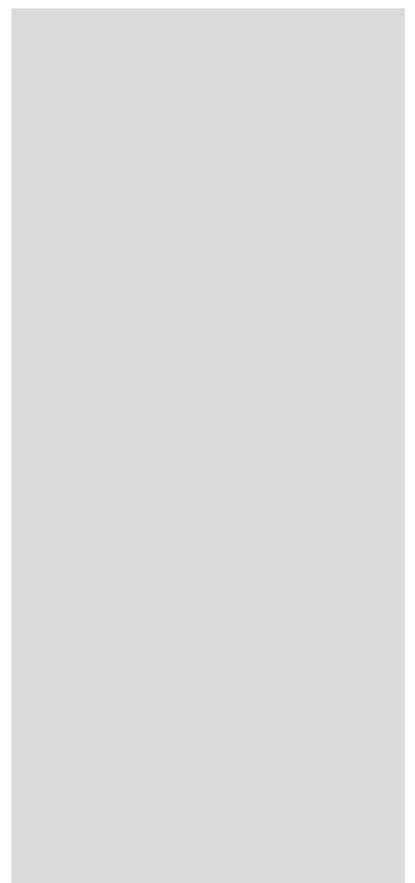
**DIN EN 12073**,  
Ausgabe: 2000-01  
Schweißzusätze - Fülldrahtelektro-  
den zum Metall-Lichtbogen-  
schweißen mit oder ohne Gas-  
schutz von nichtrostenden und  
hitzebeständigen Stählen -  
Einteilung

**DIN EN 760**, Ausgabe: 1996-05  
Schweißzusätze - Pulver zum  
Unterpulverschweißen -  
Einteilung

**DIN EN 10088-1**,  
Ausgabe: 1995-08  
Nichtrostende Stähle -  
Teil 1: Verzeichnis der nichtrosten-  
den Stähle



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei  
Postfach 10 22 05  
40013 Düsseldorf  
[www.edelstahl-rostoffrei.de](http://www.edelstahl-rostoffrei.de)



# Hinweise zur Vermeidung von Anlauffarben beim Schweißen von CrNi-Stählen

U. Killing, H. Forster und H. Böhnisch, Düsseldorf

CrNi- Stähle überziehen sich unter Einfluss des Luftsauerstoffs mit einer dünnen, nur wenige Atomlagen dicken, unsichtbaren Oxidschicht. Diese Oxidhaut, auch als Passivschicht bezeichnet, ist für die hervorragende Korrosionsbeständigkeit von CrNi- Stählen gegenüber dem Angriff vieler Medien verantwortlich.

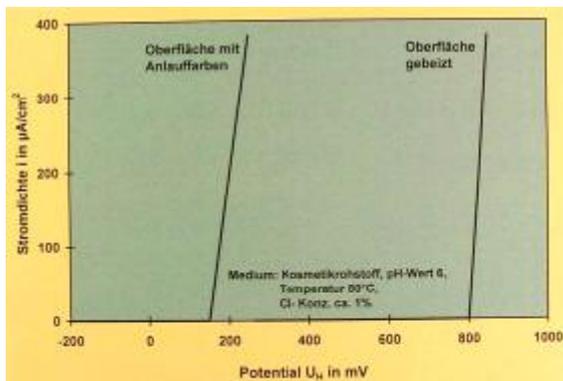
## 1 Einleitung

Beim Schweißen, Warmumformen und Wärmebehandeln von CrNi- Stählen besteht die Gefahr, dass erwärmte Werkstoffbereiche mit dem Luftsauerstoff in Berührung kommen. Hierbei bilden sich auf den Stahloberflächen bunte Oberflächenschichten aus, die als Anlauffarben bezeichnet werden. Die Farben dieser Schichten hängen unmittelbar von deren Dicke ab. Besonders an Schweißnähten kann das gesamte Farbspektrum dieser Anlaufschichten beobachtet werden (Bild 1).



**Bild 1.** Anlauffarben auf der produktberührten Seite eines CrNi-Stahlrohres

Die in unmittelbarer Nähe der Schmelzlinie gebildeten Schichten erscheinen aufgrund ihrer Dicke (>275 nm) dunkelgrau, sie gehen über den Farbton Hellgrau ins Hellblau (Dicke ca. 150 nm) und schließlich ins Dunkelblau bzw. Violett (Schichtdicke ca. 100 nm) über. Die weitere Farbabstufung reicht dann von Braunrot (Schichtdicke ca. 80 nm) bis hin zu gelblich (Schichtdicke ca. 50 nm). Diese Anlauffarben stellen keine Passivschichten dar. Vielmehr wird die Korrosionsbeständigkeit von CrNi- Stählen im Bereich dieser Anlauffarben stark verschlechtert.

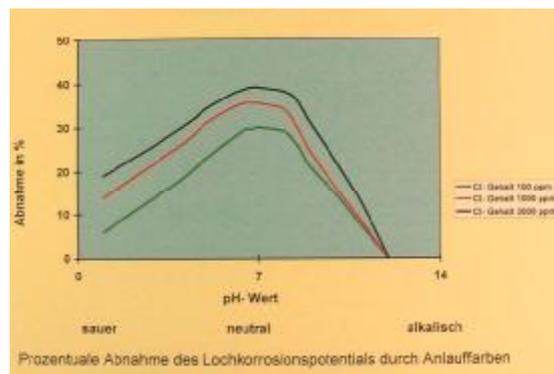


**Bild 2.** Einfluß von Anlauffarben auf das Lochkorrosionsverhalten des CrNi-Stahls 1.4571

Eigene Untersuchungen belegen, dass weniger die Beständigkeit gegenüber flächenhaften Materialabtrag durch die Anlauffarben beeinflusst wird, sondern das Korrosionsverhalten gegenüber dem Angriff von Halogenionen verschlechtert sich (Bild 2).

Als Begründung für die lockkorrosionsfördernde Wirkung von Anlauffarben wird zum einen auf das Abbrennen von Cr durch den Luftsauerstoff in den oberflächennahen Werkstoffbereichen verwiesen, zum anderen glauben Fachleute, dass die porösen Oxidschichten vom Angriffsmedium unterwandert und dann durch einen der Spaltkorrosion ähnlichen Prozess der darunter befindliche Werkstoff angegriffen wird.

Die durch Anlauffarben hervorgerufene Korrosionsgefahr ist medienabhängig (Bild 3). Während in hochalkalischen Medien Anlauffarben keinen negativen Einfluss auf das Lochkorrosionsverhalten ausüben, besteht in halogenionenhaltigen Säuren durchaus die Gefahr, dass durch Anlauffarben Lochkorrosionserscheinungen hervorgerufen werden. Allerdings wird in Säuren vielfach ein s.g. Selbstbeizeffekt beobachtet, d.h. die Anlauffarben werden durch das Medium selbst von der Stahloberfläche entfernt, bevor Korrosionsangriff einsetzen kann. Die größte Lochkorrosionsgefahr durch Anlauffarben wird in leicht sauren, neutralen und im geringeren Maße in leicht alkalischen Medien beobachtet. Besonders in chloridhaltigen Wässern machen sich Anlauffarben negativ bemerkbar.



**Bild 3.** Medienabhängiger Einfluß von Anlauffarben auf das Lochkorrosionsverhalten von CrNi-Stählen

Die obigen Ausführungen belegen, dass bei der Fertigung von Komponenten für Chemieanlagen das Vermeiden von Anlauffarben von großer Bedeutung ist. Besonders in unzugänglichen Bereichen von Apparaten, z.B. in Halbröhren- oder Vollrohrschlangen, Verschlussnähten von Doppel- oder Wärmetauschermänteln oder aber in Rohrleitungsgewerken ist das Vermeiden von Anlauffarben

vielfach äußerst schwierig, vor allem dann, wenn ein Beizen dieser Anlagenteile nicht möglich oder aus Umwelt- und Arbeitsschutzgründen unerwünscht ist.

Im folgenden sollen einige grundlegende Empfehlungen zur Vermeidung von Anlauffarben in schwer zugänglichen Anlagenteilen durch den Einsatz von Wurzelschutzgasen gemacht werden. Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, dass vor allem beim Schweißen auf der Baustelle, trotz Beachten aller Regeln zur Anlauffarbenvermeidung, vielfach Farbschattierung auf den Werkstoffoberflächen festgestellt werden, die u.U. nur mit erheblichem Aufwand beseitigt werden können. In Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen können diese Schichten in vielen Fällen belassen werden. Auch diesbezüglich werden in den folgenden Ausführungen Kompromissmöglichkeiten aufgezeigt.

## 2. Wurzelschutzgase

Als Wurzelschutzgas kommen sowohl inerte (z.B. Argon) oder reaktionsträge Gase (Stickstoff) als auch reduzierend wirkende Gasgemische wie Stickstoff-Wasserstoff-(Formier-) Gase und Argon Wasserstoffgemische zur Anwendung. Mittels der Schutzgase soll die Luft aus dem Nahtwurzelbereich verdrängt werden. Dabei hängt die Beantwortung der Frage, welches Wurzelschutzgas im Einzelfall einzusetzen ist, von mehreren Faktoren ab. Daher im Folgenden einige allgemeine Hinweise:

Argon ist im Vergleich zu den anderen Wurzelschutzgasen teuer. Es bietet jedoch den Vorteil, dass es vor allem im Rohrleitungsbau zum WIG-Schweißen benötigt wird und daher immer auf der Baustelle verfügbar ist. Somit erübrigt sich vielfach der zeitaufwendige Transport von weiteren Gasflaschen und Zubehörteilen auf die Baustelle. Dieser Vorteil sollte bei kleineren Instandhaltungs- und Umbaumaßnahmen genutzt werden, besonders wenn nur kleinere Leitungsvolumina befüllt werden müssen. Argon ist schwerer als Luft, d.h. um die Luft vollständig aus einer Rohrleitung oder einem Behälter zu entfernen, muss Argon immer von der tiefsten Stelle aus in das System eingelassen werden. Wenn aus konstruktiven Gründen ein Bauteil oder eine Rohrleitungen nur von unten mit Gas gespült werden kann, muss unbedingt Argon als Wurzelschutzgas eingesetzt werden.

Stickstoff ist deutlich preisgünstiger als Argon. Daher empfiehlt sich der Einsatz von Stickstoff vor allem dann, wenn großvolumige Bauteile mit Gas gefüllt werden müssen. Stickstoff ist leichter als Luft und muss demzufolge von oben in das zu spülende Bauteil eingefüllt werden. Für den Fall, dass eine Befüllmöglichkeit nur von oben zur Verfügung steht, ist Stickstoff eine mögliche Alternative. Allerdings können bei Verwendung von Stickstoff als Wurzelschutzgas beim Schweißen Ti-stabilisierter Stähle leichte gelbliche Verfärbungen im Schweißnahtbereich auftreten, die auf die Bildung von Ti-Nitriden zurückzuführen sind. Diese Ti-Nitride beeinflussen in der Regel das Korrosionsverhalten nicht. Bei Anwendungen in der Kosmetik-, Lebensmittel- oder Pharmaindustrie wird der Einsatz von Stickstoff als Wur-

zelschutzgas teilweise eingeschränkt.

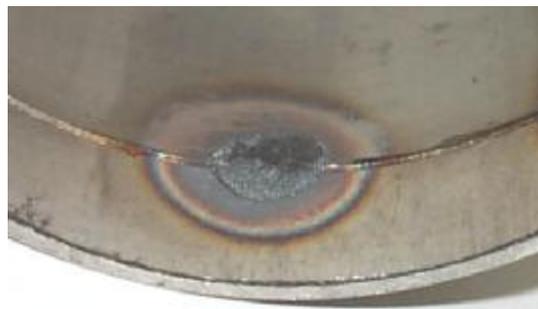
Stickstoff-/Wasserstoffgemische werden mit H<sub>2</sub>-Anteilen von 5 – 30% eingesetzt. Aus Sicherheitsgründen müssen Gasgemische ab 10% abgefackelt werden. Wurzelschutzgase mit mehr als 4% H<sub>2</sub> können mit Luft zünd- bzw. explosionsfähige Gemische bilden. Besonders beim Formieren in existierenden Anlagen besteht die Gefahr, dass vagabundierende Wurzelschutzgase sich unbenutzt in Todräumen oder angrenzenden Behältern usw. ansammeln und dort zu Verpuffungen oder Explosionen führen. Der Einsatz von wasserstoffhaltigen Wurzelschutzgasen außerhalb von Werkstätten sollte daher in chemischen Werken ausschließlich nach Absprache mit dem Anlagenbetreiber erfolgen. Wurzelschutzgase mit mehr als 5% Wasserstoff sollten in Chemieanlagen generell nicht verwendet werden. Stickstoff-/Wasserstoff-Gemische sind ebenfalls leichter als Luft und müssen demzufolge auch von oben in das Bauteil eingeführt werden. Auch bei Verwendung dieser Gasgemische kommt es zur Bildung von Ti-Nitriden beim Schweißen Ti-stabilsierter CrNi-Stähle.

## 3. Vorbereitende Arbeiten

Im Falle von dünnwandigen Bauteilen sind die einzelnen Fügepartner möglichst spaltfrei zu positionieren. Das Heften von Bauteilen, die keiner extremen Korrosionsbelastung ausgesetzt sind, kann ohne Wurzelschutzgasbeaufschlagung der Nahtwurzeln durchgeführt werden.



a) „unverbrannte“ Heftstelle an der Wurzelseite



b) „verbrannte“ Heftstelle an der Wurzelseite

**Bild 4:** Unterschiedlich ausgeführte Heftstellen an CrNi- Stahlrohren

Voraussetzung ist, dass kleine Heftstellen ausgeführt werden, die auf der Rohrinneenseite nur geringfügige Verfärbungen hervorrufen und später beim eigentlichen Verbindungsschweißen vollständig aufgeschmolzen

werden (Bild 4 a). Heftstellen wie sie in Bild 4 b wiedergegeben sind, sind unzulässig und führen zu örtlich „verbrannten“ Schweißnahtbereichen an der fertigen Naht. Das Heften von Schweißnähten in korrosiv hochbeanspruchten Gewerken bzw. in Pharma-, Kosmetik- oder Lebensmittelanlagen muss dagegen unter Wurzelschutzgas vorgenommen werden.

Je nach Komplexität und Größe des zu verschweißenden Bauteils wird entweder das gesamte Bauteilvolumen vollständig von innen mit Wurzelschutzgas gefüllt oder aber nur der jeweils zu schweißende Nahtbereich mit Gas geflutet.

Bei ersterer Methode müssen alle möglichen Lufteintrittsstellen vor Schweißbeginn verschlossen werden. Für das Verschließen von Spalten im Nahtbereich haben sich spezielle Klebefolien auf Aluminiumbasis bewährt (Bild 5). Diese Folien müssen so angebracht werden, dass sie vom Schweißer während des Schweißprozesses nach und nach entsprechend des Nahtfortschritts abgezogen werden können. Zu große Öffnungen im Bereich der Schweißfuge führen unmittelbar zu Einwirbelungen von Luft an die Nahtwurzel und damit zur Ausbildung von Anlaufarben. Andere Öffnungen, wie Flansche oder Rohrenden



**Bild 5.** Zum Schweißen vorbereitete Rohrleitungsisometrie aus CrNi-Stahl



**Bild 6** Flanschabdichtung beim Schweißen von CrNi-Stahlrohren

können mit Deckeln verschlossen werden (Bild 6). Je nach Art des Wurzelschutzgases ist die Gaszuführung an der tiefsten bzw. höchsten Stelle des zu schweißenden Bauteils vorzusehen. Wichtig ist dabei, dass das Gas wieder aus dem System entweichen kann, ohne dass im

Inneren des Bauteils ein nennenswerter Überdruck erzeugt wird, der ein ordnungsgemäßes Verschließen der Schweißnaht verhindert (Gefahr von Endkraterporen). In der Praxis hat es sich bewährt, wenn am Wurzelschutzgasaustritt mittels eines Restsauerstoffmessgerätes der verbliebene Sauerstoffanteil bestimmt wird. Der Schweißprozess kann beginnen, wenn am Gasaustritt ein Restsauerstoffanteil im Wurzelschutzgas von ca. 50 vpm ermittelt wird.

Da das vollständige Füllen ganzer Bauteile mit Wurzelschutzgas sehr zeitaufwendig und wegen des hohen Gasverbrauchs auch vergleichsweise teuer ist, wird bei einfachen Rohrleitungsverläufen mit speziellen Vorrichtungen (Formierkammern) lediglich der unmittelbare Nahtbereich mit Wurzelschutzgas abgedeckt (Bild 7). Dabei wird sowohl die Spüldauer vom Start der Gaszuführung bis zum Schweißbeginn als auch die benötigte Wurzelschutzgasmenge erheblich verringert.



**Bild 7.** Biegsame Formiergaseinrichtung

Für das Einleiten des Wurzelschutzgases in das Bauteil empfiehlt sich das Verwenden spezieller Vorrichtungen aus porösem Sintermetall (Bild 8), mit denen ein laminares Einströmen des Gases in das Bauteil ohne nennenswerte Lufteinwirbelung erzielt werden kann.



**Bild 8.** Formiergaseintritt aus porösem Sintermetall

Dabei sollte die Wurzelschutzgasmenge nicht zu hoch gewählt werden, da mit hoher Strömungsgeschwindigkeit

des Gases, die Gefahr von Luftwirbelungen in das Bauteil größer wird. Wurzelschutzgasmengen zwischen 8 – 15 l/min haben sich im Chemierohrleitungsbau bei üblichen Rohrabmessungen (DN 50 – DN 100) in der Praxis bewährt.

Ein vielfach beobachteter Fehler beim Fügen mit Wurzelschutz besteht darin, dass die Wartezeit zwischen dem Beginn der Wurzelschutzgaszuführung in das Bauteil und dem Schweißbeginn zu kurz bemessen ist. Vielmehr muss dem Schutzgas eine ausreichende Zeitspanne zur Verdrängung der Luft aus dem Bauteilinneren eingeräumt werden. Wenn auf das Messen des Restsauerstoffgehaltes am Gasaustritt verzichtet wird, kann mittels spezieller Diagramme die notwendige Wartezeit (Gasvorspülzeit) bis zum Schweißbeginn abgeschätzt werden /1/. Nach ausreichender Vorspülung des Bauteils sollten die Schweißarbeiten immer an der Schweißnaht beginnen, die der Eintrittsstelle des Wurzelschutzgases am nächsten liegt. Von der Eintrittsstelle sollte man sich dann in Richtung des Gasaustritts vorarbeiten. Beginnt man die Schweißarbeiten entgegengesetzt besteht die Gefahr, dass am Strangende noch Restsauerstoffanteile vorhanden sind, die zu Anlauffarben führen können. Das vielfach aus Zeitersparnis praktizierte Arbeiten mit mehreren Schweißern gleichzeitig an einem Bauteil ist daher nur zu empfehlen, wenn man absolut sicher ist, dass kein Restsauerstoff mehr im Bauteilinneren übrig geblieben ist. Da die Anlauffarbenbildung erst bei Oberflächentemperaturen < 200 °C gänzlich ausgeschlossen werden kann, muss die Wurzelschutzgaszufuhr nach Beendigung des Schweißvorganges solange aufrechterhalten werden, bis das Bauteil auf ca. 150 °C abgekühlt ist. Ein zu frühes Unterbrechen der Wurzelschutzgaszuführung führt unmittelbar zur Bildung von Anlauffarben.

#### 4. Sicherheitsbestimmungen

Beim Umgang mit Wurzelschutzgasen sind die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften, z.B. BGV D1, zu beachten. Ferner sind die Festlegungen in den Sicherheitsdatenblätter der Gashersteller zu berücksichtigen. Der ordnungsgemäße Umgang mit Wurzelschutzgasen ist in einer Betriebsanweisung zu dokumentieren.

Bei Verwendung von wasserstoffhaltigen Wurzelschutzgasen sind Explosions- und Brandschutzmaßnahmen zu ergreifen. Werden wasserstoffhaltige Wurzelschutzgase an der Gasaustrittsöffnung abgepackelt, muss eine Gefährdung von Personen durch diese fast unsichtbar brennende Flamme, z.B. durch Absperrmaßnahmen oder Hinweisschilder ausgeschlossen werden.

Besonders beim Arbeiten mit Wurzelschutzgasen in engen Räumen kann durch unkontrolliertes Austreten der Gase eine erhöhte Erstickungsgefahr durch Sauerstoffverarmung entstehen. Eine kontinuierliche Überwachung der Umgebungsluft im Arbeitsbereich ist daher durchzuführen. Auf die Gefahren im Umgang mit Wurzelschutzgasen ist im Freigabeschein hinzuweisen.

#### 5. Fehlerursachen beim Wurzelschutz

Trotz sorgfältiger Vorbereitung der Bauteile und trotz aller Vorsicht beim Schweißen kommt es vor allem auf Baustellen immer wieder zur Ausbildung von Anlauffarben auf CrNi- Stahloberflächen. Daher nachfolgend eine Aufzählung möglicher Fehlerursachen:

- Die Gasvorströmzeit war zu gering bemessen, so dass Restsauerstoff im Bauteil verblieben ist.
- Die Gasdurchflussmenge war zu gering eingestellt. Ursache kann beispielsweise ein defekter Gasmengenmesser an der Gasarmatur sein. Werden auf der Baustelle Wurzelschutzgase, die schwerer sind als Luft, mit langen Schlauchleitungen über mehrere Etagen nach oben transportiert, kann ebenfalls eine geringere Gasmenge als vorgesehen am Bauteil ankommen. Es empfiehlt sich daher, den am Bauteil ankommenden Wurzelschutzgasstrom mit einem separaten Gasmengenmessröhrchen zu kontrollieren
- Die Gasdurchflussmenge war zu hoch eingestellt, so dass durch eine turbulente Strömung im Bauteil eine Vermischung von Wurzelschutzgas und Luft hervorgerufen wurde.
- Das Wurzelschutzgas war durch den Gashersteller mit geringen Sauerstoffanteilen verunreinigt. Als Abhilfemaßnahme empfiehlt es sich, eine andere Gasflasche aus einer anderen Lieferung anzuschließen.
- Die angeschlossene Gasflasche wurde verwechselt. Statt Reinargon wurde z.B. Argon mit 1% Sauerstoff angeschlossen .
- Die Gasschläuche für die Wurzelschutzgaszufuhr waren porös oder undicht und müssen ausgewechselt werden.
- Die Wurzelschutzgaszufuhr wurde vor Erkalten des Bauteils unterbrochen.
- Die verwendeten Abdeckungen der Öffnungen bzw. die Abklebungen der Schweißnähte waren undicht, bzw. beim Schweißen der Nähte wurde das Abklebband zu früh oder zu großflächig entfernt.
- Die Einfüllrichtung des Wurzelschutzgases wurde falsch gewählt, d.h. Argon wurde von oben oder Stickstoff von unten in das Bauteil eingeleitet.
- Durch eine falsche Haltung des WIG- Brenners bei gleichzeitig zu hoch eingestellter Schutzgasmenge wurde Sauerstoff von oben durch den Schweißspalt in das Bauteilinnere eingewirbelt.
- Bei Instandhaltungsarbeiten wurde das Bauteilinnere nicht vollständig von Produktresten (z.B. Anbackungen) befreit. Unter Einfluss der Schweißwärme können bestimmte Substanzen Sauerstoff freisetzen und somit zur Anlauffarbenbildung beitragen.
- Heftstellen wurden ohne Wurzelschutzgas mit zu hoher Stromstärke hergestellt.

#### 6. Kriterien für die Zulässigkeit von Anlauffarben

Im Chemieanlagenbau gilt grundsätzlich die Prämisse, dass Anlauffarben auf produktberührten CrNi- Stahloberflächen nicht zulässig sind und daher unbedingt vermie-

den bzw. beseitigt werden müssen. Unter produktberührt werden dabei auch die Oberflächen verstanden, die mit Wasser, Dampf, Kühlsole oder Wärmeträgeröl in direktem Kontakt stehen.

Die Ergebnisse von eigenen Fertigungskontrollen im Apparatebau weisen jedoch nach, dass an 30% der inspeziierten Investitionsgüter Anlauffarben auf produktberührten Oberflächen vorgefunden werden. Gleiches gilt auch für die untersuchten Rohrleitungsgewerke. Hierbei liegt der Anteil bemängelter Anlauffarben vor allem bei Baustellenschweißungen deutlich höher.

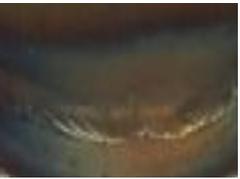
Wie oben schon erwähnt, gilt grundsätzlich die Forderungen an den Fertigungsbetrieb, das Bauteil anlauffarbenfrei abzuliefern. Allerdings zeigt die Praxis, dass vielfach aus technischen Gesichtspunkten, z.B. auf Baustellen, Anlauffarben mit einem vertretbaren Aufwand nicht vollständig vermieden werden können. Darüber hinaus bereitet das Entfernen von Anlauffarben in komplizierten Behältergeometrien (Halbrohrschlangen, Doppelmänteln, Apparate ohne Mannlöcher) oder aber in verwinkelten Rohrleitungssystemen erhebliche Schwierigkeiten, so dass sehr oft spontan bei der Abnahme des Gewerks vor Ort entschieden werden muss, ob die vorgesehenen Betriebsbedingungen einen sicheren Betrieb des Bauteils auch mit Anlauffarbenbelegung gestatten.

Die nachfolgend aufgeführte Anlauffarbenrichtreihe (Tabelle 1) kann dabei aufgrund der vielfach komplexen Verhältnisse in einer Chemieanlage nur begrenzt als Entscheidungshilfe herangezogen werden. Vor allem erhebt diese Entscheidungshilfe nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. In Tabelle 1 wird der Versuch unternommen, zulässige Anlauffarbenspektren in Abhängigkeit vom jeweiligen Angriffsmedium zu definieren. Die in der Tabelle 1 aufgeführten Aussagen beruhen dabei z.T. auf den Erkenntnissen eigener Korrosionsversuche, zum anderen wurden Betriebserfahrungen (Auswertung von Schadensfällen) in die Betrachtung einbezogen.

**Literatur**

[1] N.N.: DVS-Merkblatt 0937 „Wurzelschutz beim Schutzgasschweißen“, DVS-Verlag Düsseldorf, 1990

**Tabelle 1.** Zulässigkeitskriterien für Anlauffarben (gültig für Werkstoffe 1.4401, 1.4404, 1.4571 u.ä.) im Temperaturbereich < 60 °C

				
Hohe Korrosionsbelastung durch Halogenionen, z.B. pH-Wert < 8, Chloridgehalt > 200 ppm  Rohstoffe für die Pharma-, Kosmetik- oder Lebensmittelindustrie unabhängig vom pH-Wert und Halogenionen	Alkalische Medien mit pH-Werten > 8 und Chloridgehalten < 1000 ppm  Neutrale und saure Medien mit pH-Werten <8 und Chloridgehalten < 200 ppm	Alkalische Medien mit pH-Werten >8 und Chloridgehalten < 500 ppm  Neutrale und saure Medien mit pH-Werten < 8 und Chloridgehalten < 50 ppm	Luft und Gase Hochtemperaturanwendungen Chloridfreie Lösungen	Absolut unzulässig im produktberührten Bereich  Zulässig auf Außenoberflächen von Rohrleitungen, die mit Industrieatmosphäre in Kontakt kommen

## Zusätze und Hilfsstoffe zum Verbinden metallischer Werkstoffe

### Neue Schutzgase zum Schweißen von hochlegierten Stählen

U. Jenter, Münster

Die metallverarbeitenden Betriebe stehen heute mehr denn je unter einem enormen Kostendruck. Nachfolgend werden eine Reihe aktueller Neu- und Weiterentwicklungen bei den Schutzgasen für hochlegierte Stähle vorgestellt, durch deren Einsatz die Möglichkeit besteht, die Schweißleistung erheblich zu steigern und mit relativ einfachen Mitteln wirtschaftlichen Nutzen zu erzielen.

### Optimale Schweißresultate mit Schutzgasen

Für das Verbinden von hochlegierten Stählen wird nach wie vor zumeist das Schutzgasschweißen eingesetzt. Richtigerweise wird schon in der Verfahrensbezeichnung auf die Schutzgasverwendung hingewiesen – hat dieses doch entscheidenden Einfluß auf den Schweißprozeß. Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften der Schutzgase sind die Ionisierungsenergie, die Wärmeleitfähigkeit und das chemische Reaktionsverhalten.

Die Ionisierungsenergie ist die Energiemenge, die nötig ist, um ein Elektron aus einem Atom herauszulösen und damit den Lichtbogen elektrisch leitfähig zu machen. Ist die Ionisierungsenergie gering, so läßt sich der Lichtbogen leicht zünden und brennt stabil. Die Ionisierungsenergie, die verbraucht wird, um ein Elektron aus seinem Verband herauszulösen, wird am Werkstück durch Rekombination wieder freigesetzt. Diese Energie steht dann für den Schweißprozeß zur Verfügung. Gase, die also aufgrund ihrer geringen Ionisierungsenergie einen stabilen Lichtbogen erzeugen, übertragen auf der anderen Seite die Energie nicht so gut auf das Werkstück. Ein anderer Mechanismus der Energieübertragung ist die Wärmeleitung. Dabei ist besonders die Wärmeleitfähigkeit der Gase entscheidend. Beim chemischen Verhalten der Gase unterscheidet man in der Schweißtechnik zwischen inert, oxidierend oder reduzierend, Tabelle 1. Sobald oxidierende Gase im Spiel sind, entsteht ein Abbrand von Legierungselementen.

Tabelle 1. Physikalische Eigenschaften der Schutzgase.

Schutzgas	Dissoziationsenergie [kJ/mol]	Ionisationsenergie (atomar) [kJ/mol]	chemisches Verhalten
Argon	–	1525	inert
Helium	–	2374	inert
Wasserstoff	436	1312	reduzierend
Stickstoff	946	1399	reaktionsträge
Sauerstoff	498	1168	oxidierend
Kohlenstoffdioxid	394	1332	oxidierend

## Schneller WIG-schweißen mit Wasserstoff

Tabelle 2 listet auf, welche Beimengungen zum Argon beim WIG-Schweißen üblich sind und welche Vorteile daraus resultieren. Beim WIG-Schweißen muß wegen der nicht abschmelzenden Elektrode mit inerten oder reduzierenden Gasen gearbeitet werden. Standardgas ist hierbei immer noch Argon. Argon überträgt jedoch aufgrund der geringen Ionisierungsenergie bei gleichzeitig niedriger Wärmeleitfähigkeit die Energie des Lichtbogens schlecht auf das Werkstück. Mehr gefragt sind deshalb Gase, welche die Wärmeleitfähigkeit erhöhen. Zunächst bietet sich als weiteres inertes Gas Helium an, das im Temperaturbereich ab etwa 3000 °C eine höhere thermische Leitfähigkeit besitzt als Argon. Als weitere Alternative kommt das reduzierende Gas Wasserstoff in Frage. Wasserstoff besitzt bei Temperaturen um 4000 °C die größte thermische Leitfähigkeit aller Schutzgase. Die Wirkung eines zwei-prozentigen Wasserstoff-Anteils im Schutzgas Argon kann mit der Wirkung eines drei-prozentigen Helium-Anteils verglichen werden. Ob Wasserstoff bei einem Werkstoff eingesetzt werden kann, hängt zum einen von dessen Löslichkeit, zum anderen von dem Löslichkeitssprung beim Übergang von der Schmelze zum festen Zustand ab. Besonders kritisch ist das zum Beispiel bei Aluminium. Aber auch der unlegierte Stahl mit seinem kubisch-raumzentrierten Metallgitter neigt je nach Festigkeit zur Wasserstoffversprödung. Problemlos dagegen sind Wasserstoff-Anteile im Schutzgas bei austenitischen Stählen anzuwenden, auch wenn diese einen gewissen Deltaferrit-Anteil besitzen. Bei austenitischen Stählen läßt sich daher der Einbrand, wie Bild 1 zeigt, und damit die Schweißgeschwindigkeit durch Zugabe von Wasserstoff drastisch erhöhen.

Tabelle 2. Schutzgase zum WIG-Schweißen.

Schutzgas	Vorteil	Anwendung
Argon	universell einsetzbar	alle metallischen Werkstoffe
Argon-Wasserstoff-Gemische	hohe Schweißgeschwindigkeit, schmale Naht, geringe Oxidation	austenitische Stähle
Argon-Stickstoff-Gemische	Minimierung des Deltaferrit-Gehaltes, verbesserte Korrosionsbeständigkeit	austenitische Stähle
Argon-Helium-Gemische	hohe Schweißgeschwindigkeit	alle metallischen Werkstoffe, insbesondere Duplex-Stahl

Der Wasserstoff überträgt zum einen die Wärme des Lichtbogens besser auf das Werkstück, zum anderen verringert er die Viskosität der Schmelze. Die besseren Fließeigenschaften ermöglichen wiederum höhere Schweißgeschwindigkeiten. Beim mechanischen WIG-Schweißen, wo die höhere Energieeinbringung direkt in Schweißgeschwindigkeit umgesetzt werden kann, sind Anteile von 5 bis 7,5 % Wasserstoff üblich. Beim Handschweißen bleibt man meist unterhalb von 5 % Wasserstoff, mit folgendem Vorteil: Das sonst zähfließende Schweißgut der austenitischen Stähle fließt besser und man erzielt eine bessere Flankenbindung und Kehlnahtausbildung.

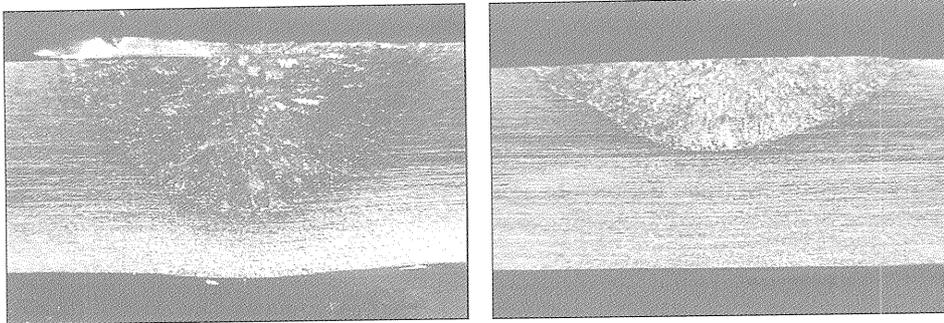


Bild 1. Bei austenitischen Stählen läßt sich der Einbrand durch Argon-Wasserstoff-Gemische deutlich erhöhen.

## Teilnahtschweißen für perfekte Rohrverbindungen

Die Vorteile eines Wasserstoff-Anteils werden auch beim Orbitalschweißen genutzt. Zusammen mit dem patentierten Teilnahtschweißen lassen sich durch den Wasserstoff-Anteil im Schutzgas Rohrverbindungen bis zu einer Wanddicke von 5 mm in einer Lage ohne Schweißzusatz herstellen. Beim Teilnahtschweißen wird die Naht, die beim Orbitalschweißen normalerweise umlaufend ( $360^\circ$ ) geschweißt wird, in zwei Teilnähte unterteilt. Dabei beginnt die erste Teilnaht in der 6-Uhr-Position und wird zu einer Seite steigend bis 13 Uhr geschweißt. Die zweite Teilnaht wird dann mit einer Vorheizstrecke in der 6-Uhr-Position und mit einer Überlappung steigend bis 12 Uhr geschweißt.

Das Verfahren ist besonders geeignet für die Anforderungen der Molchtechnik: Hier sind zum einen größere Wanddicken zu verschweißen, zum anderen werden höhere Anforderungen an die Schweißnahtqualität gestellt. Das gilt insbesondere für den Wurzeldurchhang und den Wurzelrückfall. Übliche Wanddicken im Chemieanlagenbau liegen zum Beispiel für DN 150 bei 2,6 mm. Nimmt man die vergleichbare Rohrenweite im molchbaren Rohrleitungsbau, so beträgt die Wanddicke hier 4,5 mm. Diese Wanddicken sind mit dem konventionellen Orbitalschweißen nicht mehr in einer Lage ohne Schweißzusatz zu beherrschen, da während des Schweißprozesses alle Schweißpositionen durchlaufen werden. Besonders kritisch ist dabei die Fallnahtposition, wo durch die vorlaufende Schmelze die Lichtbogen-Spannung beeinträchtigt wird und der kleinste Kantenversatz zu Wurzelfehlern führen kann. Ferner ist bei der Fallnaht die Schweißleistung begrenzt. In der Position PG liegen auch schlechtere Entgasungsbedingungen vor, so daß hier sehr schnell Poren entstehen können. Die Obergrenze der verschweißbaren Rohrwanddicke liegt deshalb beim konventionellen Orbitalschweißen bei etwa 3,2 mm in einer Lage ohne Zusatz.

Das Teilnahtschweißen dagegen vermeidet den kritischen Fallnahtbereich. Auch ein Kantenversatz oder Luftspalt, der auf Baustellen leicht vorkommen kann, wird sicher beherrscht. Mit diesem Verfahren lassen sich bei Wanddicken über 5 mm größere Steghöhen sicher verschweißen und die Füllagen mit mehr Zusatzwerkstoff schweißen. Lagenanzahl und Schweißzeit werden erheblich reduziert.

## Mit Stickstoff Deltaferrit reduzieren

Eine weiteres Problem, zu dessen Lösung paßgenau abgestimmte Schutzgase beitragen können, besteht beim Verschweißen von Vollausteniten. Hier muß der Deltaferrit-Gehalt unter 1 % liegen. Diese Forderung läßt sich durch die Wärmebeeinflussung beim Schweißen nicht immer einhalten. Eine Eigenschaft des Stickstoffs als Legierungselement ist es, den Austenit-Anteil im Gefüge zu erhöhen beziehungsweise seine Bildung zu beschleunigen. Schutzgase mit Stickstoff-Anteil reduzieren daher den Deltaferrit-Gehalt. Bei einer Rohrleitungsbaufirma, die Produkte für die pharmazeutische Industrie herstellt, konnte man den Deltaferrit-Gehalt in Rohrleitungen aus hochlegiertem Edelstahl (Werkstoff-Nr. 1.4435, Wanddicke 2 mm, Rohrdurchmesser 42,4 mm) durch Zugabe von 5 % Stickstoff im Schutzgas von über 3 % auf durchschnittlich 0,5 % senken. So wurde die Spezifikation des pharmazeutischen Unternehmens eingehalten und die Korrosionssicherheit erhöht. Bild 2 zeigt ein auf diese Weise geschweißtes Bauteil.

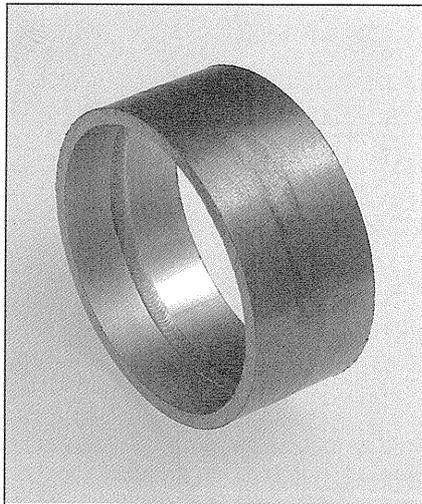


Bild 2. Argon-Stickstoff-Gemische reduzieren den Deltaferrit-Gehalt bei vollaustenitischen Stählen.

## Regelbare Kühlung mit Formiergas

Gerade im Rohrleitungsbau spielt die Formierung der Wurzelrückseite beim WIG-Schweißen für die Qualität der Schweißnaht eine entscheidende Rolle. Eine Neuentwicklung bietet hier durch eine regelbare Zuführung erstaunliche Möglichkeiten. Dazu wird tiefkalt verflüssigtes Gas eingesetzt, so wie es von Großverbrauchern üblicherweise in stationären Tanks bei seiner jeweiligen Siedetemperatur gespeichert wird. Über Verdampfer werden die Gase dann gasförmig mit annähernd Umgebungstemperatur entnommen. Neu ist, daß die Kälte des Formiergases, zum Beispiel bei Argon  $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$ , genutzt wird, um die Schweißnaht von der Rückseite zu kühlen. Hierzu wird das Gas flüssig entnommen. Da eine reine Flüssigentnahme

aber eine zu starke Abkühlung nach sich zieht, wurde eine Temperatursteuerung entwickelt, die den Wechsel zwischen Flüssig- und Gasphase regelt. Als Regelgröße mißt man eine Referenztemperatur am Werkstück. Bild 3 zeigt die Anwendung beim Schweißen einer Rohrrundnaht.

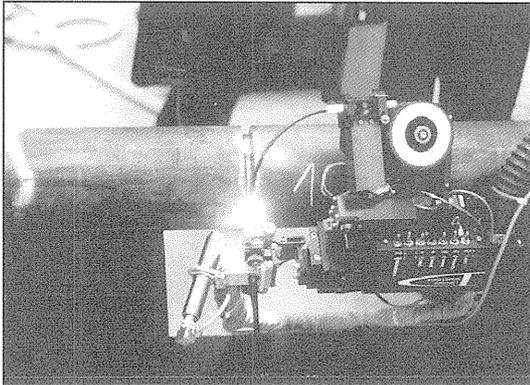


Bild 3. Temperaturmessung während des Schweißens zur Steuerung der Kühlung. Die Kälte des Formiergases wird zur Kühlung der Schweißnaht genutzt.

Durch die Kühlung der Schweißnaht ergeben sich zahlreiche Vorteile. Bei Mehrlagenschweißungen ist für das Erreichen der Zwischenlagentemperatur keine Wartezeit erforderlich und die Gesamtschweißzeit läßt sich dadurch erheblich reduzieren. Ferner erhält man eine schmale Wärmeeinflußzone, was zur Erhöhung der Korrosionssicherheit beiträgt. Auch bei heißrißempfindlichen Werkstoffen ermöglicht dies ein relativ „kaltes Schweißen“. Weitere Anwendungen sind überall dort denkbar, wo ein geringer Wärmeeinfluß gefordert wird.

### Zeit sparen beim MAG-Schweißen

Tabelle 3 enthält die Schutzgase zum MAG-Schweißen hochlegierter Stähle. Auch bei diesen Stählen wird zunehmend versucht, die gegenüber dem WIG-Schweißen höhere Abschmelzleistung des MAG-Verfahrens zu nutzen. Beim MAG-Schweißen sorgt der Aktivgas-Anteil für einen stabilen Prozeß. Die entscheidende Komponente ist dabei der Sauerstoff, der entweder direkt oder in Form von Kohlenstoffdioxid zugegeben wird. Durch den Sauerstoff bildet sich Metalloxid, das sich leichter ionisieren läßt und dadurch den Lichtbogen stabilisiert. Die Metalloxid-Bildung ist eine exotherme Reaktion, die zusätzlich Energie zur Verfügung stellt. Ferner verringert Sauerstoff die Viskosität der Schmelze, während Kohlenstoffdioxid die Viskosität erhöht. Beide aktiven Gase haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Argon und übertragen dadurch die Wärme des Lichtbogens besser auf das Werkstück. Durch die Dissoziation der molekularen Gase Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid im Lichtbogen vergrößert sich das Gasvolumen und ergibt einen guten Gasschutz. Dies gilt bei Kohlenstoffdioxid noch in weit stärkerem Maße als bei Sauerstoff. Mit zunehmendem Aktivgas-Anteil steigt aber auch der Spritzeranwurf, da die tropfenablösende Pinch-Kraft nicht so gut wirken kann.

Tabelle 3. Schutzgase zum MAG-Schweißen hochlegierter Stähle.

Produkt	Gemischkomponenten	Gruppe nach DIN EN 439	Anwendung
Argon-O <sub>2</sub> -Gemische	1 % O <sub>2</sub> , Rest Argon 3 % O <sub>2</sub> , Rest Argon 4 % O <sub>2</sub> , Rest Argon	M13, M14, M22	hochlegierte Stähle
Argon-CO <sub>2</sub> -Gemisch	2,5 % CO <sub>2</sub> , Rest Argon	M12	hochlegierte Stähle
Argon-CO <sub>2</sub> -He-Gemisch	30 % He, 0,5 % CO <sub>2</sub> , Rest Argon	M11	hochlegierte Stähle Mehrlagenschweißung
Argon-O <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> -Gemisch	1 % O <sub>2</sub> , 4 % CO <sub>2</sub> , Rest Argon	M14	hochlegierte Stähle und unlegierte Stähle

Beim unlegierten Stahl wird heute meist ein Gemisch aus Argon und 18 % Kohlenstoffdioxid angewendet. Dieser relativ hohe Kohlenstoffdioxid-Anteil würde jedoch beim hochlegierten Stahl zu einem unzulässig hohen Zubrand an Kohlenstoff führen, der die Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion (IK) durch Chromkarbid-Bildung stark reduzieren würde. Ursprünglich wurde daher beim MAG-Schweißen von hochlegierten Stählen mit Argon-Sauerstoff-Gemischen gearbeitet. Sauerstoff ist für die Metallurgie unbedenklich, führt jedoch zu einer stärkeren Oxidation der Naht. Bei Kohlenstoffdioxid wird allgemein eine Grenze von 5 % im Schutzgas zur Sicherung der Korrosionseigenschaften als unbedenklich angesehen. Eine Zumischung von 2 bis 2,5 % Kohlenstoffdioxid zum Argon hat sich daher in der Praxis bewährt. Wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit der hochlegierten Stähle reichen diese geringen Aktivgas-Komponenten aus, um einen sicheren Einbrand zu gewährleisten. Bei Mehrlagenschweißungen ist jedoch die Oxidation auch bei 2,5 % Kohlenstoffdioxid im Argon so groß, daß nach jeder Lage die Oxidschicht entfernt werden muß.

Ein neu entwickeltes Schutzgasgemisch mit einem auf 0,5 % reduzierten Kohlenstoffdioxid-Anteil kompensiert die dadurch fehlende Energie mit einem Anteil von 30 % Helium. Bei diesem Gemisch ist die Oxidation so gering, daß ein Überschweißen ohne Zwischenreinigung erfolgen kann – ein erheblicher Zeitvorteil.

Dieser Vorteil ist bei Blechdicken ab 6 mm besonders groß, da die Abkühlung der Schmelze durch das Bauteil selbst so groß ist, daß eine Oxidation nur durch die Bestandteile des Schutzgases erfolgt. Hier ist die Oxidation mit 0,5 % Kohlenstoffdioxid deutlich geringer. Bei dünneren Blechen entsteht die Oxidation auch durch den Luftzutritt, der einsetzt, wenn der Brenner die heiße Schmelze nicht mehr abdeckt. Zu berücksichtigen ist ferner, daß Helium im Schutzgas den Lichtbogen verbreitert. Bei Kehlnähten erreicht man so eine wesentlich bessere Flankenbindung. Bei einem Stumpfstoß als I- oder V-Naht muß die Leistung etwas erhöht werden, um den Wurzelpunkt zu erfassen.

Das Gas hat sich bereits in der Praxis bewährt. Unter anderem wurden mit diesem Schutzgas Ventilatorlaufräder aus Werkstoff-Nr. 1.4462 MAG-geschweißt, Bild 4. An die Schweißnähte werden höchste Anforderungen gestellt. Das Laufrad (Durchmesser 1,6 m, Masse 874 kg) läuft mit bis zu 2980 Umdrehungen je Minute.

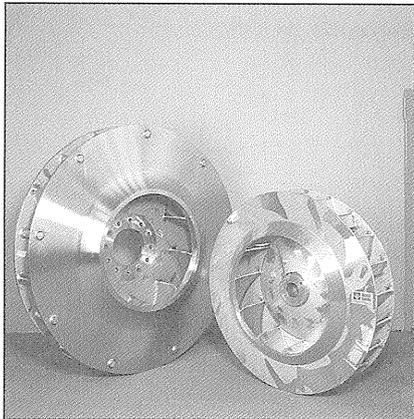


Bild 4. Ventilatorlaufrad wurde mit einem neuen Schutzgas geschweißt.

### Ein Gas für unterschiedliche Werkstoffe

Eine anderes neu entwickeltes Gas verbindet die Vorteile von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid. Mit diesem Schutzgas können sowohl un- als auch hochlegierte Stähle verarbeitet werden. Es gewährleistet ein extrem spritzerarmes Schweißen und hat sehr gute Fließigenschaften. Der Aktivgas-Anteil ist dabei so gering, daß aus metallurgischer Sicht auch ein hochlegierter Stahl verschweißt werden kann. Das Gemisch enthält 4% Kohlenstoffdioxid und 1% Sauerstoff. Durch den relativ geringen Aktivgas-Anteil eignet es sich beim unlegierten Stahl für Blechdicken bis 10 mm und ergibt fast spritzer- und schlackenfreie Nähte. Diese Neuentwicklung ist hervorragend für den Impulslichtbogen geeignet. In Zusammenarbeit mit einer Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt wurden Untersuchungen durchgeführt, die die Korrosionssicherheit des neuen Schutzgas-Gemisches bei den hochlegierten Stählen unter Beweis stellten. Kleinere und mittlere Betriebe können also durchaus zwei Werkstoffgruppen mit demselben Schutzgas schweißen.



**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