

# Schweißen von Mischverbindungen artverschiedener Stähle und Plattierungen

## 1. Allgemeines

In vielen Konstruktionen werden aus Kosten- aber vor allem aus physikalisch-chemischen Beanspruchungsgründen die verschiedenartigsten Werkstoffe verwendet. Somit ist es oft erforderlich, Schweißverbindungen zwischen diesen Werkstoffen auszuführen. Beim Schweißen der unterschiedlichen Stähle sind einige Voraussetzungen zu beachten, damit die Schweißnaht unter Betriebsbedingungen die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.

Hinweise zur Auswahl eines geeigneten Schweißzusatzes und zu Vermischungsproblemen werden nachfolgend für einige wichtige artverschiedene Verbindungen gegeben.

Mischverbindungen mit Duplex-Stählen werden auch im Abschnitt „J“ behandelt. Diese Schweißzusätze sind ebenfalls für Schwarz/Weiß-Verbindungen geeignet, auch bei höheren Aufmischungsgraden.

Mischverbindungen mit Nickellegierungen werden im Abschnitt „L“ behandelt, mit Kupferwerkstoffen siehe „M“.

## 2. Grundlagen

Werden zwei verschiedenartige Grundstoffe (z.B. ein niedriglegierter ferritischer und ein hochlegierter austenitischer Grundwerkstoff) miteinander verbunden, entsteht ein Mischschweißgut.

Die Höhe der Vermischung zwischen dem Schweißgut und dem aufgeschmolzenen Grundwerkstoff hängt wesentlich vom Schweißverfahren und dem gewählten Schweißparametern ab.

### 2.1 Einfluss des Schweißverfahrens auf den Vermischungsgrad

Schweißprozess      Vermischungsgrad/Aufmischung

UP-Band	15 – 25 %
ES-Band	5 – 15 %
UP-Draht	40 – 50 %
E-Hand	15 – 30 %
MIG/MAG	25 – 40 %
WIG mit ZW	20 – 40 %
WIG ohne ZW	100 %

### 2.2 Einfluss der Schweißparameter auf den Vermischungsgrad

Die großen Spannen im Vermischungsgrad der Schweißverfahren resultieren aus den Parameterspannen.

Die Vermischung mit dem Grundwerkstoff soll im allgemeinen so gering wie möglich sein. Das bedeutet, die Streckenenergie durch Optimierung der Schweißparameter klein zu halten. Das kann erreicht werden durch:

- niedrige Stromstärke
- Schweißen in Stichraupen, kein Pendeln
- Verwendung kleiner Elektroden Durchmesser
- möglichst hohe Schweißgeschwindigkeiten
- eventuell Zwischenabkühlungen

Zusätzlich sollte beachtet werden, dass der Lichtbogen nicht auf dem ferritischen Grundwerkstoff sondern auf dem schon abgeschmolzenen Schweißgut brennt.

### 2.3 Schweißtechnische Hinweise

#### 2.3.1 Austenit-Ferrit-Verbindungen

Bei Verwendung von austenitischen Schweißzusätzen:

- vermischungsarme Schweißprozesse verwenden
- beim Legierungstyp 18 8 Mn besteht durch den erhöhten Mn-Gehalt keine Gefahr der Heißrissbildung
- keine Wärmenachbehandlung und im Betrieb bis maximal 300°C einsetzen  
(bei höheren Temperaturen Bildung einer Cr-Carbidzone und einer entkohnten Zone, die die Festigkeit herabsetzt!)

Bei Verwendung von Ni-Basis-Legierungen:

- besonders auf geringe Vermischung achten
- auch für Einsatztemperaturen über 300°C geeignet
- auch für Wärmenachbehandlung geeignet, übliche Vorgehensweise = getrennte Bauweise:
  1. Abpuffern der Fugenflanke des niedriglegierten Grundwerkstoffes mit Ni-Basis-Legierung
  2. Durchführung der erforderlichen Wärmenachbehandlung, z.B. Anlassen oder Spannungsarmglühen
  3. Schweißen der Verbindung zwischen der Ni-Basis-Pufferlage und dem hochlegierten Werkstoff mit Nickelbasis-Schweißzusatz

### 3. Grafische Gefügebestimmung mittels Schaeffler-Diagramm

Als Hilfsmittel für die Beschreibung des sich ausbildenden Gefüges kann in den meisten Fällen mit ausreichender Genauigkeit das Schaeffler-Diagramm dienen. Die generelle Idee bei der Auswahl des Schweißzusatzes ist es, dass die sich ergebende Schweißgutzusammensetzung in weniger gefährdete Bereiche verlegt wird. Konsequenz sollte dabei das Gebiet mit Martensitanteilen vermieden werden, da hier Versprödungserscheinungen auftreten, die zur Rissbildung führen. Allerdings wird die Wahl des Schweißzusatzes zusätzlich dadurch eingengt, dass das resultierende Schweißgut auch nicht im Austenitgebiet angesiedelt werden sollte, denn bei rein austenitischer Phasenbildung besteht während der Erstarrung die Gefahr von Heißrissbildung. Liegt die resultierende Schweißgutzusammensetzung zu weit rechts im Schaeffler-Diagramm, kommt es insbesondere im späterem Einsatz bei erhöhten Temperaturen zur Bildung von Sigmaphase, die in sehr spröder Form vorliegt und ebenfalls zur Schweißnahtgefährdung führt. Es bleibt ein relativ kleiner Bereich in etwa der Mitte des Diagramms (Bild Seite 17)

Bei der Arbeit mit dem Schaeffler-Diagramm sind dessen Gültigkeitsgrenzen für die Legierungsanteile zu beachten:

C < 0,2 %      Si < 1 %      Mn < 4,0 %      Mo < 3 %      Nb < 1,0 %

Beispiel:

Mit ca 6 % Mn liegen die Schweißzusätze des Typs 18 8 Mn (1.4370) außerhalb des Gültigkeitsbereiches. Im Schaeffler-Diagramm ist die Lage des Schweißgutes deshalb im Bereich der Heißrissgefahr, obwohl der hohe Mn-Anteil eine sehr gute Beständigkeit gegen Heißrissbildung bewirkt. Tatsächlich enthält das Schweißgut auch Deltaferrit, obwohl man nach Schaeffler ein vollaustenitisches Schweißgut erwarten würde. Die Überschreitung der Gültigkeitsgrenzen für die Legierungsanteile führt folglich zu einem unbrauchbaren Ergebnis im Schaeffler-Diagramm.

#### 3.1. Schweißen einer Austenit-Ferrit-Verbindung (Beispiel)

Chemische Zusammensetzung der Werkstoffe:

Nr.	Werkstoff	W.-Nr.	Richtanalyse (%)						Äquivalente	
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cr <sub>A</sub>	Ni <sub>A</sub>
1	Ferritischer Grundwerkstoff P310GH	1.0482	0,20	0,5	1,2	-	-	-	0,75	6,6
2	Austenitischer Grundwerkstoff X15CrNiSi25-21	1.4841	0,15	2,0	1,6	25	21	-	28,0	26,3
3	Gewählter Schweißzusatz Legierungstyp: 23 12 L / 309L Stabelektrode OK 67.60	1.4332	0,02	0,8	0,8	24	13	-	25,2	14,0

Die aus den Nickel- und Chromäquivalenten resultierenden Punkte für die Grundwerkstoffe 1 und 2 werden in das Schaeffler-Diagramm (Bild Seite 17) eingetragen und miteinander verbunden. Wird zugrunde gelegt, dass beide Grundwerkstoffe zu gleichen Teilen aufgeschmolzen werden, dann entspricht die Mitte der Geraden dem Gefüge des Mischgrundwerkstoffes (Pkt. A) Aus der Lage dieses Punktes kann auch entnommen werden, dass z. B. das WIG-Schweißen ohne Zusatzwerkstoff nicht geeignet ist.

Der Gefügekpunkt 3 des Zusatzwerkstoffes wird ebenfalls in das Diagramm eingezeichnet und nachfolgend mit dem Punkt A des Mischgrundwerkstoffes verbunden. Setzt man die Länge der Geraden 100 % und trägt von der Schweißzusatzseite die Vermischungsprozentage für das verwendete Schweißverfahren ab (Stabelektrode OK 67.60 = ca. 25 %), so ergibt sich der Punkt B für das Mischgefüge = Vermischungsschweißgut.

Bei Mehrlagenschweißungen müsste für eine genauere Gefügebestimmung als dritte Grundwerkstoffkomponente das Mischgefüge der vorher geschweißten Lage berücksichtigt werden. Im Allgemeinen genügt es jedoch, wenn man die Gefügekpunkte der Folgelagen entlang der Geraden zur Zusatzwerkstoffseite verschiebt.

Für o.g. Beispiel ist jedoch auch die Einsatztemperatur des Bauteiles zu beachten, für OK 67.60 sollten hier 300°C nicht überschritten werden. Bei höheren Betriebstemperaturen sind Nickelbasis-Schweißzusätze zu bevorzugen, z.B. OK 92.26. Die Lage des Schweißzusatzes außerhalb des Schaeffler-Diagrammes lässt allerdings keine Kalkulation zu.

### 3.2 Plattieren eines ferritischen Grundwerkstoffes (Beispiel: Pufferlage)

Grundwerkstoff: P310GH  
 Plattierungswerkstoff: Legierungstyp 23 12 L / 309L, z.B. Stabelektrode OK 67.60  
 Vermischungsgrad: 25 %  
 Chemische Analyse und Chrom- und Nickeläquivalent: siehe Abschnitt 3.1.

Zuerst werden wieder die Gefügekpunkte von Grund- (Pkt.1) und Zusatzwerkstoff (Pkt.3) ins Diagramm (Bild Seite 17) eingetragen. Die Punkte werden miteinander verbunden.  
 Die Länge dieser Geraden entspricht 100%. Von der Zusatzwerkstoffseite (Pkt. 3) wird der Vermischungsgrad mit 25% abgetragen und man erhält das Mischschweißgut (Punkt C).

#### 1. Die rechnerische Gefügebestimmung

Aus den Koordinaten des Mischgefüges kann man zwar die Chrom- und Nickeläquivalente bestimmen, aber daraus lassen sich nicht die einzelnen Legierungsbestandteile ermitteln.  
 Dies kann auf rechnerischem Wege sehr genau erfolgen.

Am Beispiel der Plattierung (Abschnitt 3.2) soll die rechnerische Bestimmung erfolgen, Gleichungen:

1) Vermischungsfaktor  $F_v$  = Vermischungsprozente : 100

2)  $F_v \times \text{Legierungsbestandteile des Grundwerkstoffes}$   
 $+ (1-F_v) \times \text{Legierungsbestandteile des Schweißzusatzes}$   
 $= \text{Legierungsbestandteile des vermischten Schweißgutes}$

Ergebnisrechnung:

Werkstoff	Vermischungs- faktor	Richtanalyse (%)					Äquivalente	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cr <sub>A</sub>	Ni <sub>A</sub>
Ferritischer Grundwerkstoff P310GH	-	0,20	0,5	1,2	-	-	0,75	6,6
Legierungstyp: 23 12 L / 309L Stabelektrode OK 67.60 (reines Schweißgut)	-	0,02	0,8	0,8	24	13	25,2	14,0
P310GH Anteil am Schweißgut: 25%	0,25	0,05	0,13	0,3	-	-		
OK 67.60 Anteil am Schweißgut: 75%	0,75 (1 - 0,25)	0,02	0,60	0,6	18	9,8		
<b>Vermischungsschweißgut der Plattierung</b>		<b>0,07</b>	<b>0,73</b>	<b>0,9</b>	<b>18</b>	<b>9,8</b>	<b>19,1</b>	<b>12,4</b>

Im Ergebnis erhält man als Plattierung ein Vermischungsschweißgut, vergleichbar einem nichtrostenden Stahl, z. B. 1.4301 X5CrNi18-10. Natürlich können dieser Zwischenlage weitere Plattierungslagen mit geeigneten Schweißzusätzen folgen.

Weitere Hinweise zum Schweißen von Mischverbindungen artverschiedener Stähle und Plattierungen:

DVS-Merkblatt 3011: Schweißen von Schwarz/Weiß-Verbindungen  
 DVS-Merkblatt 0928: Unterpulverschweißen von Austenit-Ferrit-Verbindungen  
 DVS-Merkblatt 0935: Elektroschlack-Auftragschweißen mit Bandedelektrode  
 DVS-Merkblatt 0940: Unterpulver-Auftragschweißen mit Bandedelektrode  
 DVS-Merkblatt 1005: Verfahren zur Bestimmung des Delta-Ferritgehaltes in austenitischem Schweißgut

EN 1011-5: Schweißen - Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe  
 Teil 5: Schweißen von plattierten Stählen

EN ISO 9692-4: Empfehlungen zur Schweißnahtvorbereitung  
 Teil 4: Plattierte Stähle

- |                    |                     |                  |                |             |
|--------------------|---------------------|------------------|----------------|-------------|
| 1: X15CrNiSi25-21  | 4: X2CrNiMo18-14-3  | 7: X2CrNi19-11   | 10: P235GH     | 13: X12Cr13 |
| 2: X5CrNiMo17-12-2 | 5: X10CrNiMoNb18-12 | 8: X6CrNiNb18-10 | 11: 16Mo3      | 14: X6Cr17  |
| 3: X15CrNiSi20-12  | 6: X5CrNi18-10      | 9: 13CrMo4-5     | 12: 10CrMo9-10 | 15: P310GH  |

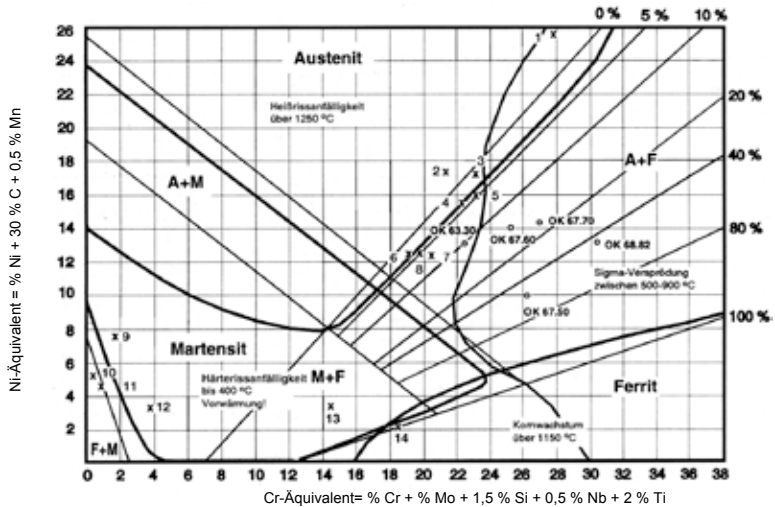


Bild I1: Schaeffler-Diagramm

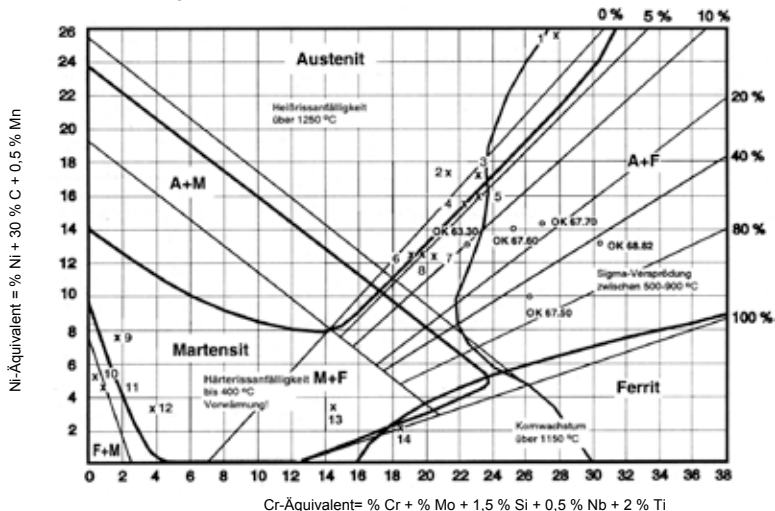


Bild I2: Austenit-Ferrit-Verbindung und Plattierung im Schaeffler-Diagramm (siehe I 5 / I 6)