

Inhalt

1	Einleitung, Geschichtliches	1
2	Verfahren	2
2.1	Anwendungsbereiche	3
2.2	Vor- und Nachteile	3
3	Schweißgerätetechnik	4
3.1	Schweißstromquellen.....	4
3.1.1	Kennlinie Lichtbogenhandschweißen	5
3.1.2	Technologische Parameter	5
3.2	Schweißzubehör	8
4	Normen und Einsatzbereiche der umhüllten Stabelektroden.....	9
5	Die umhüllten Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen	10
5.1	Herstellung.....	10
5.2	Kernstäbe für Elektroden	11
5.3	Zusammensetzung der Umhüllung, Umhüllungsstoffe	11
5.4	Typische Zusammensetzung der wichtigsten Umhüllungstypen	11
5.5	Aufgaben der Stabelektrodenumhüllung.....	12
5.6	Einteilung der umhüllten Stabelektroden	13
5.7	Maße und Grenzabmaße von umhüllten Stabelektroden (DIN EN ISO 544 – Auszug)	13
5.8	Kennzeichnung nach DIN EN ISO 544	14
5.8.1	Kennzeichnung auf dem Produkt.....	14
5.8.2	Kennzeichnung auf jeder kleinsten Verpackungseinheit	14
6	Empfehlungen zur Lagerung und Rücktrocknung von Stabelektroden	15
6.1	Lagerung (Auszug aus Merkblatt DVS 0957)	15
6.2	Feuchtigkeitsaufnahme von Stabelektroden	15
6.3	Rücktrocknung.....	17
6.4	Negative Auswirkungen einer erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme bei Stabelektroden.....	17
7	Spezifische Gefahren beim Lichtbogenhandschweißen.....	18
7.1	Elektrische Gefährdung	18
7.1.1	Gefahrenbereich Schweißgerät und Netzanschluss.....	18
7.1.2	Gefahrenbereich Schweißleitungen, Werkstückanschluss	18
7.2	Gefahrenbereich Lichtbogen.....	18
7.3	Gefahrenbereich Schmelzbad und Schlacke.....	18
7.4	Schweißrauche und Stäube.....	19
7.5	Persönliche Schutzausrüstung	19
8	Kennzeichnung von Stabelektroden nach internationalen Normen	20
8.1	Die Einteilung erfolgt nach acht Merkmalen am Beispiel DIN EN ISO 2560-A.....	20
8.2	Bezeichnungsbeispiel	21
9	Auswahlkriterien von Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen	22
10	Stabelektroden für unlegierte und Feinkornstähle, DIN EN ISO 2560-A.....	23
10.1	Anwendungsbereich DIN EN ISO 2560-A	23
10.2	Sauer umhüllte Stabelektroden: A	23
10.3	Zellulose umhüllte Stabelektroden: C	24
10.4	Basisch umhüllte Stabelektroden: B	25
10.5	Rutilumhüllte Stabelektroden: R, RR, RC, RA, RB	27

10.6	Mehrausbringungselektroden, „Hochleistungselektroden“.....	28
10.7	Anwendungsbeispiele für Stabelektroden der DIN EN ISO 2560-A	29
11	Stabelektroden für wetter-, hochfeste und kaltzähe Stähle, DIN EN ISO 18275-A.....	31
12	Stabelektroden für warmfeste und hochwarmfeste Stähle, DIN EN ISO 3580-A	34
13	Stabelektroden für nicht rostende und hitzebeständige Stähle, DIN EN ISO 3581-A.....	36
13.1	Stabelektroden für Schwarz-Weiß-Verbindungen, DIN EN ISO 3581-A.....	38
14	Schweißzusätze zum Hartauftragen, DIN EN 14700	40
15	Stabelektroden zum Reparaturschweißen von Gusseisen, DIN EN ISO 1071	44
15.1	Kennzeichnung der Stabelektroden nach DIN EN ISO 1071.....	44
15.2	Graugusswarmschweißen mit artgleichem Schweißzusatz.....	45
15.3	Graugusskaltschweißen mit einem artfremden Schweißzusatz	47
16	Sonderelektroden.....	49
16.1	Schneid-/Ausnutelektroden.....	49
16.2	Schneidelektroden – Hohlstabelektroden	49
16.3	Kohleelektroden (meist verkupfert Arc-Air-Verfahren).....	49
16.4	Vorwärmelektroden.....	49
17	Schweißdurchführung	50
17.1	Nahtvorbereitung	50
17.1.1	Stumpfnähte.....	50
17.1.2	Kehlnähte.....	50
17.2	Elektrodenführung und Nahtaufbau	51
17.3	Blaswirkung.....	54
17.4	Ausbringen von Stabelektroden.....	55
17.5	Wahl einer günstigen Schweißposition	56
18	Wirtschaftlichkeit	57
19	Fallnahtschweißen	58
19.1	Umhüllte Stabelektroden für den Rohrleitungs- und Pipelinebau	58
19.2	Schweißstromquellen.....	59
19.3	Arbeitstechniken beim Fallnahtschweißen mit zelluloseumhüllten Stabelektroden	60
19.3.1	Nahtvorbereitung	60
19.3.2	Arbeitstechniken, Elektrodenhaltung	61
19.3.3	Lagenaufbau	62
19.4	Zusammenfassung	63
20	Schweißnahtunregelmäßigkeiten und ihre möglichen Ursachen	64
20.1	Schlackeneinschlüsse.....	64
20.2	Gaseinschlüsse (Poren).....	64
20.3	Endkrater	64
20.4	Risse im Schweißnahtübergang	64
20.5	Wurzelfehler.....	64
20.6	Einbrandkerben.....	65
20.7	Wasserstoffinduzierte Risse	65
21	Literatur.....	67
22	Testfragen.....	68

1 Einleitung, Geschichtliches

Das Lichtbogenhandschweißen, kurz auch E-Hand(-Schweißen) genannt, ist einer der ältesten Schmelzschweißprozesse.

Bereits 1885 wurde ein Lichtbogen zwischen einer Kohlelektrode und dem Werkstück erzeugt, um das Metall aufzuschmelzen. Die Zuführung des Zusatzwerkstoffes erfolgte, wie heute noch beim Autogen- oder WIG-Schweißen, stromlos.

Mit dem Patent des Russen Slawjanow von 1890, der den Zusatzwerkstoff als Lichtbogenträger einsetzte, wurden der Zusatzdraht und die Elektrode vereinigt. Allerdings waren diese Elektroden noch nicht umhüllt, daher sehr schwierig zu verschweißen (z.B. fehlende Ionisation) und die umgebenden Luft hatte erheblich negativen Einfluss auf das Schweißbad (Poren, Oxidation etc.).

Das Reichspatent „Elektrode und Verfahren zum elektrischen Löten“, angemeldet 1908 durch den schwedischen Ingenieur Oscar Kjellberg, stellte den Grundstein für die umhüllten Stabelektroden dar. Die Herstellung der Umhüllung erfolgte zu diesem Zeitpunkt durch mehrfaches Tauchen des Kernstabes in eine aus den Umhüllungsstoffen bestehende Paste. Um 1935 herum wurde dieses sehr aufwendige Verfahren durch das heute noch gebräuchliche Pressverfahren ersetzt. Damit wurde es auch möglich, Stabelektroden mit einer dicken Umhüllung herzustellen, und diese in homogener Zusammensetzung und genauer Kalibrierung aufzutragen. Bereits 1938 wurden ca. 50% der Stabelektroden im Pressverfahren hergestellt.

Im Wesentlichen unterscheidet sich die heutige Herstellungsart kaum von der damaligen, allerdings wurde u.a. mit der Weiterentwicklung der Umhüllungsstoffe und einer Optimierung des Produktionsablaufes (z.B. Extruderpressen) eine bedeutende Leistungssteigerung und Qualitätsverbesserung erreicht. Maßgeblich wurde das Lichtbogenhandschweißen auch durch stetige Verbesserungen in der Gerätetechnik beeinflusst.



Abbildung 1: Lichtbogenhandschweißen

2 Verfahren

Lichtbogenhandschweißen (Prozessnummer 111) gehört zu den Schmelzschweißprozessen und wird als: „Von Hand ausgeführtes Metall-Lichtbogenschweißen mit umhüllter Stabelektrode“ beschrieben.

Dieser Schweißprozess ist vielseitig, in allen Schweißpositionen, ohne aufwendige Schutzmaßnahmen, besonders im Freien und als einziges Verfahren auch unter Wasser anwendbar. Mit dem Lichtbogenhandschweißen können alle schweißbaren Eisenwerkstoffe, Nickel- und Nickellegierungen mit umhüllten Stabelektroden geschweißt werden. Schweißen von Kupfer- und Aluminiumwerkstoffen werden in den neuen Normen für das Lichtbogenhandschweißen nicht mehr berücksichtigt und finden auch in der Praxis kaum noch Anwendung.

Beim Lichtbogenhandschweißen brennt der Schweißlichtbogen zwischen einer umhüllten abschmelzenden Stabelektrode und dem Werkstück. Der Schweißlichtbogen und das grundwerkstoffseitige Schmelzbad werden vor dem Zutritt der Luft durch das sich aus der Umhüllung bildende Schutzgas und einer Schlacke geschützt.

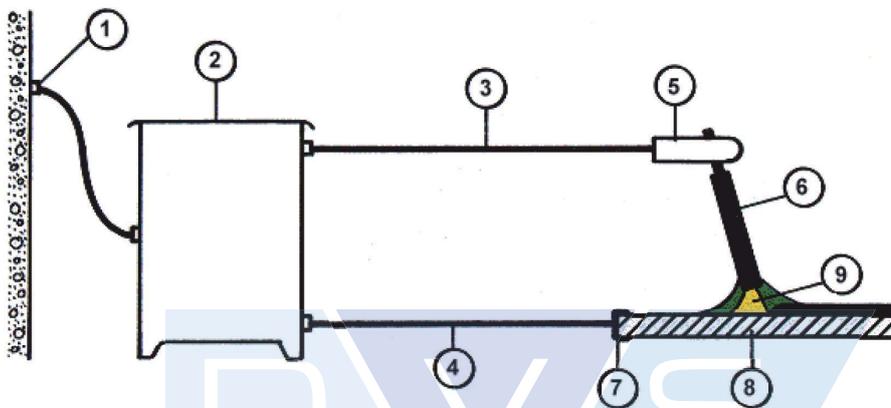


Abbildung 2: Verfahrensprinzip

- 1 Netzanschluss
- 2 Schweißstromquelle
- 3 Schweißstromleiter (Elektrode)
- 4 Schweißstromleiter (Werkstück)
- 5 Stabelektrodenhalter
- 6 Stabelektrode
- 7 Werkstückklemme
- 8 Werkstück
- 9 Lichtbogen
- 10 Stabelektrodenkernstab
- 11 Stabelektrodenumhüllung
- 12 Tropfenübergang
- 13 Schützende Gase aus der Stabelektrodenumhüllung
- 14 Flüssige Schlacke
- 15 Feste Schlacke
- 16 Flüssiges Schweißgut
- 17 Festes Schweißgut

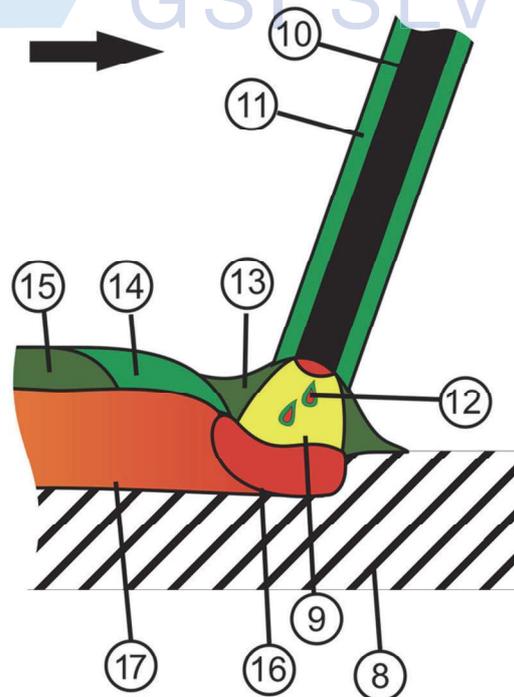


Abbildung 3: Detail Lichtbogen

2.1 Anwendungsbereiche

Das Lichtbogenhandschweißen erlaubt es, sowohl dünne Bleche $\geq 1,5$ mm in einer Einlagentechnik als auch dickere Bleche (meist bis 20 mm) in einer Mehrlagentechnik zu schweißen.

Gemessen am Gesamtzusatzwerkstoffverbrauch und der Tatsache, dass in den vergangenen Jahren das E-Hand-Schweißen kontinuierlich zugunsten des MIG/MAG-Schweißens abgenommen hat, beträgt der Anteil des Lichtbogenhandschweißens heute noch etwa 7,5%. Davon werden anteilig verwendet:

- 30 % Handwerk, in Klein- und Mittelbetrieben
- 30 % Schiffbau
- 20 % Chemieanlagenbau, Fahrzeugbau und für Auftragschweißungen
- 10 % Rohrleitungsbau
- 5 % Stahlbau, meist auf Baustellen
- 5 % Kessel- und Druckbehälterbau



Abbildung 4: Lichtbogenhand-Fallnahtschweißen im Freien

2.2 Vor- und Nachteile

Vorteile des Lichtbogenhandschweißens sind:

- Ein verhältnismäßig niedriger Anschaffungspreis der Gerätetechnik
- Eine hohe Fertigungssicherheit, ohne aufwendige Vorkehrungen (z.B. im Freien)
- Ausgezeichnete Gütewerte bei geringerer Fehlerwahrscheinlichkeit (Bindefehler, Poren)
- Vielseitige Anwendungsmöglichkeiten (großes Elektrodensortiment)
- Schweißen unter besonderen Bedingungen (z.B. Unterwasser-Schweißen und Schneiden)

Nachteile sind:

- Die verhältnismäßig niedrige Abschmelzleistung: 0,5 bis 5,5 kg/h, Mittelwert ca. 1,5 kg/h
- Dünnbleche $\leq 1,5$ mm sind nicht sicher und fehlerfrei schweißbar.
- Nahtqualität größtenteils von der Handfertigkeit des Schweißers abhängig

3 Schweißgerätetechnik

Wie aus dem Verfahrensprinzip ersichtlich ist, gehören

- **Schweißstromquellen**
- **Umhüllten Stabelektroden**
- **Zubehör** (Werkzeuge z.B. wie Schlackenhammer, Drahtbürste und die Arbeitsschutzbekleidung) zur Grundausrüstung beim Lichtbogenhandschweißen.

3.1 Schweißstromquellen

Schweißstromquellen wandeln die hohe Netzspannung in die niedrigere Schweißspannung, die geringe Netzstromstärke in die hohe benötigte Schweißstromstärke um. Die einfachsten Stromquellen hierfür sind **Schweißtransformatoren**, welche ausschließlich Wechselstrom liefern. Jedoch sind nicht alle Elektrodentypen zum Verschweißen mit Wechselstrom geeignet. Die Einstellung der Schweißstromstärke kann über einen Streukern mittels Kurbel (stufenlos) oder bei älteren Geräten durch Windungsanzapfungen erfolgen. Dieser Stufenschalter lässt jedoch keine feine Einstellung zu, daher sind diese Schweißtransformatoren für heutige Anforderungen nicht mehr geeignet.

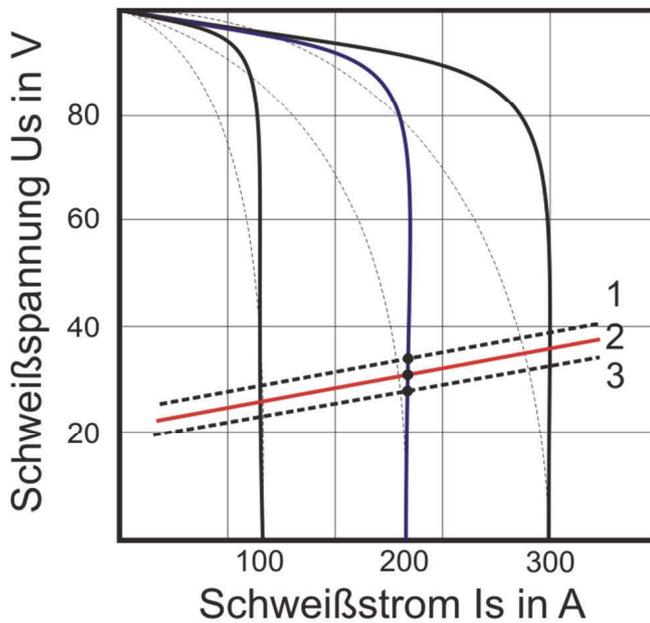
Schweißgleichrichter, Transformatoren mit einem nachgeschalteten Dioden- oder Thyristoren-Gleichrichter liefern Gleichstrom, aber die geringe Leerlaufspannung macht es manchmal unmöglich, bestimmte Elektrodenarten, z.B. Zellulose umhüllte Stabelektroden zu zünden.

Für den Rohrleitungsbau, wo bevorzugt Zellulose Elektroden verschweißt werden, haben sich **Schweißumformer** in Form eines **Schweißaggregates** durchgesetzt. Er besteht aus einem Antriebsmotor und dem Generator, der den Schweißstrom erzeugt. Die Vorteile des Schweißumformers sind sehr gute Schweißseigenschaften und bei der Ausführung als Schweißaggregat ist kein Netzanschluss erforderlich. Der Nachteil ist sein geringerer Wirkungsgrad gegenüber anderen Stromquellen.

Die geringe Masse, eine tragbare Ausführung und ein guter Wirkungsgrad führen aber immer mehr zu einem stärkeren Übergang zum **Schweißinverter** und dies in Verbindung mit technischen Vorteilen wie:

- Einstellbare statische Belastungskennlinien, steil fallend, mit Konstantstrom-Charakteristik
- Stromart: Gleichstrom (und/oder Wechselstrom bei Multiprozess-Anlagen: WIG / E)
- Polumschaltung +/-
- Netzspannungskompensation
- „Hot-Start“ Funktion: Schweißstromerhöhung im Zündvorgang
- „Anti-Stick“-Funktion: kurz vor dem Tropfenübergang im Kurzschluss wird der maximale Schweißstrom erreicht, daher wird ein Festkleben fast verhindert; für den Fall, dass die Stabelektrode festklebt, schaltet die Steuerung den Schweißstrom ab, dadurch kommt es nicht zum Glühen und der Schädigung der Stabelektrode sowie zu einer Überlastung des Schweißgerätes.
- „ArcForce“-Funktion: bei zu niedriger Schweißspannung (< 8 V) erhöht sich automatisch die Schweißstromstärke, der Lichtbogen „brennt sich frei“ und bleibt auch nahezu konstant. Sehr zu empfehlen bei großtropfigen Elektroden, welche mit sehr kurzem Lichtbogen verschweißt werden müssen (z.B. basische Elektroden). Erforderlich für alle zelluloseumhüllten Fallnahtelektroden.
- Puls-Funktion. (Ermöglicht Strichraupentechnik auch für Steignahtschweißungen bei hochfesten und CrNi-Werkstoffen mit geringer Streckenenergie.)
- Messgeräte, Programmbox u.a. Zusatzbaugruppen. Schweißinverter neuerer Generation bieten die Möglichkeit, häufig genutzte Schweißparameter auf Schnellwahltasten zu speichern. Kabellose und kabelgebundene Fernregler machen eine Feineinstellung der Stromstärke während des Schweißens möglich.

3.1.1 Kennlinie Lichtbogenhandschweißen



1
Lichtbogen
lang

2
Lichtbogen
richtig

3
Lichtbogen
kurz

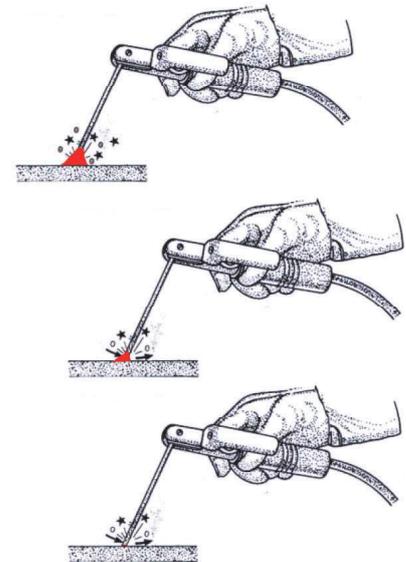


Abbildung 5: Statische Belastungskennlinien

3.1.2 Technologische Parameter

3.1.2.1 Elektrodenzündung und Schweißstrom

Der Lichtbogen wird bei allen Stabelektroden durch Kontakt mit dem Werkstück gezündet. Durch den Kurzschluss mit einer sehr hohen Stromdichte in dem sehr kleinen Kontaktbereich kommt es u.a. sehr schnell zu einer Ionisation und Bildung des Lichtbogens. Zündhilfen an den Elektrodenspitzen und die Hot-Start Funktion erleichtern den Vorgang. Um ein Festkleben zu verhindern hat sich in der Praxis bewährt die Elektrode wie ein Streichholz auf dem Werkstück zu zünden.

In jedem Fall muss darauf geachtet werden das Zündstellen wieder überschweißt werden und nicht außerhalb des Schweißbereiches liegen.

Beim Lichtbogenhandschweißen werden rutil- und sauer-umhüllte Stabelektroden überwiegend mit negativ gepolter Elektrode verschweißt.

Die Ionisierung bei diesen Typen ist, bedingt durch die Zusammensetzung der Umhüllung, gut. Dadurch brennt der Lichtbogen ruhiger und konzentrierter auf dem Werkstück. Der Vorteil ist die reduzierte Temperatur an der Elektrode, die Strombelastung nimmt ab, sie neigt weniger zum Überlasten. Ein Verschweißen mit Wechselstrom ist meist auch möglich.

Basische und hochlegierte Stabelektroden werden überwiegend am Pluspol verschweißt.

Physikalische Eigenschaften der basischen Umhüllungsbestandteile im Lichtbogen bewirken bei positiv gepolter Elektrode einen stabileren Lichtbogen, einen tieferen Einbrand und einen geringen Legierungsabbrand.

Manche neue Geräte verfügen auch über eine Pulsfunktion bei der die Strombelastung an der Elektrode deutlich geringer wird. Gerade hochlegierte Elektroden überlasten dann nicht mehr so stark im letzten Drittel. Durch den erhöhten Pulsstrom kann mit ca. 10% niedrigerer Stromstärke geschweißt werden. Die Streckenenergie wird, bei gleichem Einbrand, etwa 20% - 30% verringert.

Typische Schweißdaten sind:

Schweißstrom (I_s): 40 bis ca. 360 A

Stromstärke je mm Kernstabdurchmesser 20 bis 60 A (abhängig von der Schweißposition und dem Elektrodentyp)

Gleichstrom (+/-Pol) oder Wechselstrom

Faustregel als Mittelwert:

$$I_s \text{ in [A]} \cong 40 \times \text{Kernstabdurchmesser in [mm]}$$

Tabelle 1: Stromstärken in Abhängigkeit des Kernstabdurchmessers

Kernstabdurchmesser d_E in mm	2	2,5	3,2	4	5	6
Stromstärke I_s in Ampere	30–80	50–100	90–150	120–200	180–270	220–360
Faustregel für die Stromstärke in Ampere	20 bis 40 x d_E		30 bis 50 x d_E			30 bis 60 x d_E

3.1.2.2 Lichtbogenlänge

Beim Lichtbogenhandschweißen wird nur die Stromstärke eingestellt. Die Spannung ergibt sich wie in ersichtlich bei brennendem Lichtbogen. Mittelwert: $20V + 0,05 \times I_s$ (Schweißstromstärke) Grundsätzlich sollte der Lichtbogen aber immer sehr kurz gehalten werden.

Faustregel für alle Elektroden:

$$\text{Lichtbogenlänge} = \text{max. } 1,0 \times \text{Kernstabdurchmesser}$$

Ausnahme: Basische Elektroden und hochlegierte Elektroden:

$$\text{Lichtbogenlänge} = \text{max. } 0,5 \times \text{Kernstabdurchmesser}$$

3.1.2.3 Schweißstrom nach der Dicke und dem Typ der Elektrodenumhüllung

Dabei ist eine Verminderung oder Erhöhung des Schweißstromes nach folgenden technologischen Bedingungen erforderlich (zu beachten dabei sind die Vorgabewerte (Stromstärkenbereich) des Elektrodenherstellers):

- dünn umhüllte Stabelektrode = weniger Strom
- mitteldick umhüllte Stabelektrode = normaler Strom
- dick und sehr dick umhüllte Stabelektrode = erhöhter Strom

3.1.2.4 Schweißstrom nach der Blechdicke/Rohrwanddicke t in [mm]

- geringe Dicke $t \sim 1,5 \dots 3 < 8$ mm \Rightarrow weniger Strom
- mittlere Dicke $t \sim 8 \dots 10$ mm \Rightarrow normaler Strom
- größere Dicke $t \geq 10$ mm \Rightarrow erhöhter Strom

3.1.2.5 Schweißstrom nach der Schweißposition, Nahtausführung und dem Nahtaufbau

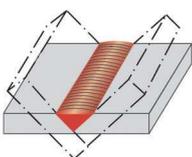
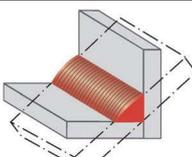
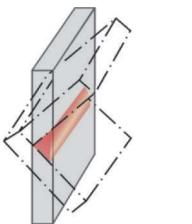
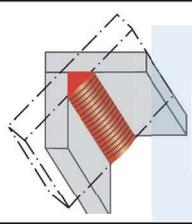
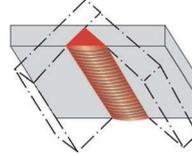
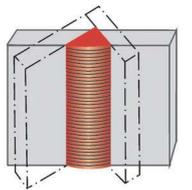
	PA (Wannenposition)	Kehlnaht	⇒ erhöhter Strom für Wurzel, Fülllagen und Decklagen.
		Stumpfnah	⇒ weniger bis normaler Strom für Wurzel, erhöhter Strom für Fülllagen und Decklagen.
	PB (Horizontalposition)	Kehlnaht	⇒ erhöhter Strom für Wurzel, normaler Strom für Füll- und Decklagen
		Stumpfnah	
	PC (Querposition)	Kehlnaht	⇒ erhöhter Strom für Wurzel, normaler Strom für Füll- und Decklagen
		Stumpfnah	⇒ weniger bis normaler Strom für Wurzel, erhöhter Strom für Fülllagen und Decklagen.
	PD (Halb-Überkopfposition)	Kehlnaht	⇒ erhöhter Strom für Wurzel, normaler Strom für Füll- und Decklagen
		Stumpfnah	
	PE (Überkopfposition)	Kehlnaht	⇒ erhöhter Strom für Wurzel, normaler Strom für Füll- und Decklagen
		Stumpfnah	⇒ weniger Strom für Wurzel, normaler Strom für Füll- und Decklagen
	PF (steigend)	Stumpf- und Kehlnaht	⇒ normaler Strom für Wurzel, Fülllagen und Decklagen.
	PG (fallend)	Stumpf- und Kehlnaht	⇒ normaler bis erhöhter Strom für Wurzel, Füll- und Decklagen.

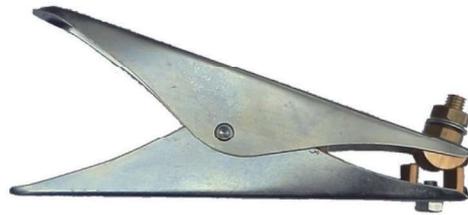
Abbildung 6: Schweißstrom nach der Schweißposition, Nahtausführung und dem Nahtaufbau

3.2 Schweißzubehör

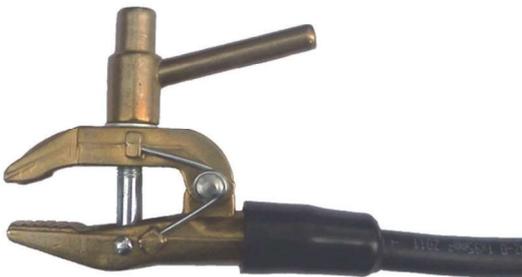
- Hierzu gehören: die Schweißleitungen, ein vollisolierter Elektrodenhalter, die Werkstückklemme¹, ein Schweißstisch mit Absaugung und Schutzwände



vollisolierter Elektrodenhalter



Werkstückklemme



Schraub-Werkstückklemme



Spannbock

Abbildung 7: Schweißzubehör

- vollisolierter Elektrodenhalter
- Werkstückklemmen

außerdem Werkzeuge wie:

- ein Schlackenhammer, eine Drahtbürste, eine Feile oder Schleifgeräte, eine Schweißnahtlehre, Temperaturmessmittel und ein Blecheimer zum Sammeln der Elektrodenstummel.

¹ Einen Magneten als Masseanschluss zu verwenden ist zwar praktisch, aber sehr bedenklich. Späne, Schleifstaub und Schlackereeste haften schon nach kurzem Gebrauch an. Hier kann es, durch den dadurch entstehenden schlechten Kontakt, zu einem „Überspringen“ mit kurzem Lichtbogen kommen. Die Folgen daraus sind Zündstellen oder ein Festbrennen des Masseanschlusses.

4 Normen und Einsatzbereiche der umhüllten Stabelektroden

Mit umhüllten Stabelektroden können sehr viele Werkstoffe verschweißt werden. Mit zunehmender Qualität der Werkstoffe steigen die Anforderungen an den Schweißer, nicht nur hinsichtlich seiner Handfertigkeit, auch sein fachkundiges Wissen wird hier besonders gefordert, um Fehler bei der Ausführung zu vermeiden.

Nachfolgend aufgeführt sind derzeit gültige Normen für Stabelektroden entsprechend der Einsatzbereiche:

- | | |
|--------------------|---|
| DIN EN ISO 2560-A | • unlegierte Stähle und Feinkornstähle bis zu einer Mindeststreckgrenze von 500 MPa |
| DIN EN ISO 18275-A | • hochfeste Stähle über 500 MPa Streckgrenze |
| DIN EN ISO 3580-A | • warmfeste Stähle |
| DIN EN ISO 3581-A | • nicht rostende und hitzebeständige Stähle |
| DIN EN ISO 14172 | • Nickel und Nickellegierungen |
| DIN EN 14700 | • Schweißzusätze zum Hartauftragen |
| DIN EN ISO 1071 | • Umhüllte Stabelektroden zum Schmelzschweißen von Gusseisen |



5 Die umhüllten Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen

5.1 Herstellung

Umhüllte Stabelektroden bestehen aus dem **Kernstab** und einer mit Bindemittel (meist Wasserglas) gebundenen vorwiegend **mineralischen Umhüllung**.

Während bei un- und niedrig legierten Stabelektroden im Allgemeinen unlegierte, weiche Kernstäbe eingesetzt werden – die Zulegierung zur Festigkeits- und Zähigkeitssteigerung erfolgt über die Umhüllung – unterscheidet man bei hoch legierten Stabelektroden in kernstab- und hüllenlegierte Typen.

Die umhüllten Stabelektroden werden heute als **Pressmantelelektroden** (siehe auch Abbildung 8) hergestellt. Die entsprechend der jeweiligen Norm zusammengestellte Mischung (verschiedene mineralische und metallische Rohstoffe und Bindemittel) wird mit ca. 350 bis 500t Druck auf den Kernstab gepresst. Die noch feuchten Elektroden werden gebürstet (Einspann- und Zündende), gekennzeichnet (nach DIN/EN/ISO und/oder mit Firmenbezeichnung), und je nach Umhüllungstyp, nach dem „Abbinden“, bei ca. 180 (Zellulose) bis 480°C (basisch H5) in Öfen „getrocknet“ (gebrannt). Anschließend werden sie – je nach Güte und Typ – in Kartonschachteln mit PE-Folie, absolut dichte Metall Dosen oder auch in Vakuumverpackungen verpackt.

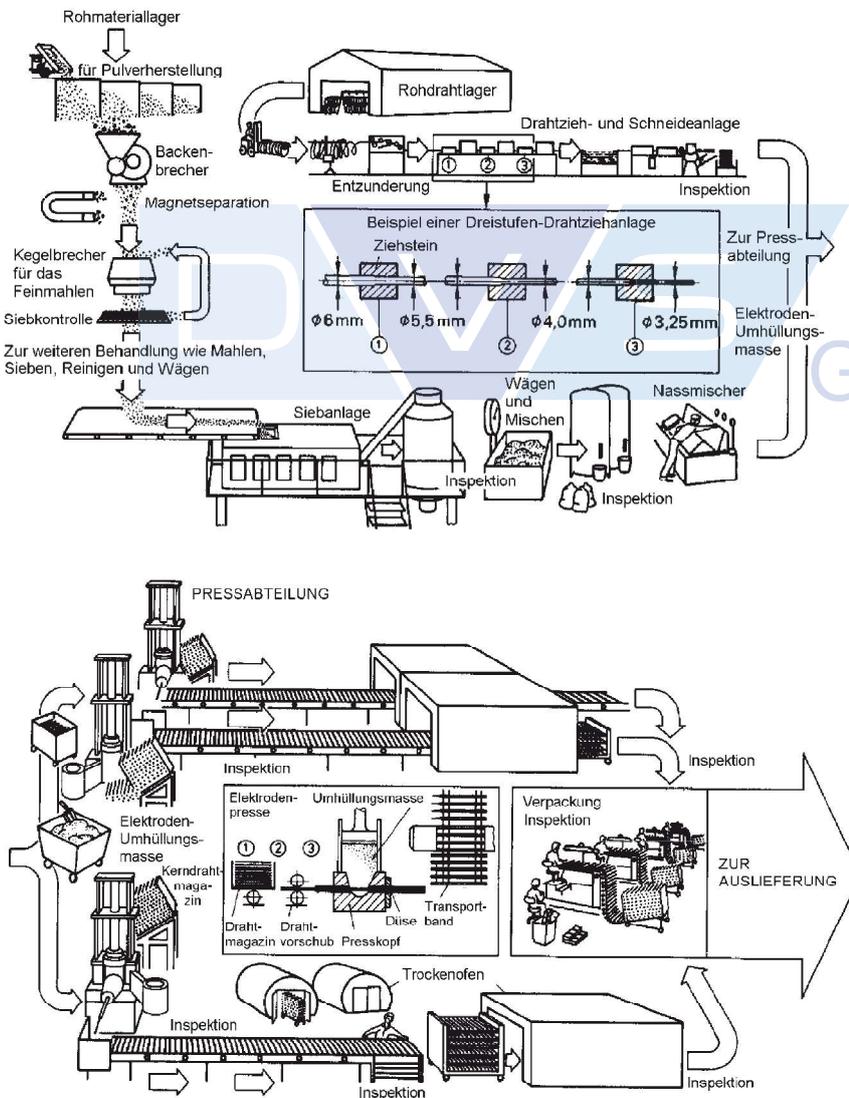


Abbildung 8: Stabelektrodenherstellung

5.2 Kernstäbe für Elektroden

Kernstäbe für unlegierte Stabelektroden enthalten relativ gleiche Zusammensetzungen, je nach Streckgrenze und Zugfestigkeit kann der Kohlenstoff- oder Mangangehalt etwas variieren:

C	0,06 bis max. 0,12%	Mn	0,3 bis max. 2,0%
P, S	≤ 0,030%	Si	0,06%

Hochlegierte Kernstäbe enthalten die für den Grundwerkstoff erforderliche Legierungszusammensetzung.

5.3 Zusammensetzung der Umhüllung, Umhüllungsstoffe

Die für Elektrodenumhüllungen verwendeten Stoffe sind sehr zahlreich. In der Hauptsache handelt es sich um Erze und Mineralien in Form von Oxyden, Hydroxyden, Karbonaten, Karbonylen, Silikaten, Chloriden, Fluoriden und anderen Verbindungen von Metallen und Nichtmetallen sowie um Ferrolegierungen, organische Stoffe und Verbindungen.

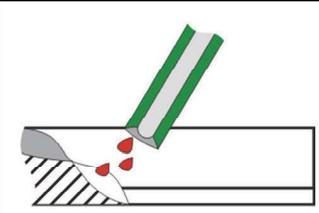
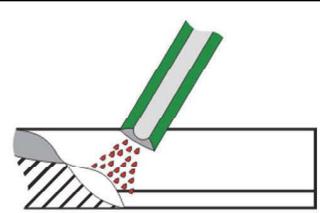
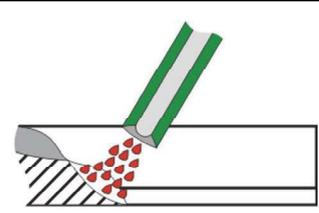
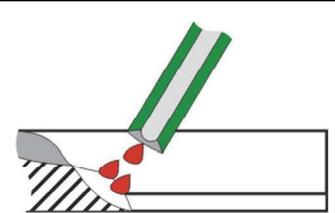
Sowohl die Schweiß Eigenschaften einer umhüllten Stabelektrode als auch die mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes werden durch die Umhüllung entsprechend beeinflusst. Diese homogene Mischung enthält im Allgemeinen die folgenden Hauptbestandteile:

- **Schlackenbildende Stoffe** (Quarz, Flussspat)
- **Desoxidierende Stoffe** (Ferromangan, Ferrosilizium, Aluminium)
- **Schutzgasbildende Stoffe** (Zellulose, Kalkspat),
- **Lichtbogenstabilisierende Stoffe** (Kali-Feldspat, Rutil),
- **Bindemittel** (Kali- und Natron-Wasserglas) und, falls nötig,
- **Legierungsbestandteile** (Ferro-Chrom, Nb, Si, Nickelpulver usw.).

Zusätzlich kann Metallpulver hinzugefügt werden, um die Ausbringung zu erhöhen.

5.4 Typische Zusammensetzung der wichtigsten Umhüllungstypen

Tabelle 2: Typische Zusammensetzung der Hauptumhüllungstypen (Angaben in %)

			
Zellulose Typ „C“	Saurer Typ „A“	Rutil Typ „R“	Basischer Typ „B“
Zellulose 40 Rutil TiO ₂ 20 Quarz SiO ₂ 25 FeMn 15 Wasserglas	Magnetit Fe ₃ O ₄ 50 Quarz SiO ₂ 20 Kalkspat CaCO ₃ 10 FeMn 20 Wasserglas	Rutil TiO ₂ 45 Magnetit Fe ₃ O ₄ 10 Quarz SiO ₂ 20 Kalkspat CaCO ₃ 10 FeMn 15 Wasserglas	Flussspat CaF ₂ 45 Kalkspat CaCO ₃ 40 Quarz SiO ₂ 10 FeMn 5 Wasserglas
Tropfenübergang: mitteltropfig	Tropfenübergang: feintropfig - sprühregenartig	Tropfenübergang: mittel- bis feintropfig	Tropfenübergang: mittel- bis großtropfig
Zähigkeitswerte: gut	Zähigkeitswerte: normal	Zähigkeitswerte: gut	Zähigkeitswerte: sehr gut

5.5 Aufgaben der Stabelektrodenumhüllung

Die Aufgaben der Stabelektrodenumhüllung sind:

- Verbesserung der Zündeigenschaften, Ionisierung der Lichtbogenstrecke und Stabilisieren des Schweißlichtbogens
- Bildung eines Schutzgases zur Abschirmung des schädigenden Einflusses der Luft (N und O)
- Schlackenbildung zum Schutz der sich bildenden Schweißnaht (Oberseite und Wurzel), zur Verzögerung der Abkühlung sowie zur Formung der Naht
- Metallurgische Beeinflussung des Schweißgutes, d.h. Oxidation und Desoxidation sowie Abbinden schädlicher Begleitelemente (S, P) oder eine Auflegierung
- Erhöhung der Abschmelzleistung (Ausbringung) durch sog. „Hochleistungselektroden“ mit Zusätzen z.B. Metallpulver

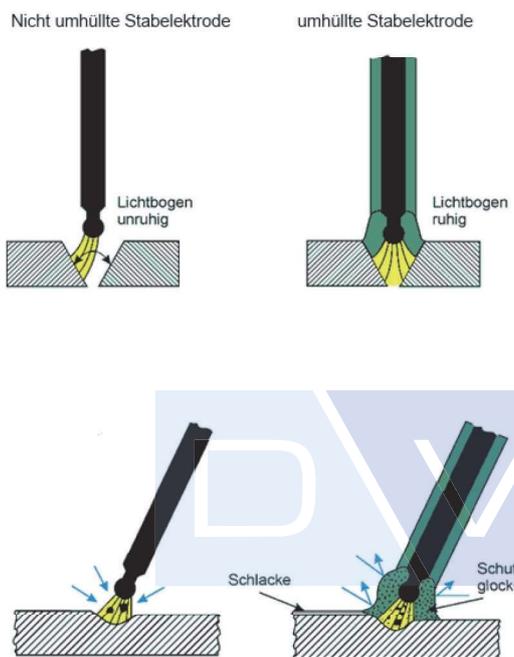


Abbildung 9: Aufgabe der Stabelektrodenumhüllung

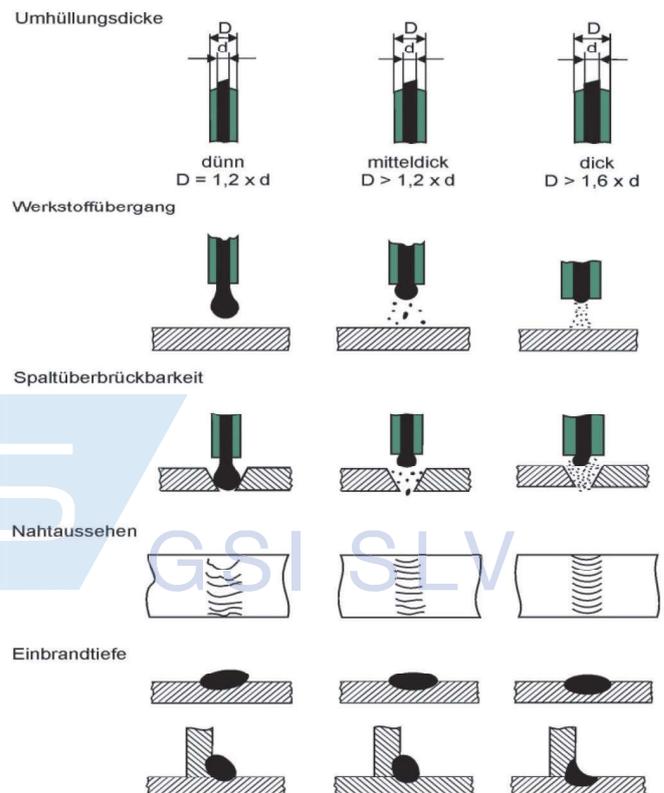


Abbildung 10: Einfluss der Umhüllungsstärke

Die Umhüllungsstärke und die Zusammensetzung der Umhüllung der Stabelektroden haben einen wesentlichen Einfluss auf:

- die Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften des Schweißgutes (mechanische Gütewerte)
- die Heißriss- und/oder Kaltrissbildung (Wasserstoffgehalt im Schweißgut)
- das Zünd- und Schweißverhalten der Stabelektrode und den Werkstoffübergang
- die Spaltüberbrückbarkeit, die Einbrandtiefe und das Nahtaussehen

5.6 Einteilung der umhüllten Stabelektroden

Die Einteilung der umhüllten Stabelektroden kann nach folgenden Gesichtspunkten erfolgen:

nach dem Verwendungszweck	Auftragschweißen, Verbindungsschweißen, Schneiden, Unterwasser-Schneiden und -Schweißen												
nach der chemischen Zusammensetzung des Schweißgutes	unlegierte und niedrig legierte, hoch legierte Stabelektroden für hochfeste, warmfeste, hitzebeständige, korrosionsbeständige Stähle oder NE-Metalle sowie Gusseisen												
nach den Eigenschaftent technologischen	nach den mechanisch-technologischen Gütewerten des Schweißgutes, nach der Stromart, Polung, Abschmelzleistung, Ausbringung, Schweißpositionen, Nahtform und Wasserstoffgehalt des Schweißgutes.												
nach der Herstellungsart	Pressmantel, Doppelpressmantel, (Tauchelektroden)												
nach dem Umhüllungstyp	<table border="0"> <tr> <td>Sauer</td> <td></td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Basisch</td> <td></td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Rutil</td> <td>umhüllt</td> <td>R</td> </tr> <tr> <td>Zellulose</td> <td></td> <td>C</td> </tr> </table>	Sauer		A	Basisch		B	Rutil	umhüllt	R	Zellulose		C
Sauer		A											
Basisch		B											
Rutil	umhüllt	R											
Zellulose		C											

5.7 Maße und Grenzabmaße von umhüllten Stabelektroden (DIN EN ISO 544 – Auszug)

Tabelle 3: Maße und Grenzabmaße

Umhüllte Stabelektroden ^{ab} Maße in Millimeter			
Durchmesser Kernstab	Durchmessergrenzabmaß	Länge	Längengrenzabmaß
1,6	± 0,06	200	± 6
2,0		bis	
2,5		350	
3,2	± 0,10	275 ≤ l 450 ^c	± 6
4,0			
5,0			
6,0			
8,0			

^a Andere Maße dürfen vereinbart werden. Für Zwischenmaße gelten die Grenzabmaße nach dieser Tabelle.
^b Maße für den Kernstab
^c Für besondere Fälle (z.B. Schwerkraftlichtbogenschweißen) Länge l < 1000 mm.

5.8 Kennzeichnung nach DIN EN ISO 544

5.8.1 Kennzeichnung auf dem Produkt

Umhüllte Stabelektroden müssen auf der Umhüllung nahe dem Einspannende oder auf dem Einspannende mit zumindest einer zurückverfolgbaren Handelsbezeichnung des Lieferanten oder der Stabelektroden einteilung dauerhaft gekennzeichnet sein.



Abbildung 11: Kennzeichnung auf dem Produkt

5.8.2 Kennzeichnung auf jeder kleinsten Verpackungseinheit

- Die Verpackung muss folgende Angaben enthalten: Name des Herstellers und Lieferanten
- Handelsbezeichnung
- Bezeichnung nach der entsprechenden internationalen Norm
- Abmessungen (Durchmesser und Länge)
- Chargen-/Schmelzen- oder Fertigungsnummer
- Stromart, empfohlene Strombereiche, Polarität
- Nenn-Nettogewicht oder Stückzahl
- Rücktrocknungsvorschriften oder Hinweis auf entsprechende Informationsquellen (z.B. bei basischen Elektroden)
- Gesundheitsschutz- und Sicherheitswarnhinweise sowie
- Zulassungen¹⁾ (falls zutreffend)
- Hier:

American Bureau of Shipping (**ABS**),
 Bureau Veritas (**BV**),
 Det Norske Veritas (**DNV**)
 Germanischer Lloyd (**GL**),
 und
 Lloyd's Register (**LR**)

¹⁾ Gemäß den Landesbauordnungen bedürfen Bauprodukte für den Metallbau gemäß der Bauregelliste **B** Teil 1 eines Übereinstimmungsnachweises in Form eines **Übereinstimmungszertifikats** (CE-Kennzeichnung, „Conformité Européenne“) einer Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle.

Das Verzeichnis der „PÜZ“-Stellen nach den Landesbauordnungen wird vom DIBt herausgegeben.



Abbildung 12: Beispiel einer Kennzeichnung auf der kleinsten Verpackungseinheit (Quelle: ESAB GmbH)

6 Empfehlungen zur Lagerung und Rücktrocknung von Stabelektroden

6.1 Lagerung (Auszug aus Merkblatt DVS 0957)

Grundsätzlich sollen umhüllte Stabelektroden bis zu ihrer Verwendung in der Originalverpackung gelagert werden. Die Entnahme der Elektrodenpakete aus dem Lager sollte möglichst in der Reihenfolge der Lagereingänge erfolgen.

Um die Stabelektroden vor feuchtigkeitsbedingten Schäden zu schützen, müssen sie in trockenen Räumen gelagert werden. Die Mindestvoraussetzungen, die an ein geeignetes Elektrodenlager gestellt werden, sind:

- Der Lagerraum muss witterungsgeschützt, belüftbar und ggf. beheizbar sein
- Decke, Boden und Wände müssen trocken sein
- Es dürfen sich keine offenen Wasserflächen im Raum befinden
- Der Raum ist mit Regalen oder Paletten ausgestattet.

Eine Lagerung der Elektrodenpakete direkt auf dem Boden und Kontakt mit Wänden soll vermieden werden, ebenso extreme Lagertemperaturen unter 0°C und über 30°C. Die Elektrodenpakete sollten auf Holzpaletten oder in Regalen mit einem Abstand zur Wand von ca. 30 cm gelagert werden. Unter den vorgenannten Bedingungen können konventionell verpackte Stabelektroden über einen längeren Zeitraum gelagert werden, wobei die maximale Lagerzeit von zwei Jahren nicht überschritten werden soll. Für Sonderverpackungen gelten keine speziellen Einschränkungen. **Verpackungen beim Umladen oder beim Ein- und Auslagern etc. niemals werfen.** Die Stapelhöhe der Umkartons und Schachteln sollte auf 6 bis max. 8 Einheiten begrenzt sein, bei Hochleistungselektroden max. 4 Einheiten.

6.2 Feuchtigkeitsaufnahme von Stabelektroden

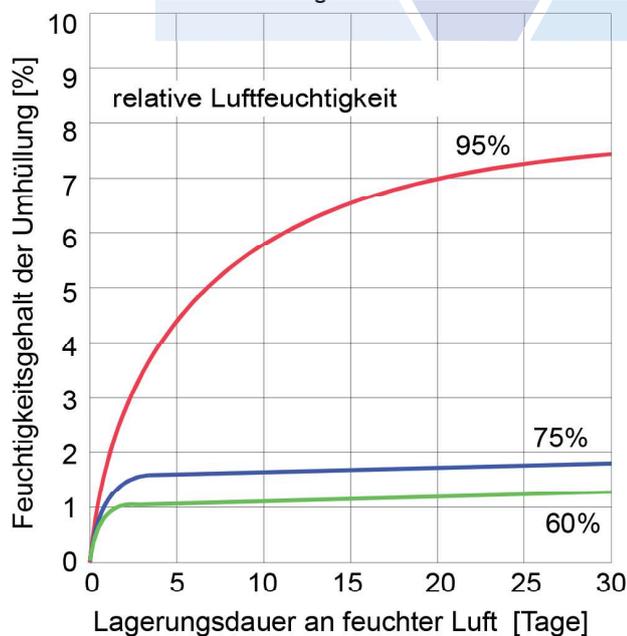
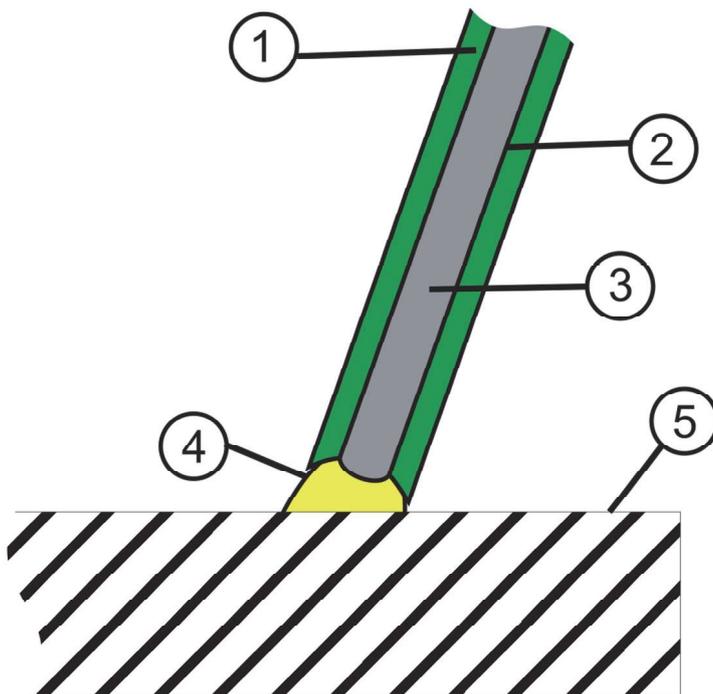


Abbildung 13: Feuchtigkeitsaufnahme basischer Elektroden bei Raumtemperatur und unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit

Hohe Luftfeuchtigkeit führt zu großer Feuchtigkeitsaufnahme.

Die Umhüllung von Stabelektroden ist – je nach dem Umhüllungstyp – mehr oder weniger hygroskopisch und enthält Wasser. In Abbildung 14 sind die Quellen für Wasserstoff, der beim Schweißen ins Schweißgut gelangen kann, dargestellt. Auch während der Lagerung (je nach Verpackung) und während der Ver-

arbeitszeit kann die Umhüllung Wasser aus der Luft aufnehmen.



- ① Umhüllung:
Oberflächen und Kapillarwasser, absorbiertes Wasser, Kristallwasser und kolloidal adsorbiertes Wasser, Konstitutionswasser.
- ② Kernstaboberfläche: Zieh fett
- ③ Kernstab
atomarer, molekularer, ionisierter und gebundener Wasserstoff
- ④ Lichtbogenoberfläche:
Umgebungs luft, Luftfeuchtigkeit
- ⑤ Grundwerkstoff:
Oberflächenverschmutzung wie Rost, Öl, Fett, Farbe
Atomarer, molekularer, ionisierter und gebundener Wasserstoff

Abbildung 14: Quellen für Wasserstoff im Schweißgut

Stabelektroden sollten grundsätzlich nur im trockenen Zustand verschweißt werden.

Zellulose umhüllte Stabelektroden bilden hier eine Ausnahme. Sie benötigen unbedingt eine **kontrollierte Restfeuchte**.

Es wird heute daher, in beiden Fällen, eine besondere Verpackungstechnik (Kunststoffe, Blechbüchsen, Vakuum usw.) angewendet.

6.3 Rücktrocknung

Für das Rücktrocknen der Stabelektroden gelten folgende Anhaltswerte:

- Niedriglegierte, basische Stabelektroden
250 – 350°C/ ca. 2,0 Std.
- Mittellegierte basische Stabelektroden für Feinkornbaustähle und warmfeste Stähle
300 - 350°C/ ca. 2 - 3 Std. Std.
- Hochlegierte Stabelektroden, **basisch und rutilumhüllt**
300 ± 25°C/ ca. 2,5 Std.
- Gusselektroden
120 – 200°C/ ca. 1 Std.

Ausgenommen hiervon sind Sonderverpackungen, z.B. vakuumverpackte Elektroden, welche nach Entnahme aus der Verpackung 10 bis 12 Stunden gebrauchsfertig sind. Danach müssen auch diese wieder entsprechend rückgetrocknet werden.

Die Anzahl der Trocknungsvorgänge, pro Elektrode beträgt etwa 3 Mal, oder die **Trocknungszeit** ist auf maximal 10 Stunden begrenzt.

Maßgeblich sind aber in allen Fällen die Herstellerangaben.

- Zur Vermeidung einer erneuten Feuchtigkeitsaufnahme müssen diese Elektroden, soweit vom Hersteller nicht anders vorgegeben, nach dem Trocknen bis zum Verschweißen wie folgt zwischengelagert werden: 100 bis 150°C bis ca. 8 Std. im mobilen Köcher
- 120 bis 200°C bis ca. 4 Wochen im ortsfesten Trockenschrank

6.4 Negative Auswirkungen einer erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme bei Stabelektroden

Tabelle 4: Negative Auswirkungen einer erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme bei umhüllten Stabelektroden.

Veränderungen an der Elektrode	Veränderungen der Schweißeigenschaften	Beeinträchtigung der Schweißnahtgüte
<ul style="list-style-type: none"> • Ausblühungen auf der Umhüllung • Aufblähen der Umhüllung • Anrosten des Kernstabes (bei unlegierten Elektroden) 	<ul style="list-style-type: none"> • ungleichmäßiges Abschmelzen der Umhüllung • instabiler Lichtbogen • erhöhte Spritzerbildung • Verschlechterung der Schlackenlöslichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Bildung von Einbrandkerben • Änderung der Nahtausbildung • Veränderung der Schweißgutzusammensetzung • Porenbildung • Minderung der Bruchdehnung durch Wasserstoffversprödung • Kaltrissbildung

7 Spezifische Gefahren beim Lichtbogenhandschweißen

7.1 Elektrische Gefährdung

Der elektrische Strom ist Energieträger (Wärmequelle) für alle Verfahren der Lichtbogenschweißtechnik. Er bedeutet Gefahr für den Schweißer, da im Schweißstromkreis nicht alle spannungsführenden Teile gegen direktes Berühren geschützt sind. Ein elektrischer Stromfluss durch den menschlichen Körper kann in Abhängigkeit von Stromart, Stromstärke, Einwirkdauer und Stromweg zu lebensbedrohlichen Schädigungen führen.

Daher ist insbesondere beim Lichtbogenhandschweißen darauf zu achten, dass die Schweißzange immer isoliert abgelegt wird und sich keine Elektrode mehr darin befindet.

7.1.1 Gefahrenbereich Schweißgerät und Netzanschluss

Schweißgeräte, die in Bereichen erhöhter elektrischer Gefährdung eingesetzt werden sollen, benötigen die Kennzeichnung S. Ältere Geräte mit der Kennzeichnung K oder 42 V sind auch zulässig.

Beim Einsatz im Freien muss das Gerät zudem mindestens den Schutzgrad IP23 aufweisen.

7.1.2 Gefahrenbereich Schweißleitungen, Werkstückanschluss

Der Schweißstromkreis soll eine überschaubare Einheit bilden zwischen Schweißstromquelle, Schweißstromleitungen und Werkstück. Schweißleitungen müssen isoliert sein und sind vor Beschädigungen zu schützen. Die Werkstückleitung muss fest, mit großflächigem Kontakt und unmittelbar bei der Schweißstelle an das zu schweißende Bauteil angeschlossen werden. Andernfalls entstehen vagabundierende Ströme, die zum Zerstören des Schutzleiters, zu Schmorstellen im Bereich von Zahnrädern, Wellenlagern, Aufhängungen usw. führen, oder Auswirkungen auf die eingestellten Schweißparameter haben.

7.2 Gefahrenbereich Lichtbogen

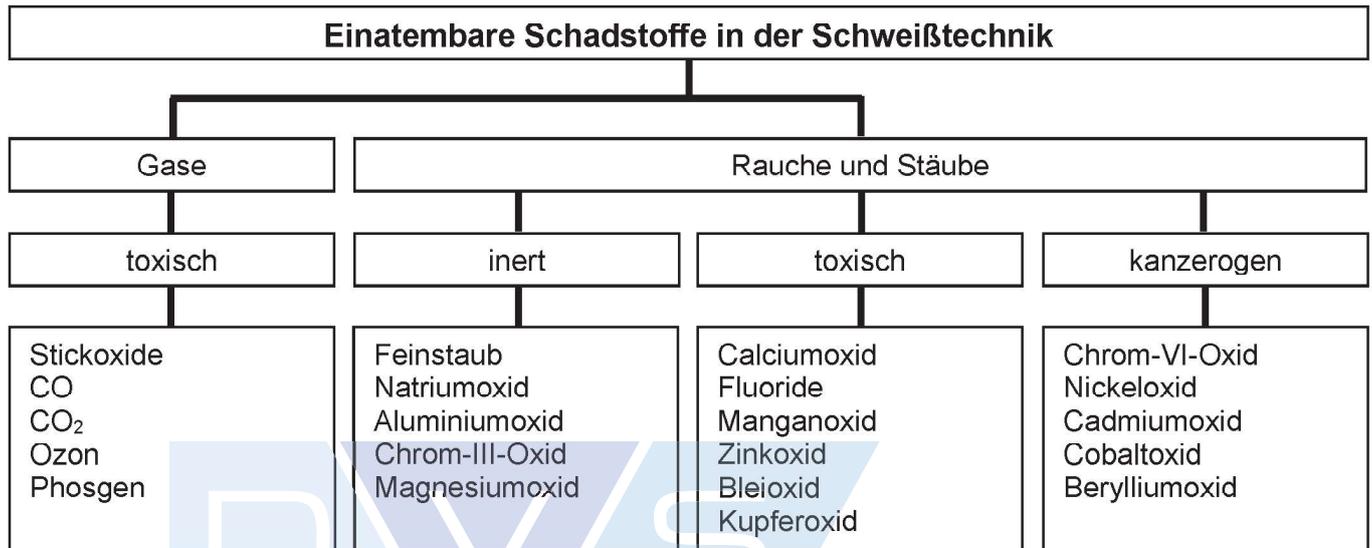
Vom Lichtbogen gehen UV-Strahlen aus, vor denen sich der Schweißer durch Schutzkleidung und Augenschutz abschirmen muss. Innerhalb von 30 Sekunden wird ein für die ungeschützte Haut kritischer Wert überschritten. Entsprechende Schutzfilter (9 bis 15) schützen die Augen. Nicht zu übersehen ist dabei die Streustrahlung von reflektierenden Flächen (z.B. Scheiben, polierten Metallflächen, etc.). Der Schweißbereich ist immer so abzuschirmen, dass eine Gefährdung von Dritten auszuschließen ist.

7.3 Gefahrenbereich Schmelzbad und Schlacke

Eine den Arbeitsbedingungen angepasste, geschlossene und feuerhemmende Arbeitskleidung schützt gegen die beim Schweißen auftretenden Metall- und Schlackespritzer. Schlacke darf nur unter Verwendung eines Schutzeschirmes, eines Schutzschildes oder einer Schutzbrille abgeklopft werden, andernfalls drohen Augenverletzungen durch Schlackesplitter.

7.4 Schweißrauche und Stäube

Beim Schweißen bilden sich gas- und partikelförmige Schadstoffe mit einer Partikelgröße meist unter 1 µm. Schweißrauche sind daher alveolengängig. Sie müssen in Werkstätten im Entstehungsbereich abgesaugt werden. Nicht entfernte Farben, Beschichtungen im Schweißbereich können beim Verdampfen im Lichtbogen weitere giftige Gase abgeben, z.B. Zinkoxid. Erkrankungen durch eine Vergiftung sind die Folge. Gerade beim Lichtbogenhandschweißen wird hier oft nicht mit nötiger Sorgfalt vorbereitet. Besonders hervorzuheben sind die krebserregenden Schweißrauche von basischen CrNi-Elektroden. Die Anteile an Chrom-VI-Verbindungen und Nickeloxiden sind sehr hoch. Rutil CrNi-Elektroden weisen hier zwar eine wesentlich geringere Belastung auf, jedoch ist hier in beiden Fällen eine sehr gute Absaugung dringend gefordert (siehe auch BGI 616).



7.5 Persönliche Schutzausrüstung

Zur persönlichen Schutzausrüstung gehören:

- Schweißer-Schutzhelm oder Maske mit entsprechender Augenschutzstufe
- Geschlossener, trockener Schutzanzug,
- Trockene Lederhandschuhe,
- Schutzbrille
- Gehörschutz (es empfiehlt sich diesen auch während des Schweißens zu tragen, da Metallspritzer u.a. in Zwangspositionen den Gehörgang verletzen können). Pflicht ab 85 dB(A), was beim Ausschleifen der Schweißnähte schon überschritten wird.
- In engen Räumen, beim Schweißen von Gas- und Fernwärmeleitungen ist ein zugelassener schwer entflammbarer Schweißer-Schutzanzug zu tragen; hier empfiehlt sich lederne Schutzkleidung.
- Hohe geschlossene Sicherheitsschuhe mit Gamaschen verhindern schwere Verbrennungen im Fußbereich durch Metall- und Schlacketropfen

Auf keinen Fall synthetische Arbeitsanzüge, Montagehandschuhe mit Stoffeinlagen etc. verwenden.

8 Kennzeichnung von Stabelektroden nach internationalen Normen

Um die Übersichtlichkeit bei den Bezeichnungen der Zusatzwerkstoffe zu vereinfachen, wurde ein einheitliches, werkstoffbezogenes Bezeichnungssystem eingeführt.

Die Normen enthalten entweder eine Einteilung zur Bezeichnung mithilfe der Festigkeit, Bruchdehnung, und Kerbschlagarbeit des reinen Schweißgutes oder der chemischen Zusammensetzung, z.B. bei hochlegierten Zusatzwerkstoffen.

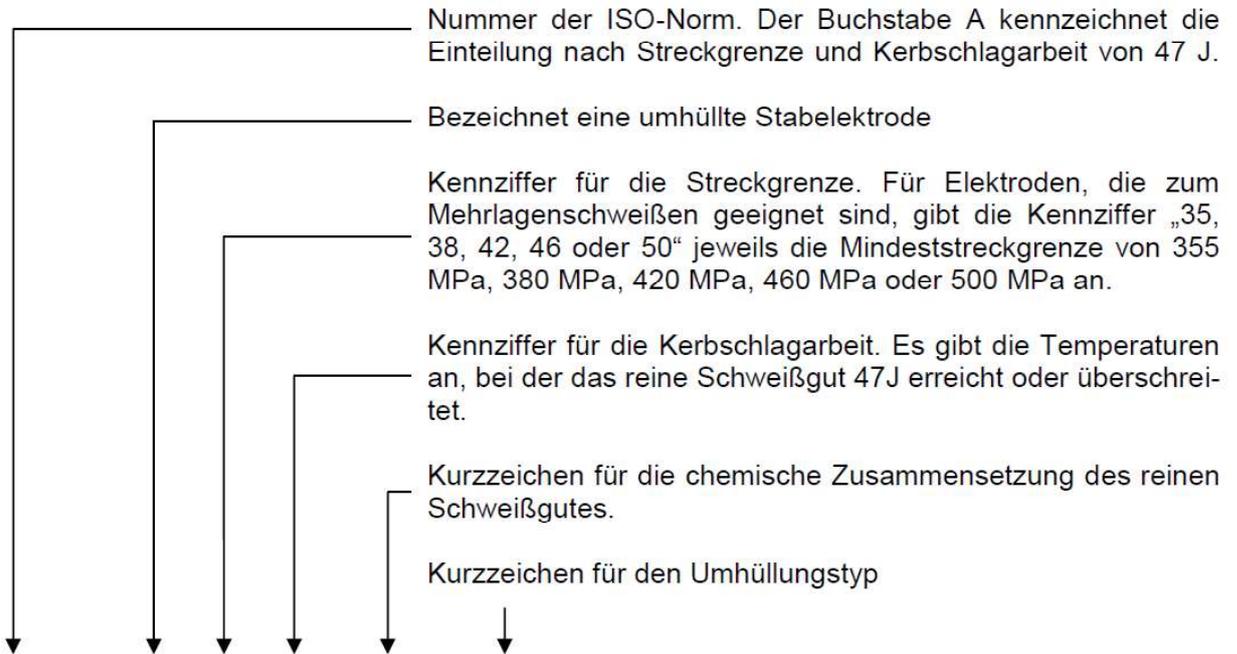
Das Verhältnis von Streckgrenze zur Zugfestigkeit des Schweißgutes ist im Allgemeinen höher als das für den Grundwerkstoff. Anwender sollten daher beachten, dass ein Schweißgut, welches die Mindeststreckgrenze des Grundwerkstoffes erreicht, nicht unbedingt dessen Mindestzugfestigkeit erreicht. Wenn bei der Anwendung eine bestimmte Mindestzugfestigkeit gefordert wird, muss daher bei der Auswahl des Schweißzusatzes die Zugfestigkeit entsprechend berücksichtigt werden.

8.1 Die Einteilung erfolgt nach acht Merkmalen am Beispiel DIN EN ISO 2560-A

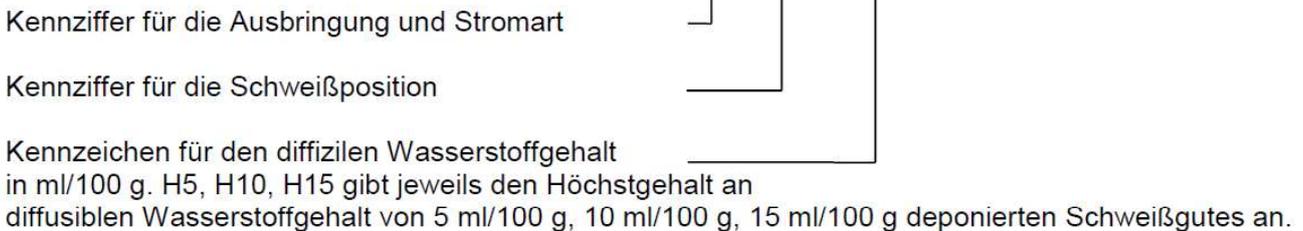
- 1) Kurzzeichen für das **Produkt/den Schweißprozess**;
- 2) Kennziffer für die **Festigkeitseigenschaften** und die **Bruchdehnung** des Schweißgutes;
- 3) Kennzeichen für die **Kerbschlagarbeit** des Schweißgutes;
- 4) Kurzzeichen für die **chemische Zusammensetzung** des Schweißgutes;
- 5) Kurzzeichen für den **Umhüllungstyp**;
- 6) Kennziffer für das **Ausbringen** und die **Stromart**;
- 7) Kennziffer für die **Schweißposition**;
- 8) Kennzeichen für den **Wasserstoffgehalt** des **Schweißgutes**.

8.2 Bezeichnungsbeispiel

Verbindliche Bezeichnungsmerkmale der Einteilung



Nicht verbindliche Bezeichnungsmerkmale



9 Auswahlkriterien von Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen

Die Auswahl von Stabelektroden erfolgt nach werkstoff- und schweißtechnischen Gesichtspunkten. Dabei wird zuerst ein Vergleich der mechanischen Gütewerte des Schweißzusatzes mit den Gütewerten des Grundwerkstoffes vorgenommen, wobei die Mindestanforderungen des Grundwerkstoffes auch im reinen Schweißgut erreicht werden müssen.

Die Auswahl erfolgt daher nach folgenden Kriterien:

1. dem zu **verschweißenden Grundwerkstoff**

- Unlegierte Stähle und Feinkornstähle
- Höherfeste Stähle
- Warmfeste Stähle
- Nicht rostende und hitzebeständige Stähle
- Nickel und Nickellegierungen
- Gusseisenwerkstoffe

weiter unterteilt nach:

- der chemischen Zusammensetzung
- den metallurgischen und physikalischen Eigenschaften

2. der **Beanspruchung des Bauteils**, geordnet nach:

- Konstruktiver Gestaltung des Bauteils
- Ruhende oder schwingende Beanspruchung
- Beanspruchungszustand (Größe der Belastung)

3. der **Schweißaufgabe**, geordnet nach:

- Schweißbedingungen,
- Schweißposition,
- Schweißstromquelle,
- Umhüllungstyp

4. der **Wirtschaftlichkeit**, geordnet nach:

- Abschmelzleistung,
- Ausbringen,
- Streckenenergie

Die Auswahl der umhüllten Stabelektroden erfolgt meist nach den Katalogen für Schweißzusätze der Herstellerfirmen (auch „Schweißweiser“ genannt).

Es sollte beachtet werden, dass die für die Einteilung der Stabelektroden benutzten mechanischen Eigenschaften des reinen Schweißgutes von denen abweichen können, die an Fertigungsschweißungen erreicht werden. Dies ist bedingt durch Unterschiede bei der Durchführung des Schweißens, wie z B. Stabelektroden Durchmesser, Pendelzug, Schweißposition und Werkstoffzusammensetzung. Daher ist in besonderen Fällen eine Arbeitsprobe zu empfehlen.

10 Stabelektroden für unlegierte und Feinkornstähle, DIN EN ISO 2560-A

10.1 Anwendungsbereich DIN EN ISO 2560-A

Diese internationale Norm legt Anforderungen zur Einteilung umhüllter Stabelektroden des Schweißgutes im Schweißzustand nach einer Wärmenachbehandlung für das Lichtbogenhandschweißen von unlegierten Stählen und von Feinkornstählen mit einer Mindeststreckgrenze bis zu 500 MPa oder mit einer Mindestzugfestigkeit bis zu 570 MPa fest.

Nach DIN EN ISO 2560-A gibt es eine große Auswahl an Stabelektroden mit sehr unterschiedlich zusammengesetzten Umhüllungen. Dabei wird nach Grund- und Mischtypen unterschieden. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Umhüllungstypen:

Tabelle 5: Umhüllungstypen nach DIN EN ISO 2560-A

Typ	Umhüllung
A	Sauer
C	Zellulose
R	Rutil
RA	Rutil-sauer
RB	Rutil-basisch
RC	Rutil-zellulose
RR	Dick rutil
B	Basisch

Bei höher- und hochlegierten Elektroden kommt diese Vielzahl nicht vor.

So gibt es Stabelektroden für hochfeste Stähle nach DIN EN ISO 18275 nur mit basischer Umhüllung, Elektroden für warmfeste Stähle nach DIN EN ISO 3580 und Elektroden für rostfreie / hitzebeständige Stähle nach DIN EN ISO 3581 nur mit rutiler oder basischer Umhüllung.

10.2 Sauer umhüllte Stabelektroden: A

Zusammensetzung

Die Umhüllung dieses Typs wird durch große Anteile von Schwermetalloxyden (Fe_3O_2 ; Fe_2O_3 , SiO_2) gekennzeichnet und – infolge des hohen Sauerstoffpotentials – durch desoxidierende Stoffe (Ferromangan).

Eigenschaften

Die entstehende Verbrennungswärme macht diese Elektroden zum „heißgehenden“ Stabelektrodentyp. Sie sind wesentlich empfindlicher für das Entstehen von Erstarrungsrissen als Stabelektroden anderer Umhüllungstypen. Die mechanischen Gütewerte des Schweißgutes sind niedrig.

Sauerumhüllte Stabelektroden sind nur begrenzt für das Schweißen in Zwangsposition geeignet.

Bedingt durch den hohen Sauerstoffgehalt der Umhüllungsbestandteile (Magnetit Fe_3O_4), kommt es beim Schweißen zu einem hohen Abbrand an Legierungselementen (vor allem Mangan).

Anwendungen:

Rein sauer umhüllte Stabelektroden werden heute nicht mehr eingesetzt.

Positiv zu erwähnen wäre die glatte Nahtzeichnung und die gute Schlackenentfernbarkeit.

10.3 Zellulose umhüllte Stabelektroden: C

Zusammensetzung

Stabelektroden dieses Typs enthalten einen hohen Anteil brennbarer, organischer Substanzen in der Umhüllung, insbesondere Zellulose. Eine definierte Restfeuchtigkeit ist für den intensiven Lichtbogen notwendig.

Eigenschaften

Durch den großen Anteil an organischen Substanzen, damit geringem Schlackeanteil und dem starken Lichtbogen, eignen sich diese Elektroden besonders zum Fallnahtschweißen. Es wird eine große Schweißgeschwindigkeit bei hoher Abschmelzleistung erreicht. Die Rauchentwicklung ist groß, stört aber im Freien kaum. Es werden röntgensichere Rohr-Rundnähte bei guten bis sehr guten Gütewerten des Schweißgutes erzielt. Die Schweißnähte haben ein grobschuppiges Nahtaussehen.

Anwendungen:

Erdverlegter Rohrleitungsbau und Pipelinebau sind die hauptsächlichen Anwendungsbereiche von Zellulose-Elektroden. Bei Rohrleitungen \geq DN 100 wird ein Zeitersparnis von bis zu 60% gegenüber Steignähten erreicht. Bereits bei der Wurzelschweißung können größere Elektrodendurchmesser (\varnothing 3,2 bis 8 mm Wanddicke / \varnothing 4,0 ab 8 mm Wanddicke) und höhere Stromstärken verwendet werden. Dadurch wird eine höhere Schweißgeschwindigkeit und somit auch eine höhere Wirtschaftlichkeit erreicht.

Verschweißbar sind Zellulose-Elektroden mit Gleichstrom: Wurzel am -Pol
Hotpass, Füll- und Decklagen werden am +Pol verschweißt.

Eine Typenauswahl:

DIN EN ISO 2560-A	E 42 2 C 25
	E 46 3 C 25
	E 50 3 1Ni C 25

Anmerkungen:

Fallnähte müssen in Mehrlagentechnik „in einer Wärme“ verschweißt werden. Der Hotpass muss maximal 10 Minuten nach Beendigung der Wurzelschweißung geschweißt werden, um Risse in der Schweißnaht zu vermeiden. Die Zwischenlagentemperatur sollte 80°C, bei höherfesten Rohren 150°C nicht unterschreiten. Weitere spezielle Arbeitstechniken und Schweißgeräte mit besonderen Eigenschaften sind in Abschnitt 19 Fallnahtschweißen beschrieben

10.4 Basisch umhüllte Stabelektroden: B

Zusammensetzung

Charakteristisch für die dicke Umhüllung dieser Stabelektroden ist der große Anteil von etwa 80 % Calciumcarbonat ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) und Flussspat (Calciumfluorid $\text{CaF}_2 \rightarrow$ Basenbildner). Daher wurden basische Typen meist als „kalkbasierte Elektrode“ (Kb-Elektroden) bezeichnet. Heute spricht man ausschließlich von **basischen** Elektroden. Ein Teil der toxisch bedenklichen Carbonate wurde durch andere Fluoride ersetzt. Daher wird Kryolith nicht mehr verwendet. Auch wurde der Umhüllung mehr Eisenpulver zugesetzt um den Lichtbogen heißer zu machen, was einen tieferen, sicheren Einbrand bewirkt. Diese Elektroden haben einen ruhigeren Lichtbogen, ein gleichmäßigeres Nahtbild und lassen sich auch bei niedrigeren Stromstärken noch sicher beherrschen. Die Schlackenablösung ist gegenüber der „Kb“-Elektrode etwas leichter.

Im Lichtbogen ist wenig Sauerstoff vorhanden. Der Abbrand von Legierungselementen ist daher gering.

Eigenschaften

Basisch umhüllte Stabelektroden haben zwei herausragende Eigenschaften:

- Hohe Kerbschlagarbeit des Schweißgutes, besonders bei tiefen Temperaturen;
- Hohe Rissicherheit, besser als bei anderen Typen (dabei senkt der hohe metallurgische Reinheitsgrad des Schweißgutes die Heißrissgefahr und ein geringerer Wasserstoffgehalt die Kaltrissempfindlichkeit).

Dies setzt trockene Stabelektroden voraus. Der Wasserstoffgehalt sollte die Obergrenze von 15 ml/100 g Schweißgut nicht überschreiten. Basische Elektroden sind hygroskopisch, Trockenvorschriften sind unbedingt zu beachten.

Basisch umhüllte Stabelektroden sind für das Schweißen in allen Positionen, ausgenommen Fallposition, geeignet.

Anwendungen:

Das sehr dehnfähige, kaltzähe Schweißgut eignet sich:

- Bei niedriger Streckgrenze für schrumpf-behinderte Bauteile
- Bei höherfesten Stählen als weiches Schweißgut für starre Konstruktionen
- Für große Nahtquerschnitte
- Bei großen Bauteildicken (>20 mm)
- Zum Verschweißen von durch P, S und N_2 verunreinigten Stählen (FU), diese Stahlbegleitelemente werden abgebunden und in die Schlacke überführt
- Bei C-Gehalten über 0,22% (u.a. auch Stahlguss und Schienenschweißungen)

Trocknung:

Rücktrocknen etwa 2 Stunden bei 250 bis 350°C, danach im Trockenofen bei 150°C, anschließend im Köcher bis zum Schweißen bei 100 bis 150°C warm halten. Maßgeblich ist aber in jedem Fall die Herstellerangabe.

Nachteile

- Schlechte Schlackenentfernbarkeit, raue Nahtoberfläche
- Schwierigere Handhabung, z.B. schlechte Zünd- und Wiederzündeeigenschaften
- Feuchtigkeitsaufnahme (hygroskopisch)

Eine Typenauswahl:

DIN EN ISO 2560-A

E 38 2 B 22 H 10

E 46 8 3Ni B 73 H5

E 42 5 B 32 H5

E 50 4 2Ni B 42 H5

E 46 4 B 42 H 10



10.5 Rutilumhülle Stabelektroden: R, RR, RC, RA, RB

Zusammensetzung

Hauptbestandteil der Umhüllungen ist Rutil (TiO_2); es wirkt im Lichtbogen weniger oxidierend, die Lichtbogenatmosphäre ist neutral, der Legierungsabbrand ist gering.

Die mechanischen Gütewerte des Schweißgutes von Rutil-Elektroden sind besonders bei Stählen mit höherem Mn-Gehalt (S355) zu beachten.

Bei der Auswahl dieser Stabelektroden sollten deshalb die Kennblätter der Schweißzusätze (von der Prüfstelle des Elektrodenherstellers) genutzt werden.

Eigenschaften

Rutil-Typen sind die in der Praxis am häufigsten verwendeten Elektroden, da Forderungen für sehr viele Anwendungsbereiche erfüllt werden können.

Vorteile Rutilumhüllter Stabelektroden

- Leichte Handhabung
- Gute Zünd- und Wiederzündeeigenschaften
- Feinschuppiges Nahtbild
- Leichte Schlackenentfernbarkeit
- Gleich- und Wechselstrom verschweißbar

Nachteile

- Nicht einsetzbar bei Stählen mit $C > 0,2\%$
- Höhere Wasserstoffgehalte (ca. 20 ml/100 g Schweißgut)
- Rissgefahr bei Bauteildicken über 25 mm
- Niedrige Kerbschlagzähigkeit bei Minustemperaturen (im Vergleich zu basischen Elektroden)

Rutilumhüllte Stabelektroden werden vorwiegend mit Gleichstrom am -Pol oder mit Wechselstrom verschweißt.

Rutilumhülle Stabelektroden: R

Stabelektroden dieses Typs haben einen grobtropfigeren Werkstoffübergang als die dick rutilumhüllten. Sie besitzen eine gute Spaltüberbrückbarkeit und sind für das Schweißen von dünnen Blechen geeignet. Negativ ist jedoch die starke Endkraterbildung. Geeignet für alle Schweißpositionen, ausgenommen Fallposition. Beispiel: DIN EN ISO 2560-A E 42 0 R 12

Dick Rutil umhüllte Stabelektroden: RR

Bei Stabelektroden dieses Typs ist das Verhältnis von Umhüllungs- zu Kernstabdurchmesser $\geq 1,6$. Charakteristisch sind der hohe Rutilgehalt der Umhüllung, das gute Zünden, ein feintropfiger Werkstoffübergang und die feinschuppigen, gleichmäßigen Nähte.

Beispiel: DIN EN ISO 2560-A E 42 0 RR 12

Rutilzellulose-umhüllte Stabelektroden: RC

Die Zusammensetzung der Umhüllung dieser Stabelektroden ist ähnlich der der rutilumhüllten Stabelektroden, sie enthält jedoch größere Zellulose-Anteile. Das Schweißgut ist zähflüssig mit einem geringeren Schlackeanteil, daher können Stabelektroden dieses Typs auch für das Schweißen in Fallposition verwendet werden. Allround-Elektrode für den schlosserischen Bereich.

Für Wurzelschweißungen bei Stumpf- und Kehlnähten im Metall- und Rohrleitungsbau nicht zugelassen. Verwendung: z.B. Kellergeschweißte Stahltanks.

Beispiel: DIN EN ISO 2560-A E 38 0 RC 11

Rutilsauer-umhüllte Stabelektroden: RA

Das Schweißverhalten von Stabelektroden dieses Mischtyps ist mit sauerumhüllten Stabelektroden vergleichbar. In der Umhüllung dieser Stabelektroden sind jedoch wesentliche Anteile an Eisenoxid durch Rutil ersetzt. Daher können diese meist dick umhüllten Stabelektroden für das Schweißen in allen Positionen, ausgenommen Fallposition, eingesetzt werden.

Diese Stabelektroden haben eine hohe Abschmelzleistung, Strombelastbarkeit und eine leicht entfernbare poröse Schlacke. Rutilsauer-umhüllte Elektroden finden heute kaum noch Verwendung.

Besonders geeignet sind sie für Dichtnähte in spitzen Winkeln. Sie bilden konkave glatte Nähte, der Wurzelpunkt bei Kehlnähten wird sicher erfasst. Durch den niedrigen Si-Gehalt sind sie sehr gut für anschließendes Verzinken, Emaillieren und Gummieren geeignet.

Der Abbrand von Legierungselementen ist, wie bei rein sauren Elektroden, relativ hoch.

Rutilbasisch-umhüllte Stabelektroden: RB

Charakteristisch für die Umhüllung dieses Typs sind die hohen Anteile an Rutil, zusammen mit angehobenen basischen Anteilen, ein mitteltropfiger Werkstoffübergang und eine dünne fließfähige Schlacke. Diese meist dick umhüllten Stabelektroden besitzen, neben guten Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften des Schweißgutes, gute Schweißeigenschaften in allen Schweißpositionen, außer Fallposition.

Sehr häufige Anwendung finden sie als Steignahtelektrode im Rohrleitungs- und Stahlbau, bei Zwangslagenschweißungen und Wurzelschweißungen.

Beispiel: DIN EN ISO 2560-A E 38 2 RB 12

10.6 Mehrausbringungselektroden, „Hochleistungselektroden“

Zusammensetzung

Diese Stabelektroden enthalten in der Umhüllung zusätzlich Metallpulver bis gut zum doppelten dessen, was als Schweißgut durch den Kernstab eingebracht wird.

Eigenschaften (siehe auch Abschnitt 17.4)

Das Verschweißen erfolgt für

RR- und RA-Typen mit Gleichstrom am –Pol oder Wechselstrom

RB-Typen bevorzugt Gleichstrom +Pol, möglich auch Gleichstrom –Pol oder Wechselstrom

B-Typen Gleichstrom am +Pol.

Die einzustellende Stromstärke ist, im Vergleich zu Elektroden mit niedrigerer Ausbringung (105%) deutlich höher. Die Brenndauer verkürzt sich. Die Ausziehlänge erhöht sich nur unwesentlich.

Hochleistungselektroden mit einer Ausbringung von bis zu 160% können in den Positionen PA und PB verschweißt werden.

Bei einer Ausbringung von 160% bis ca. 220% sind diese Elektroden, wegen des sehr flüssigen Schweißgutes, nur noch in der Position PA verschweißbar.

Erreichbares a-Maß: Kernstabdurchmesser + 0,5 mm

Anwendung

Eine bevorzugte Anwendung sind längere durchlaufende Kehlnähte (z.B. Baggerbau, Schiffbau).

Eine Typenauswahl:

DIN EN ISO 2560-A

E 42 2 RA 73

E 42 0 RR 73

E 42 2 RB 53

E 42 4 B 73 H 5

10.7 Anwendungsbeispiele für Stabelektroden der DIN EN ISO 2560-A

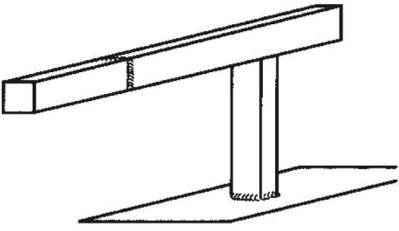
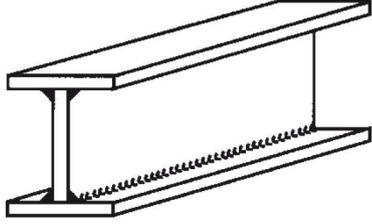
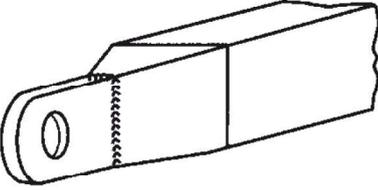
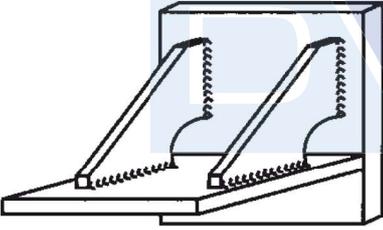
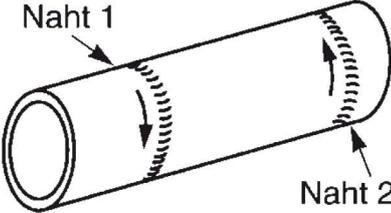
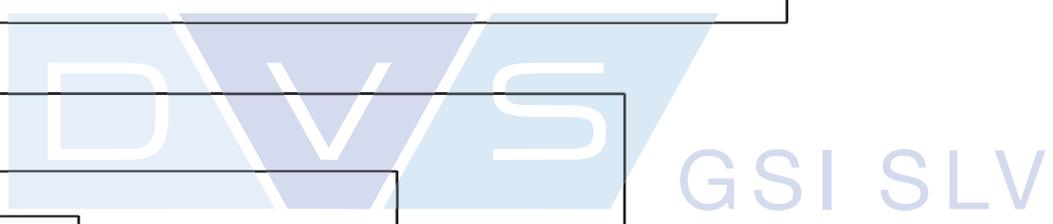
	<p>Stumpf- und Kehlnähte an dünnwandigen Profilen Werkstoff: S235JR</p> <p>DIN EN ISO 2560-A E 42 0 RR 12 (besser geeignet für Kehlnähte) DIN EN ISO 2560-A E 42 0 R 12 oder DIN EN ISO 2560-A E 38 2 RB 12 (besser geeignet für Stumpfnähte, Spaltüberbrückbarkeit)</p>
	<p>Kehlnähte an langen Doppel-T-Trägern Werkstoff: S235J0 Schweißposition: PB</p> <p>DIN EN ISO 2560-A E 42 0 RR 73 DIN EN ISO 2560-A E 42 2 RB 53</p>
	<p>Doppel-V-Naht an Zugstangen mit großer Werkstückdicke Werkstoff: S355J3 Schweißposition: PA</p> <p>DIN EN ISO 2560-A E 38 2 B 12 H10 DIN EN ISO 2560-A E 42 4 B 32 H10</p>
	<p>Kehlnähte an Konsolen (t = 10 mm) Werkstoff: S235JR Schweißposition: PB, PF</p> <p>DIN EN ISO 2560-A E 38 2 RB 12</p>
	<p>Stumpfnähte an Rohren (L235J2) Naht 1 Schweißposition PJ DIN EN ISO 2560-A E 42 2 C 25 Naht 2 Schweißposition PH DIN EN ISO 2560-A E 38 2 RB 12</p>

Abbildung 15: Zuordnung geeigneter Stabelektroden

Tabelle 6: Stabelektroden für unlegierte und Feinkorn-Stähle, DIN EN ISO 2560-A

E		46		6		Mn1Ni		B		4		2		H5	
Kennziffer	35	Mindeststreckgrenze ¹⁾ [MPa]	355	Zugfestigkeit [MPa]	440 bis 570	Mindestbruchdehnung [%]	22	Kennzeichen	H 5	Wasserstoffgehalt ml/100 g Schweißgut max.	5				
	38	380	470 bis 600	20		10									
42	420	500 bis 640	20			15									
46	460	530 bis 680	20												
50	500	560 bis 720	18												
¹⁾ Es gilt die untere Streckgrenze (R _{el}). Bei nicht eindeutig ausgeprägter Streckgrenze ist die 0,2 %-Dehngrenze (R _{p0,2}). ²⁾ Messlänge ist gleich dem fünffachen Probendurchmesser															
Kennbuchstabe/ Kennziffer	Z	Mindest-Kerbschlagarbeit 47 J bei °C													
	A	keine Anforderungen													
	0	+ 20													
	2	0													
	3	- 20													
	4	- 30													
	5	- 40													
6	- 50														
		- 60													
Legierungskurzzeichen	Kein Kurzzeichen	Mn	Chemische Zusammensetzung % (Massenanteil)												
	Mo	2,0	Mo	-											
	MnMo	1,4		0,3 bis 0,6											
	1Ni	1,4 bis 2,0		0,3 bis 0,6											
	Mn1Ni	1,4		-											
	2Ni	1,4 bis 2,0		0,6 bis 1,2											
	Mn2Ni	1,4		0,6 bis 1,2											
	3Ni	1,4 bis 2,0		1,8 bis 2,6											
	1NiMo	1,4		1,2 bis 2,6											
	Z	1,4		2,6 bis 3,8											
		jede andere vereinbarte Zusammensetzung													
Kennziffer	1	≤ 105													
	2	≤ 105													
	3	> 105 ≤ 125													
	4	> 105 ≤ 125													
	5	> 125 ≤ 160													
6	> 125 ≤ 160														
7	> 160														
8	> 160														
Kurzzeichen	A	sauer-umhüllt													
	C	zellulose-umhüllt													
	R	rutil-umhüllt													
	B	basisch-umhüllt													
Kennziffer	1	Wechsel- und Gleichstrom													
	2	Gleichstrom													
	3	Wechsel- und Gleichstrom													
	4	Gleichstrom													
	5	Wechsel- und Gleichstrom													
	6	Gleichstrom													
	7	Wechsel- und Gleichstrom													
	8	Gleichstrom													
Kurzzeichen	A	sauer-umhüllt													
	C	zellulose-umhüllt													
	R	rutil-umhüllt													
	B	basisch-umhüllt													



11 Stabelektroden für wetter-, hochfeste und kaltzähe Stähle, DIN EN ISO 18275-A

Zum Lichtbogenhandschweißen von hochfesten Feinkornbaustählen (<500 MPa) im Stahlbau werden fast ausschließlich basisch (B) umhüllte Stabelektroden angewendet. Zur Einheitlichkeit der Bezeichnung wurden Teile aus der DIN EN ISO 2560-A übernommen.

Zusammensetzung

Die Zusammensetzung der Umhüllung unterscheidet sich durch einen höheren Anteil an Legierungselementen, z.B. Mn, Ni, Cr und Mo, von den basischen Elektroden der DIN EN ISO 2560-A.

Eigenschaften

Basisch umhüllte hochfeste Stabelektroden haben folgende herausragende Eigenschaften:

- Hohe Kerbschlagarbeit des Schweißgutes, sprödebruchsicher bei tiefen Temperaturen (bis -80°C)
- Hohe Rissicherheit
- Hervorragende Festigkeitseigenschaften auch für höhere Temperaturen (bis ca. 440°C), allerdings sinkt hier die Dehngrenze deutlich ab.

Anwendungen

- Statisch und dynamisch hoch belastete Schweißkonstruktionen, z.B. im Stahlbau, Anlagen und Fahrzeugbau
- Stumpfnahverbindungen beim Betonstahlschweißen
- Bei höherfesten Stählen als weiches Schweißgut für starre Konstruktionen
- Große Nahtquerschnitte und Bauteildicken
- Zum Verschweißen von durch P, S und N₂ verunreinigten Stählen (FU), diese Stahlbegleitelemente werden abgebunden und in die Schlacke überführt
- Bei C-Gehalten über 0,22% (u.a. auch Stahlguss und Schienenschweißungen)

Besonderheiten

Angaben über die Festigkeitseigenschaften des Schweißgutes beziehen sich auf den Schweißzustand. Ist ein T in der Bezeichnung zugefügt, beziehen sich die Werte auf den spannungsarmgeglühten Zustand.

Bezeichnungsbeispiel:

DIN EN ISO 18275-A – E 55 3 MnMo B T 4 2 H10 (650°C, Haltedauer bis 15 Stunden).

Ein Z für Legierungselemente zeigt an, dass die chemische Zusammensetzung außerhalb der festgelegten Grenzen liegt. Achtung: Gleiche Elektroden mit Z-Werten sind miteinander nicht vergleichbar.

Bezeichnungsbeispiel:

DIN EN ISO 18275-A – E 55 5 Z2Ni B 45 (basische Fallnahtelektrode)

Arbeitsregeln

Basische Elektroden für das Verschweißen von Feinkornbaustählen müssen rückgetrocknet werden, und zwar mit höheren Temperaturen als B-Elektroden nach DIN EN ISO 2560-A:

2 Stunden bei 300 bis 350°C, jedoch max. 10 Stunden. Maßgeblich sind die Herstellerangaben.

Elektroden sind meist mit Zündhilfen versehen (zusätzliche Schutzgaswolke beim erstmaligen Zünden, Vermeidung von Ansatzporen).

Der Wasserstoffgehalt des Schweißgutes soll 15 ml/100 g Schweißgut nicht überschreiten.

- Mit gezielter Wärmeeinbringung arbeiten
- Streckenenergie beachten
- Strichraupen statt Pendelraupen
- Keine zu dicken Lagen, besonders in Position „PF“
- Arbeitstemperatur nicht über 200°C

- Für die Streckenenergie gilt bei Wanddicken < 15 mm: Wanddicke = Streckenenergie kJ/cm.
- Jeden Ansatz anschleifen (Poren nach Abreißen des Lichtbogens durch fehlenden Gasschutz)



Erläuterung zu den Kennzeichen der DIN EN ISO 18275-A

Tabelle 7: Stabelektroden für wetterfeste, hochfeste und kaltzähe Stähle, DIN EN ISO 18275-A

E		62		7		Mn1Ni		B		3		4		H5		
Kennzeichen	H 5	Wasserstoffgehalt ml/100 g Schweißgut max.														
	H 10 H 15	5 10 15														
Kennziffer	Schweißpositionen in Übereinstimmung mit ISO 6947															
	1	alle Positionen														
	2	alle Positionen, außer Fallposition														
	3	Stumpfnaht in Wannenposition, Kehlnaht in Wannen- und Horizontalposition														
	4	Stumpfnaht in Wannenposition, Kehlnaht in Wannenposition														
5	Fallposition und Positionen wie Kennziffer 3.															
Kennziffer	Nennaubringung%		Stromart													
	1	≤ 105	Wechsel- und Gleichstrom													
	2	≤ 105	Gleichstrom													
	3	> 105 ≤ 125	Wechsel- und Gleichstrom													
	4	> 105 ≤ 125	Gleichstrom													
	5	> 125 ≤ 160	Wechsel- und Gleichstrom													
	6	> 125 ≤ 160	Gleichstrom													
	7	> 160	Wechsel- und Gleichstrom													
8	> 160	Gleichstrom														
Kurzzzeichen		Umhüllungstyp														
B		basisch-umhüllt														
Die meisten Stabelektroden dieser Art sind basisch umhüllt und haben das Kurzzzeichen B. Für Zellulose umhüllte und andere Umhüllungstypen siehe DIN EN ISO 2560																
Das Kennzeichen T gibt an, dass die Festigkeits-, Dehn- und Kerbschlageligenschaften in der Einteilung des aufgetragenen Schweißgutes für den Zustand nach einer Wärmenachbehandlung bei Temperaturen zwischen 560 °C und 600 °C für 1 h erhalten werden. Das Prüfstück muss zum Abkühlen auf 300 °C im Ofen gelagert werden.																
Kennbuchstabe/ Kennziffer	Zugfestigkeit [MPa]		Mindestbruchdehnung [%]													
	55	550	510 bis 780	18												
	62	620	690 bis 890	18												
	69	690	760 bis 960	17												
	79	790	880 bis 1 080	16												
	89	890	980 bis 1 180	15												
	1) Es gilt die untere Streckgrenze (R _{eL}). Bei nicht eindeutig ausgeprägter Streckgrenze ist die 0,2 %-Dehngrenze (R _{p0,2}).															
	2) Messlänge ist gleich dem fünffachen Probendurchmesser															
	Mindest-Kerbschlagarbeit 47 J bei °C															
	Z	Keine Anforderung														
A	+ 20															
0	0															
2	- 20															
3	- 30															
4	- 40															
5	- 50															
6	- 60															
7	- 70															
8	- 80															
Legierungskurzzeichen	Chemische Zusammensetzung % (Massenanteil)															
	MnMo	Mn	Ni	Cr	Mo											
	Mn1Ni	1,4 bis 2,0	-	-	0,3 bis 0,6											
	1NiMo	1,4	0,6 bis 1,2	-	-	0,3 bis 0,6										
	1,5NiMo	1,4	1,2 bis 1,8	-	-	0,3 bis 0,6										
	2NiMo	1,4	1,8 bis 2,6	-	-	0,3 bis 0,6										
	Mn1NiMo	1,4 bis 2,0	0,6 bis 1,2	-	-	0,3 bis 0,6										
	Mn2NiMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	-	-	0,3 bis 0,6										
	Mn2NiCrMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	0,3 bis 0,6	-	0,3 bis 0,6										
	Mn2Ni1CrMo	1,4 bis 2,0	1,8 bis 2,6	0,6 bis 1,0	-	0,3 bis 0,6										
Z	jede andere vereinbarte Zusammensetzung Es ist möglich, dass zwei Stabelektroden mit der gleichen Einteilung in Z nicht austauschbar sind															

12 Stabelektroden für warmfeste und hochwarmfeste Stähle, DIN EN ISO 3580-A

Diese Norm enthält eine Einteilung zur Bezeichnung von umhüllten Stabelektroden mit der chemischen Zusammensetzung des reinen Schweißgutes.

Zusammensetzung

Stabelektroden für warmfeste Stähle sind als rutil- und basisch-umhüllte Typen erhältlich, hochwarmfeste Elektroden werden nur mit basischer Umhüllung angeboten.

Um die Warmfestigkeit zu erhöhen, werden bei max. Betriebstemperaturen bis 550°C geringe Mengen an Cr, Mo, und V zulegiert (CrMo1). Über 550°C bis etwa 600°C ist zusätzlich eine Zunderbeständigkeit erforderlich, was ein höheres Legieren mit Cr, Mo und V nötig macht (CrMo2). Spezielle Elektroden werden noch zusätzlich mit W, Nb, Ni legiert um bei Betriebstemperaturen bis 650°C zu bestehen. Stabelektroden dieses Typs sind in der Regel kernstablegiert.

Eigenschaften

Rutile CrMo-Elektroden sind ohne Vorbehandlung wie rutil- Stabelektroden gut verschweißbar. Basische CrMo-Elektroden müssen bei 300 bis 350°C zwei Stunden rückgetrocknet werden. Hohe Zeitstandfestigkeit und Zähigkeitsverhalten auch im Langzeitbereich bis 650°C.

Anwendungen

z.B. Dampfturbinen, Kessel- und Rohrleitungsbau

Grundwerkstoffe:	16Mo3	Zusatzwerkstoffe:	E Mo R 1 2
	13CrMo4-5		E CrMo1 R 1 2 (E
	10CrMo9-10		CrMo1 B 2 2 H5)
			E CrMo2 B 2 2 H5

Besonderheiten

Häufig werden bei dickeren Werkstoffen im Stumpfstoß (U-Nahtvorbereitung, sogenannte Tulpennaht) die Wurzel-WIG-, die Füll- und Decklagen aus wirtschaftlichen Gründen mit der Stabelektrode geschweißt.

Risse in Schweißverbindungen können durch Wasserstoff verursacht oder maßgeblich beeinflusst werden. Die Gefahr von wasserstoffinduzierten Rissen erhöht sich mit zunehmendem Legierungsgehalt und der Höhe der Spannungen.

Die Kaltrissneigung ist umso geringer, je niedriger der Wasserstoffgehalt des Schweißgutes ist.

Wasserstoff im Schweißgut entsteht z.B. durch nicht ordnungsgemäß rückgetrocknete basische Stabelektroden.

Je nach Grundwerkstoff sind Vorwärm- und Zwischenlagentemperaturen von ca. 250°C bis 350°C sowie eine Wärmenachbehandlung nötig: Glühen 660 bis 750°C, Haltedauer 1/2 bis 2 Stunden (Ofen) nötig.

Erläuterung zu den Kennzeichen der DIN EN ISO 3580-A

Tabelle 8: Auszug DIN EN ISO 3580

Kurzzeichen für die chemische Zusammensetzung bei der Einteilung nach Nennzusammensetzung (ISO 3580-A)		Chemische Zusammensetzung, % Masseanteil									
Legierungstyp (ISO 3580-B)		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Andere Elemente	
Mo	(1M3)	0,10	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,2	0,40 bis 0,70	0,03	—	
(Mo)	1M3	0,12	0,80	1,00	0,030	0,030	—	0,40 bis 0,65	—	—	
MoV	—	0,03 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,30 bis 0,60	0,80 bis 1,20	0,25 bis 0,60	—	
CrMo0,5	(CM)	0,05 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,40 bis 0,65	0,40 bis 0,65	—	—	
(CrMo0,5)	CM	0,05 bis 0,12	0,80	0,90	0,030	0,030	0,40 bis 0,65	0,40 bis 0,65	—	—	
—	Cr1M	0,07 bis 0,15	0,30 bis 0,60	0,40 bis 0,70	0,030	0,030	0,40 bis 0,60	1,00 bis 1,25	0,05	—	
CrMo1	(1CM)	0,05 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,90 bis 1,40	0,45 bis 0,70	—	—	
(CrMo1)	1CM	0,05 bis 0,12	0,80	0,90	0,030	0,030	1,00 bis 1,50	0,40 bis 0,65	—	—	
CrMo1L	(1CML)	0,05	0,80	0,40 bis 1,50	0,030	0,025	0,90 bis 1,40	0,45 bis 0,70	—	—	
(CrMo1L)	1CML	0,05	1,00	0,90	0,030	0,030	1,00 bis 1,50	0,40 bis 0,65	—	—	
CrMoV1	—	0,05 bis 0,15	0,80	0,70 bis 1,50	0,030	0,025	0,90 bis 1,30	0,90 bis 1,30	0,10 bis 0,35	—	
CrMo2	(2C1M)	0,05 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,30	0,030	0,025	2,0 bis 2,6	0,90 bis 1,30	—	—	
(CrMo2)	2C1M	0,05 bis 0,12	1,00	0,90	0,030	0,030	2,00 bis 2,50	0,90 bis 1,20	—	—	
CrMo2L	(2C1ML)	0,05	0,80	0,40 bis 1,30	0,030	0,025	2,00 bis 2,6	0,90 bis 1,30	—	—	
(CrMo2L)	2C1ML	0,05	1,00	0,90	0,030	0,030	2,00 bis 2,50	0,90 bis 1,20	—	—	
—	2CML	0,05	1,00	0,90	0,030	0,030	1,75 bis 2,25	0,40 bis 0,65	—	—	
—	2C1MV	0,05 bis 0,15	0,60	0,40 bis 1,50	0,030	0,030	2,00 bis 2,60	0,90 bis 1,20	0,20 bis 0,40	Nb 0,010 bis 0,050	
—	3C1MV	0,05 bis 0,15	0,60	0,40 bis 1,50	0,030	0,030	2,60 bis 3,40	0,90 bis 1,20	0,20 bis 0,40	Nb 0,010 bis 0,050	
CrMo5	(5CM)	0,03 bis 0,12	0,80	0,40 bis 1,50	0,025	0,025	4,0 bis 6,0	0,40 bis 0,70	—	—	

DIN EN ISO 3580-A E CrMo1 B 4 4 H5

E: Kennbuchstabe Lichtbogenhandschweißen

Kurzzeichen	Umhüllungstyp
R	rutil-umhüllt
B	basisch-umhüllt

Kennziffer	Ausbringen %	Stromart
1	≤ 105	Wechsel- und Gleichstrom
2	≤ 105	Gleichstrom
3	> 105 ≤ 125	Wechsel- und Gleichstrom
4	> 105 ≤ 125	Gleichstrom
5	> 125 ≤ 160	Wechsel- und Gleichstrom
6	> 125 ≤ 160	Gleichstrom
7	> 160	Wechsel- und Gleichstrom
8	> 160	Gleichstrom

Kennzeichen	Wasserstoffgehalt ml/100 g Schweißgut max.
H 5	5
H10	10
H15	15

Kennziffer	Schweißpositionen in Übereinstimmung mit ISO 6947
1	alle Positionen
2	alle Positionen, außer Fallposition
3	Stumpfnaht in Wannenposition, Kehlnaht in Wannen- und Horizontalposition
4	Stumpfnaht in Wannenposition, Kehlnaht in Wannenposition
5	Falposition und Positionen wie Kennziffer 3.

SLV

13 Stabelektroden für nicht rostende und hitzebeständige Stähle, DIN EN ISO 3581-A

Diese Norm enthält eine Einteilung zur Bezeichnung von umhüllten Stabelektroden mithilfe der chemischen Zusammensetzung des reinen Schweißgutes.

Zusammensetzung

Stabelektroden können rutil- oder basisch-umhüllt sein; in beiden Fällen werden die Stabelektroden an DC +Pol verschweißt (rutil-umhüllt teilweise auch mit Wechselstrom möglich). Beide Typen sind kernstablegiert.

Legierungselemente sind in der Reihenfolge Cr, Ni, Mo zahlenmäßig in ganzen Prozenten hintereinander ohne Kurzzeichen aufgeführt.

Eigenschaften

Die Besonderheit dieser Stabelektroden ist die hohe Korrosionsbeständigkeit, die Kaltzähigkeit bis etwa -200°C sowie die Zunderbeständigkeit bis etwa 900°C.

Anwendungen

Verschweißen korrosionsbeständiger Stähle für Anwendungen, z.B. im Anlagenbau, Rohrleitungsbau, Dampfkraftwerksbau, chemische Industrie, Nahrungsmittelindustrie etc.

Arbeitsregeln

Hochlegierte Stabelektroden müssen nach Herstellerangaben rückgetrocknet werden (ca. 2 Std. bei 250 bis 350°C). Bei Nichtbeachtung dieser Maßnahme ist mit Poren, insbesondere am Nahtanfang zu rechnen. Kernstablegierte Chrom-Nickel-Elektroden sind mit niedriger Streckenenergie zu verschweißen. Die Zwischenlagentemperatur sollte 150°C nicht überschreiten. Kleine Elektrodendurchmesser und niedrige Stromstärken wählen. Große Schweißbäder vermeiden, um Schweißspannungen möglichst gering zu halten, jedoch Wurzelschweißungen mit ausreichend großem Querschnitt ausführen, da es sonst zu Spannungsrissen in Längsrichtung kommen kann.

Alle Ansatzstellen müssen sorgfältig überschliffen werden.

Zündstellen, z.B. durch schlecht angebrachte Masseklemmen, sind unbedingt zu vermeiden, da dadurch sehr feine Risse auftreten, die dann die Ursache für Spaltkorrosion sein können.

Hochlegiertes Schweißgut lässt sich durch Zulegieren von Mangan und/oder Molybdän wesentlich unempfindlicher gegen Heißrisse machen. Dagegen kann Niob, insbesondere mit Stickstoff, sowie Verunreinigungen durch Phosphor, Schwefel und Bor die Heißrisbildung stark begünstigen. Vollaustenitische Stähle, ohne Mn und/oder Mo-Legierungsanteile sind hier besonders gefährdet. Der richtigen Auswahl des Zusatzwerkstoffes kommt hier eine sehr große Bedeutung zu.

Besonderes Augenmerk ist daher auch auf die Nahtvorbereitung sowie die Sauberkeit der Nahtflanken und der Nahtumgebung zu richten. Öl, Fett, Farbe oder Beschichtungen etc. müssen restlos entfernt werden.

Bezüglich der Korrosionsbeständigkeit sollte der Zusatzwerkstoff möglichst artgleich oder leicht überlegiert sein. Zu große Legierungsunterschiede wirken sich sehr negativ aus, da sich ein verstärkter Angriff auf das niedriger legierte Medium einstellen kann.

Um die Korrosionsbeständigkeit, die durch die „Passivschicht“ gewährleistet wird, zu erhalten, ist es nach dem Schweißen unbedingt erforderlich, alle Verunreinigungen (z.B. Oxidschichten, Zunder, Anlauffarben, Schlackenreste und Schweißspritzer) mechanisch durch Bürsten, Schleifen, Strahlen oder chemisch durch Beizen zu entfernen.

Sicherheitshinweise

Beim Verschweißen von basisch-umhüllten CrNi-Stabelektroden treten im Schweißrauch Chrom-VI-Verbindungen auf. Hier muss mit Punktabsaugung an der Schweißstelle – oder mit Filteratemschutzmasken (P3) geschweißt werden. Hochlegierte rutil-umhüllte Stabelektroden enthalten deutlich niedrigere Chrom-VI-Anteile.

Zuordnung geeigneter Stabelektroden zu bestimmten hochlegierten Werkstoffen:

Zur Auswahl des am besten geeigneten Zusatzwerkstoffes / Legierungstyps wird für den speziellen Anwendungsfall dringend empfohlen, das Schaeffler-Diagramm zur Hilfe zu nehmen.

Beispiele:

Ferritische Chromstähle

- Grundwerkstoff: X6Cr13 Werkstoff Nr. 1.4000
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 3581-A – E 13 B 42
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 3581-A – E 18 8 Mn B 1 2

Gefahren und Gegenmaßnahmen

Neigung zu Grobkornbildung und Aufhärtung durch Martensitbildung. Um Risse in der Wärmeeinflusszone (WEZ) zu vermeiden und Schweißzugspannungen zu minimieren, ist eine Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur von 200 bis max. 300°C zu wählen. Mit geringer Wärmeerbringung schweißen, kleine Durchmesser bei niedriger Stromstärke bevorzugen. Strichraupen wählen, Pendelraupen vermeiden. Glühen nach dem Schweißen (700 bis max. 800°C) verbessert die Zähigkeit in der WEZ, reduziert Schweißzugspannungen und stellt die Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion wieder her.

Martensitische Chromstähle

- Grundwerkstoff: X20Cr13 Werkstoff Nr. 1.4021
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 3581-A – E 13 B 22
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 3581-A – E 19 9 Nb B 2 2

Gefahren und Gegenmaßnahmen

Die Gefahr einer Kaltrissbildung ist hier noch größer als bei ferritischen Chromstählen. Martensitische Chromstähle haben aufgrund des hohen C-Gehaltes eine sehr schlechte Schweißleistung. Bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 0,2% kann mit austenitischen Zusatzwerkstoffen geschweißt werden, über 0,2% Kohlenstoffgehalt müssen Zusatzwerkstoffe aus DIN EN 14172 verwendet werden. Für Schweißkonstruktion sind diese Chromstähle über C>0,2% eigentlich nicht geeignet.

- Grundwerkstoff: X30Cr13 Werkstoff Nr. 1.4028
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 14172 – E Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb)

Austenitische Stähle

- Grundwerkstoff: X5CrNi18-10 Werkstoff Nr. 1.4301
- x geeignete Stabelektroden: DIN EN ISO 3581-A – E 19 9 R 1 2
DIN EN ISO 3581-A – E 19 9 Nb R 1 2
- Grundwerkstoff: X6CrNiMoTi17-12-2 Werkstoff Nr. 1.4571
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 3581-A – E 19 12 3 Nb R 1 2
- Grundwerkstoff: X2CrNi18-9 Werkstoff Nr. 1.4307
- x geeignete Stabelektrode: DIN EN ISO 3581-A – E 19 9 L R 1 2

Gefahren und Gegenmaßnahmen

Gefahr von Heißrissen. Gegenmaßnahmen siehe Arbeitsregeln.

13.1 Stabelektroden für Schwarz-Weiß-Verbindungen, DIN EN ISO 3581–A

Bei der Verbindung von hochlegierten mit un- oder niedriglegierten Grundwerkstoffen entsteht eine Schweißnaht, die anteilig aus den beiden aufgeschmolzenen Werkstoffen und dem Schweißzusatz besteht. Je nach dem Grad der Vermischung und den Anforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Verbindung ist hier ein mehr oder weniger überlegierter Schweißzusatz notwendig, um störende martensitische Gefügeanteile zu vermeiden. Auch hier leistet das Schaeffler-Diagramm wieder wertvolle Hilfe. Werden bei Schwarz-Weiß-Verbindungen unlegierte Zusatzwerkstoffe nach DIN EN ISO 2560-A verwendet, gibt es **Aufhärtungen in der Schweißnaht**, ebenso wenn „nur“ hochlegierte 18-10-Zusatzwerkstoffe nach DIN EN ISO 3581-A verwendet werden.

Für das Verschweißen von unlegiertem (S235) mit hochlegiertem Stahl (X6CrNiTi18-10) können mehrere „überlegierte“ Zusatzwerkstoffe verwendet werden.

Bewährte Legierungstypen für das Schweißen von artverschiedenen Stählen sind:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| DIN EN ISO 3581–A – E 18 8 Mn6 R 1 2 | (Werkstoff Nr. 1.4370, entspricht DIN EN 14700–E FE10, auch für Manganhartstahl geeignet) |
| DIN EN ISO 3581–A – E 23 12 L R 12 | (Werkstoff Nr. 1.4332) |
| DIN EN ISO 3581–A – E 23 12 2 LR 1 2 | (Werkstoff Nr. 1.4459) |

Beispiele: Anschweißen von Tragstützen (S235) an Behälterwände aus austenitischem Chrom-Nickelstahl 18-10.

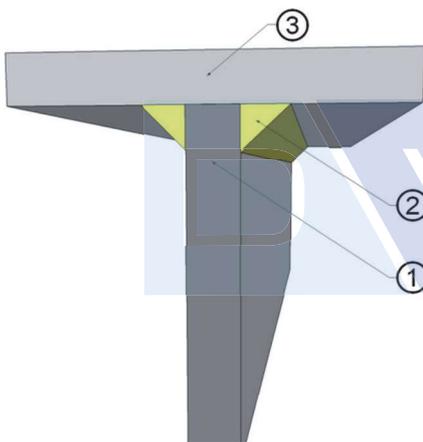


Abbildung 16: Einfache Ausführung

- ① Unlegiert S 235
- ② DIN EN ISO 3581–A – E 18 8 Mn6 R 1 2
- ③ Hochlegiert X6CrNiTi18-10
- ④ DIN EN ISO 3581–A– E 19 9 Nb R 1 2

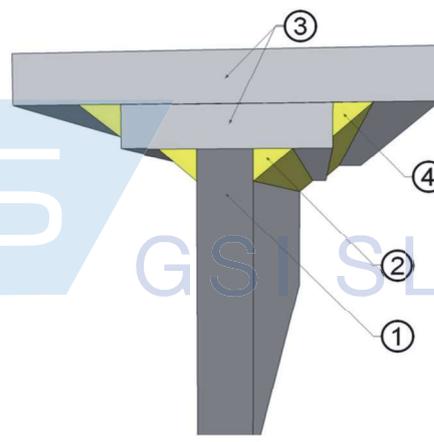


Abbildung 17: Höherwertige Ausführung

Für das Schweißen von Kehlnähten an Schwarz-Weiß-Verbindungen ist eine „hüllenlegierte“ Stabelektrode (unlegierter Kerndraht) von Vorteil. Kennzeichnung MP = Metallpulver: (Verträgt höhere Strombelastung als kernstabilelegierte Stabelektroden.)

Beispiel:

- DIN EN ISO 3581–A E 23 12 MP R 1 2
- DIN EN ISO 3581–A E 18 8 Mn6 MP R 7 3

- └─ Schweißposition
- └─ Mehrausbringung >160 %

Erläuterung zu den Kennzeichen der DIN EN ISO 3581-A

Tabelle 9: Auszug DIN EN ISO 3581

Nennzusammensetzung ^{b,c,d} (ISO 3581-A)	Legierungstyp ^{d,e} (ISO 3581-B)	Chemische Zusammensetzung ^a % (Massenanteil)										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb + Ta	N
19 9 Nb	(347)	0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	18,0 bis 21,0	9,0 bis 11,0	0,75	0,75	8 x C bis 1,1	—
19 12 2	(316)	0,08	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,0 bis 3,0	0,75	—	—
(19 12 2)	316	0,08	1,00	0,5 bis 2,5	0,04	0,03	17,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0	0,75	—	—
(19 12 2)	316H	0,04 bis 0,08	1,00	0,5 bis 2,5	0,04	0,03	17,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0	0,75	—	—
(19 12 3 L)	316L	0,04	1,00	0,5 bis 2,5	0,04	0,03	17,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0	0,75	—	—
19 12 3 L	(316L)	0,04	1,2	2,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	10,0 bis 13,0	2,5 bis 3,0	0,75	—	—
18 8 Mn ^c	—	0,20	1,2	4,5 bis 7,5	0,035	0,025	17,0 bis 20,0	7,0 bis 10,0	0,75	0,75	—	—
18 9 Mn Mo ^c	(307)	0,04 bis 0,14	1,2	3,0 bis 5,0	0,035	0,025	18,0 bis 21,5	9,0 bis 11,0	0,5 bis 1,5	0,75	—	—
(19 12 3 Nb)	318	0,08	1,00	0,5 bis 2,5	0,04	0,03	17,0 bis 20,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0	0,75	6 x C bis 1,00	—
19 13 4 N L	—	0,04	1,2	1,0 bis 5,0	0,030	0,025	17,0 bis 20,0	12,0 bis 15,0	3,0 bis 4,5	0,75	—	0,20
22 9 3 N L	(2209)	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	21,0 bis 24,0	7,5 bis 10,5	2,5 bis 4,0	0,75	—	0,08 bis 0,20
(22 9 3 N L)	2209	0,04	1,00	0,5 bis 2,0	0,04	0,03	21,5 bis 23,5	7,5 bis 10,5	2,5 bis 3,5	0,75	—	0,08 bis 0,20
23 7 N L	—	0,04	1,0	0,4 bis 1,5	0,030	0,020	22,5 bis 25,5	6,5 bis 10,0	0,8	0,5	—	0,10 bis 0,20
23 12 2 L	(308L Mo)	0,04	1,2	2,5	0,030	0,025	22,0 bis 25,0	11,0 bis 14,0	2,0 bis 3,0	0,75	—	—

^a Einzelwerte sind Höchstwerte.
^b Stabelektroden, für die keine chemische Zusammensetzung aufgeführt ist, müssen ähnlich und mit dem vorangestellten Buchstaben Z gekennzeichnet werden. Die Bereiche für die chemische Zusammensetzung sind nicht festgelegt. Es besteht die Möglichkeit, dass zwei Elektroden mit der gleichen Z-Einteilung nicht gegeneinander austauschbar sind.
^c Die Summe von P und S darf einen Massenanteil von 0,050 % nicht überschreiten, ausgenommen sind 25 7 2 N L; 18 16 5 N L; 20 16 3 Mn N L; 18 8 Mn; 18 9 Mn Mo; und 29 9.
^d Eine Bezeichnung in Klammern [z. B. (308L)] gibt an, dass die Stabelektrode fest, aber nicht vollständig, mit dem anderen Bezeichnungssystem übereinstimmt. Die richtige Bezeichnung für einen gegebenen Zusammensetzungsbereich ist die Bezeichnung ohne Klammern. Liegt ein Produkt vor, das eine eingeschränkte chemische Zusammensetzung hat, die beiden Bezeichnungssystemen entspricht, darf es mit beiden Bezeichnungen versehen werden.
^e Die Stabelektrode muss nach jenen spezifischen Elementen analysiert werden, für die die Werte angegeben sind. Wenn das Vorhandensein anderer Elemente im Verlauf der Analyse angezeigt wird, muss die Menge dieser Elemente ermittelt werden, um sicherzustellen, dass ihre Gesamtsumme (ausgenommen Eisen) einen Massenanteil von 0,50 % nicht überschreitet.

DIN EN ISO 3581-A E 23 12 2 LR 3 2

E: Kennbuchstabe Lichtbogenhandschweißen

Kurzzeichen	Umhüllungstyp
R	rutil-umhüllt
B	basisch-umhüllt

L: Low Carbon

Kennziffer	Ausbringen %	Stromart
1	≤ 105	Wechsel- und Gleichstrom
2	≤ 105	Gleichstrom
3	> 105 ≤ 125	Wechsel- und Gleichstrom
4	> 105 ≤ 125	Gleichstrom
5	> 125 ≤ 160	Wechsel- und Gleichstrom
6	> 125 ≤ 160	Gleichstrom
7	> 160	Wechsel- und Gleichstrom
8	> 160	Gleichstrom

Kennziffer	Schweißpositionen in Übereinstimmung mit ISO 6947
1	alle Positionen
2	alle Positionen, außer Fallposition
3	Stumpfnah in Wannenposition, Kehlnah in Wannen- und Horizontalposition
4	Stumpfnah in Wannenposition, Kehlnah in Wannenposition
5	Fallposition und Positionen wie Kennziffer 3.

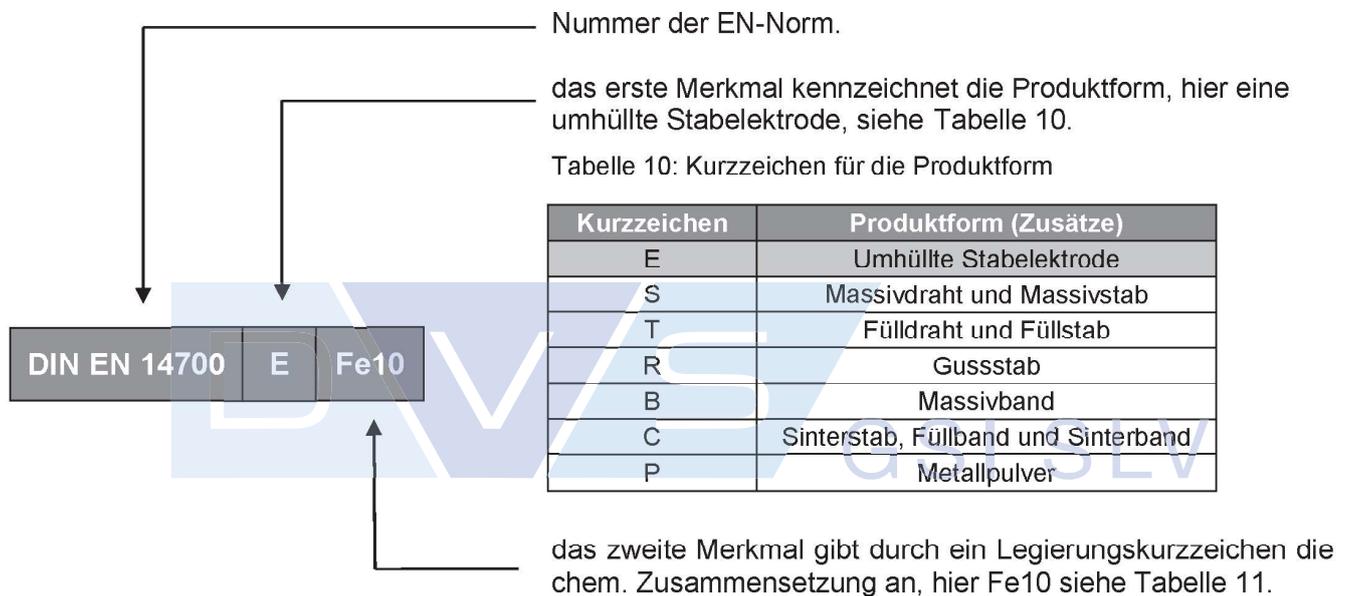
14 Schweißzusätze zum Hartauftragen, DIN EN 14700

1. Die Einteilung und Auswahl von Stabelektroden für das Auftragschweißen erfolgt nach DIN EN 14700: Legierungskurzzeichen nach DIN EN 14700
2. die Härte des reinen Schweißgutes und
3. den Schweißguteigenschaften nach Tabelle 12

Es werden nur Eigenschaften des Schweißgutes genannt, die neben der Härteangabe besonders typisch sind.

Bezeichnungsbeispiel von Stabelektroden für verschleißbeständige Auftragungen nach DIN EN 14700:

Bezeichnungsmerkmale der Einteilung



Vollaustenitische Mn-Cr-legierte Stabelektrode für hochverschleißfeste Auftragungen, die extremen Druck- und Schlagbeanspruchungen unterliegen (z.B. Fox BMC von Böhler).

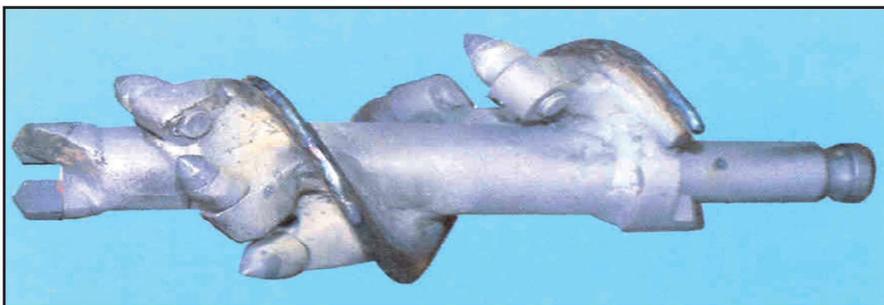


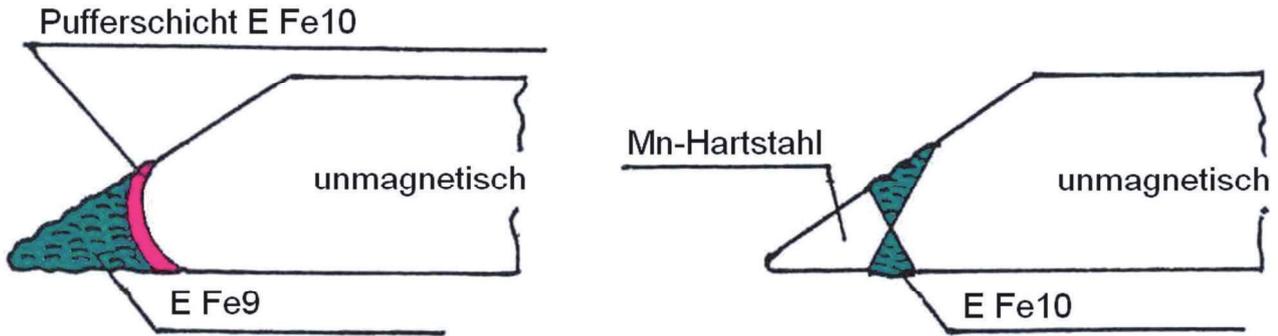
Abbildung 18: (Werksfoto Messer – Lincoln)

Tabelle 12: Auszug DIN EN 14700 – Eignung der Legierungen für unterschiedliche Beanspruchungen

Legierungs- kurzzeichen	Anforderung						Legierung/Gefüge	Härtebereich		
	Mechanisch		thermisch		korrosiv	riss- beständig		bearbeitbar	[HB]	[HRC]
	Reibung	Schlag	hohe Temperatur	Thermoschock						
Fe1	3 und 4	2 und 3	4	4	4	1	1	1	150 bis 450	-
Fe2	3 und 4	2	4	4	4	2	2	3	-	30 bis 58
Fe3	3	2	2	2	3	2	2	2	-	40 bis 55
Fe4	2	2 und 3	1 und 2	1 und 2	3	2 und 3	2 und 3	3 und 4	-	55 bis 65
Fe5	2	1	1	1	2	1	1	1	-	30 bis 40
Fe6	1	1	2 und 3	2 und 3	4	2 und 3	2 und 3	3 und 4	-	48 bis 55 ^a
Fe7	2	2	1 und 2	1 und 2	1 und 2	1	1	1 und 2	250 bis 450	-
Fe8	1 und 2	1 und 2	4	4	3	2 und 3	2 und 3	3 und 4	-	50 bis 65
Fe9	4	1	4	4	2 und 3	1 und 2	1 und 2	3	200 bis 250	40 bis 50 ^b
Fe10	4	1	1 und 2	1	2	1	1	2	180 bis 200	38 bis 42 ^b
Fe11	4	3	1	4	1	1	1	1	-	-
Fe12	4	3	1	4	1	1	1	1	150 bis 250	-
Fe13	1	4	2	4	4	4	4	4	-	55 bis 65
Fe14	1	3 und 4	3	4	2	4	4	4	-	40 bis 60
Fe15	1	4	2	4	3	4	4	4	-	55 bis 65
Fe16	1	4	1	4	3	4	4	4	-	60 bis 70
Fe20	1	3	3	4	3	4	4	4	1500 HV bis 2800 HV (Hartstoffe)	50 bis 60 (Matrix)

Anwendungsbeispiele

Baggerzahn aus Mn-Hartstahl X120Mn12

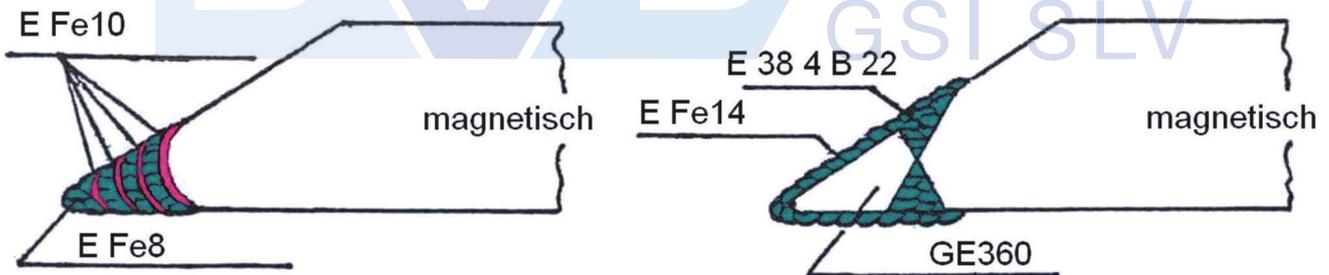


Mn-Hartstähle möglichst „kalt“ schweißen (Wasserbad)

- geringe Stromstärke
- kleine Elektrodendurchmesser
- kurzer Lichtbogen
- nur Strichraupen usw.

Baggerzahn aus niedrig legiertem Stahlguss GE360 (1.0597) \triangleq S355J2C (+N)

Vorwärmen auf 200 bis 300°C



Man unterscheidet zwischen Reib- und Schlagverschleiß. Die Rissgefahr steigt mit zunehmender Auftragsdicke und -fläche. Oft reicht gitter- oder punktförmiges Auftragen aus (Baumaschinen).

Reines Schweißgut tritt erst in der 3. Lage auf.

Bei weniger Lagen, Werte (z.B. Härte) der Elektroden 1 oder 2 Stufen höher wählen.

15 Stabelektroden zum Reparaturschweißen von Gusseisen, DIN EN ISO 1071

Gusseisenwerkstoffe sind bedingt schweißgeeignet und lassen sich mit den entsprechenden Verfahrenstechniken gut beherrschen. Dies gilt sowohl für Gusseisen mit Lamellen- oder Kugelgraphit als auch für Temperguss.

Einflussgrößen auf die Schweißeignung der Gusseisensorten sind:

- hoher C-Gehalt
- Sprödigkeit und geringe Bruchdehnung
- Hohe Eigenspannungen, dadurch die Gefahr der Rissbildung
- Niedriger Schmelzpunkt
- Düninflüssige Schmelze
- Hohe Gehalte an P und S.

Die DIN EN 1011-8 gibt hier wertvolle Empfehlungen zum Schweißen von Gusseisen.

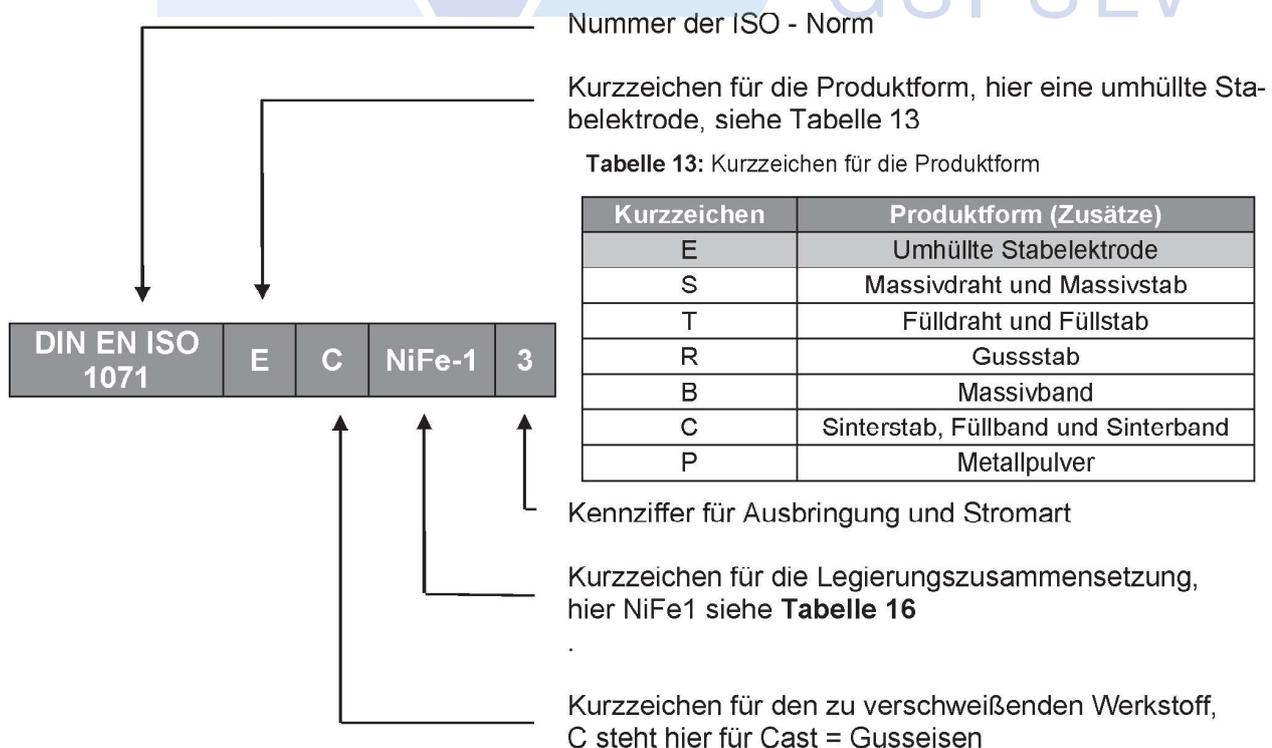
15.1 Kennzeichnung der Stabelektroden nach DIN EN ISO 1071

Stabelektroden werden nach ihrer chemischen Zusammensetzung nach Tabelle 15 **artgleich** und nach Tabelle 16 **artfremd** eingeteilt.

Die Einteilung besteht aus vier Merkmalen:

- Das erste Merkmal besteht aus dem Kurzzeichen für das Produkt;
- das zweite Merkmal beschreibt den zu verschweißenden Werkstoff (C für Gusseisen);
- das dritte Merkmal enthält das Kurzzeichen für die chemische Zusammensetzung der Stabelektrode;
- das vierte Merkmal besteht aus der Kennziffer für das Ausbringen und die Stromart.

Bezeichnungsmerkmale der Einteilung



15.2 Graugusswärmeschweißen mit artgleichem Schweißzusatz

Das ganze Schweißteil wird langsam auf ca. 600°C angewärmt, geschweißt und wieder langsam im Ofen oder in heißem Sand bzw. in Asche abgekühlt.

Chemische Zusammensetzung der Stabelektroden und des reinen Schweißgutes nach DIN EN ISO 1071; Beispiele lt. Tabelle 14 und Tabelle 15:

E C FeC-3 Schweißgut: Lamellengrafit; basisch-graphitische Umhüllung; Schweißen von Gusseisen mit Lamellengrafit

E C FeC-GF (ferritisches Grundgefüge) und **E C FeC-GP2** (perlitisches Grundgefüge)

Schweißgut: Kugelgraphit; basisch-graphitische Umhüllung;

Schweißen von Gusseisen mit Kugelgraphit und neutral geglühtem (schwarzem) Temperguss

Tabelle 14: Schweißzusätze für Schweißgut, artgleich zum Grundwerkstoff

Kurzzeichen	Gefüge	Produktform ^a
FeC-1 ^b	Lamellengrafit	E, R
FeC-2 ^c	Lamellengrafit	E, T
FeC-3	Lamellengrafit	E, T
FeC-4	Lamellengrafit	R
FeC-GF	Grundgefüge ferritisch, Kugelgraphit	E, T
FeC-GP1	Grundgefüge perlitisch, Kugelgraphit	R
FeC-GP2	Grundgefüge perlitisch, Kugelgraphit	E, T

^a Kurzzeichen siehe Tabelle 13
^b Bei umhüllten Stabelektroden besteht der Kernstab aus Gusseisen.
^c Bei umhüllten Stabelektroden besteht der Kernstab aus unlegiertem Stahl

Tabelle 15: Auszug DIN EN ISO 1071: Chemische Zusammensetzung artgleich

Kurzzeichen	Produktform	Chemische Zusammensetzung % ^{a, b, c}									
		C	Si	Mn	P	S	Fe	Ni ^d	Cu ^e	Anderere	Summe sonst. Elemente
FeC-1	E, R	3,0 bis 3,6	2,0 bis 3,5	0,8	0,5	0,1	Rest	–	–	Al: 3,0	1,0
FeC-2	E, T	3,0 bis 3,6	2,0 bis 3,5	0,8	0,5	0,1	Rest	–	–	Al: 3,0	1,0
FeC-3	E, T	2,5 bis 5,0	2,5 bis 9,5	1,0	0,20	0,04	Rest	–	–	–	1,0
FeC-4	R	3,2 bis 3,5	2,7 bis 3,0	0,60 bis 0,75	0,50 bis 0,75	0,10	Rest	–	–	–	1,0
FeC-5	R	3,2 bis 3,5	2,0 bis 2,5	0,50 bis 0,70	0,20 bis 0,40	0,10	Rest	1,2 bis 1,6	–	Mo: 0,25 bis 0,45	1,0
FeC-GF	E, T	3,0 bis 4,0	2,0 bis 3,7	0,6	0,05	0,015	Rest	1,5	–	Mg: 0,02 bis 0,10 Ce: 0,20	1,0
FeC-GP1	R	3,2 bis 4,0	3,2 bis 3,8	0,10 bis 0,40	0,05	0,015	Rest	0,50	–	Mg: 0,04 bis 0,10 Ce: 0,20	1,0
FeC-GP2	E, T	2,5 bis 3,5	1,5 bis 3,0	1,0	0,05	0,015	Rest	2,5	1,0	Mg: 0,02 bis 0,10 Ce: 0,20	1,0
Z	E, R, T	Jede andere vereinbarte Zusammensetzung									

^a Einzelwerte sind Höchstwerte

^b Die Ergebnisse sind auf dieselbe Stelle zu runden wie die festgelegten Werte unter Anwendung Anhang B, Regel A von ISO 31-0:1992.

^c Für das Schweißgut und die Stäbe nach dieser Tabelle sind die in der Tabelle angegebenen Elemente zu bestimmen. Wenn es sich zeigt, dass weitere Elemente enthalten sind, dann ist ihr Gehalt zu ermitteln; dadurch wird sichergestellt, dass ihr Gesamtwert nicht den Grenzwert für die „Summe sonstiger Elemente“ in der letzten Spalte der Tabelle überschreitet.

^d Der Wert für Nickel kann das Begleitelement Kobalt einschließen.

^e Der Wert für Kupfer kann das Begleitelement Silber einschließen.

15.3 Graugusskaltschweißen mit einem artfremden Schweißzusatz

Der Vorteil eine Gusskaltschweißung liegt darin, dass im Reparaturfall in allen Positionen (außer PG) ohne aufwendige Vorwärmung geschweißt werden kann. Oft muss dazu das Bauteil nicht ausgebaut oder weiter demontiert werden. Die Wärmebelastung für den Schweißer, im Gegensatz zur Warmschweißung, ist geringer. Ein Nachteil ist der Farbunterschied des Schweißgutes.

Werkstückvorbereitung

- Risse mit geeignetem Prüfverfahren (z.B. Farbeindringprüfung) genau lokalisieren.
- Riss-Enden anbohren, um Kerbwirkung und damit ein Weiterreißen zu verhindern. Je nach Wanddicke sind Bohrer Durchmesser zwischen 5 und 10 mm zu wählen.
- Ausarbeiten des Risses, thermisch vor mechanisch, z.B. mit Ausnut-Elektroden. Fugen mit Druckluft oder Schleifen (bei öl- oder fettverunreinigten Bauteilen) ist nicht geeignet, da sonst beim Schweißen mit Gasbildung und einem porösem Schweißgut zu rechnen ist.
- Gushaut und alle Rückstände (z.B. vom Ausnuten, Öl, Fett etc.) im Nahtbereich restlos entfernen.

Ausführung Kaltschweißung

Eingesetzt werden vorwiegend Nickel-, Nickel-Eisen- oder Nickel-Kupfer-Zusatzwerkstoffe nach DIN EN ISO 1071.

- Rücktrockenvorschriften der Elektrodenhersteller beachten
- Kleine Elektrodendurchmesser (2,5 mm oder 3,2 mm) wählen; mit dem kleineren beginnen.
- Lichtbogen möglichst kurz und Stromstärke möglichst gering halten.
- Im **Pilgerschrittverfahren** kurze Nahtabschnitte schweißen (Faustregel: Schweißlänge = Kernstabdurchmesser x 10; ca. 20 bis 30mm Länge; Breite max. doppelter Elektrodendurchmesser).
- Jede Schweißraupe sofort im „rotwarmen“ Zustand mit der Hammerfinne abhämmern.
- Poren sofort ausschleifen.
- Das Schweißteil darf nur **handwarm** werden, max. 60°C, um Wärmespannungen zu vermeiden. In Einzelfällen (große Werkstücke) kann es erforderlich sein, das Werkstück auf ca.150°C vorzuwärmen und diese Temperatur bis zur Beendigung der Schweißarbeiten zu halten.

Hierzu können beispielsweise folgende Stabelektroden nach Tabelle 16 angewendet werden:

DIN EN ISO 1071 –

E C ST Unlegiertes Schweißgut zum Ausbessern kleiner Löcher und Risse. Wegen der Kohlenstoffaufnahme aus dem Gusseisen wird das Schweißgut weitgehend martensitisch und lässt sich nur durch Schleifen bearbeiten.

E C Ni-CI-A 1 Basisch-graphitische Nickel-Eisen-Elektrode mit hohem Nickelgehalt. Wegen des hohen Phosphorgehaltes im Gusseisen ist das Schweißgut empfindlicher gegen Heißrisse. Enthält mehr Aluminium als der Schweißzusatz E C Ni-CI, wodurch die Schweißseigenschaften verbessert werden. Das zulegierte Aluminium löst sich im Schweißgut und kann die Zähigkeit vermindern.

E C NiFe-2 3 Basisch-graphitische Stabelektrode. Mehrlagenschweißungen an Gusseisen mit Kugelgraphit und schwarzem Temperguss. Mischverbindungen zwischen Gusseisen und Stahl.

E C NiCu 1 Basische Nickel-Kupfer-Elektrode. Gut geeignet für Fülllagen bei Mehrlagenschweißungen an großen Nahtquerschnitten (Lamellen- und Kugelgraphit sowie schwarzem Temperguss). Gute Bindung an gealtertem Gusseisen. Vorteil: Farbähnlichkeit.

Tabelle 16: Auszug DIN EN ISO 1071: Chemische Zusammensetzung artfremder Stäbe und Drahtelektroden sowie artfremden Schweißgutes von umhüllten Sta-
belektroden und Fülldrahtelektroden.

Kurzzzeichen	Produktform	Chemische Zusammensetzung % ^{a, b, c, d}											Summe sonstiger Elemente	
		C	Si	Mn	P	S	Fe	Ni ^e	Cu ^f	Andere				
Fe-1	E, S, T	2,0	1,5	0,5 bis 1,5	0,04	0,04	Rest	-	-	-	-	-	-	1,0
St	E, S, T	0,15	1,0	0,80	0,04	0,04	Rest	-	0,35	-	-	-	-	0,35
Fe-2	E, T	0,2	1,5	0,3 bis 1,5	0,04	0,04	Rest	-	-	Nb + V: 5,0 bis 10,0	-	-	-	1,0
Ni-CI	E	2,0	4,0	2,5	-	0,03	8,0	min. 85	2,5	Al: 1,0	-	-	-	1,0
	S	1,0	0,75	2,5	-	0,03	4,0	min. 90	4,0	-	-	-	-	1,0
Ni-CI-A	E	2,0	4,0	2,5	-	0,03	8,0	min. 85	2,5	Al: 1,0 bis 3,0	-	-	-	1,0
NiFe-1	E, S, T	2,0	4,0	2,5	0,03	0,03	Rest	45 bis 75	4,0	Al: 1,0	-	-	-	1,0
NiFe-2	E, S, T	2,0	4,0	1,0 bis 5,0	0,03	0,03	Rest	45 bis 60	2,5	Al: Karbidbildner: 3,0	-	-	1,0	1,0
NiFe-CI	E	2,0	4,0	2,5	-	0,04	Rest	40 bis 60	2,5	Al: 1,0	-	-	-	1,0
NiFeT3-CI	T	2,0	1,0	3,0 bis 5,0	-	0,03	Rest	45 bis 60	2,5	Al: 1,0	-	-	-	1,0
NiFe-CI-A	E	2,0	4,0	2,5	-	0,03	Rest	45 bis 60	2,5	Al: 1,0 bis 3,0	-	-	-	1,0
NiFeMn-CI	E	2,0	1,0	10 bis 14	-	0,03	Rest	35 bis 45	2,5	Al: 1,0	-	-	-	1,0
	S	0,50	1,0	10 bis 14	-	0,03	Rest	35 bis 45	2,5	Al: 1,0	-	-	-	1,0
NiCu	E, S	1,7	1,0	2,5	-	0,04	5,0	50 bis 75	Rest	-	-	-	-	1,0
NiCu-A	E, S	0,35 bis 0,55	0,75	2,3	-	0,025	3,0 bis 6,0	50 bis 60	35 bis 45	-	-	-	-	1,0
NiCu-B	E, S	0,35 bis 0,55	0,75	2,3	-	0,025	3,0 bis 6,0	60 bis 70	25 bis 35	-	-	-	-	1,0
Z	E, S, T	jede andere vereinbarte Zusammensetzung												

^a Einzelwerte sind Höchstwerte, wenn nicht anders angegeben.

^b Die Ergebnisse sind auf dieselbe Stelle zu runden wie die festgelegten Werte unter Anwendung Anhang B, Regel A von ISO 31-C:1992.

^c Für das Schweißgut und die Stäbe nach dieser Tabelle sind die in der Tabelle angegebenen Elemente zu bestimmen. Wenn es sich zeigt, dass weitere Elemente enthalten sind, dann ist ihr Gehalt zu ermitteln; dadurch wird sichergestellt, dass ihr Gesamtwert nicht den Grenzwert für die „Summe sonstiger Elemente“ in der letzten Spalte der Tabelle überschreitet.

^c Einige Kupfer-Zinn-Schweißzusätze sind in der Tabelle nicht enthalten; sie können erfolgreich zum Fügen von Gusseisen verwendet werden. Das Schweißgut unterscheidet sich farblich von den Gusseisen.

^e Der Wert für Nickel kann das Begleitelement Kobalt einschließen.

^f Der Wert für Kupfer kann das Begleitelement Silber einschließen.

16 Sonderelektroden

16.1 Schneid-/Ausnutelektroden

Stabelektrode mit Spezialumhüllung zum Ausnuten, Fugen, Lochstechen und Schneiden (Schrottschnitt) ohne Sauerstoff.

Durch den Lichtbogen wird das Metall geschmolzen und durch die starke Gasentwicklung der Sonderumhüllung ausgeblasen.

Anwendung

- Einfache Nahtvorbereitungen,
- Ausfugen von Wurzelnähten,
- Entfernung überschüssigen Schweißgutes,
- Ausfugen von Rissen zur Reparaturschweißung (siehe Abschnitt 15.3.).

Elektrode senkrecht halten, bis der Lichtbogen zündet. Danach auf einen Winkel von 15 bis 20° neigen. Mit sägender Bewegung vorwärts schieben, sodass das geschmolzene Metall nach vorn aufgeblasen wird. Für tiefe Fugen wiederholen.

Die Ausnutgeschwindigkeit liegt bei 100 bis 150 cm/min.

Bei hochlegierten Stählen muss eine Entfernung der aufgekohlten Randzone im Schnittbereich erfolgen.

In geschlossenen Räumen ist wegen der starken Rauchentwicklung abzusaugen.

16.2 Schneidelektroden – Hohlstabelektroden

Spezialelektrodenhalter mit Strom und O₂-Zuführung (5 bar) notwendig.

Auch für grobes Trennen von Teilen, die mehrschichtig aufeinander liegen.

Unterwasserschneiden ist mit wasserabweisender Schutzschicht auf der Elektrodenumhüllung möglich.

Schweißgerät: DC +Pol an der Elektrode, pro mm Elektrodendurchmesser ca. 50 A.

Starker Funkenflug und starke Rauchentwicklung.

16.3 Kohleelektroden (meist verkupfert Arc-Air-Verfahren)

Spezialelektrodenhalter mit Strom und Pressluftzuführung (min. 5 bar) notwendig.

Anwendung

- Geeignet für un-, niedrig- und hochlegierte Stähle
- Ausfugen für das Gegenlagenschweißen
- Ausfugen von Schweißnahtfehlern
- Trennen von verschweißten Bauteilen
- DC +Pol an der Elektrode
- Pro mm Elektrodendurchmesser ca. 50 A.
- Starke Rauchentwicklung
- Laut

16.4 Vorwärmelektroden

Für Anwärmarbeiten im „schlosserischen Bereich“; ergibt kein metallisches Schweißgut; starke Rauchentwicklung.

17 Schweißdurchführung

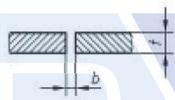
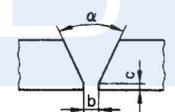
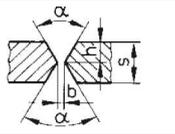
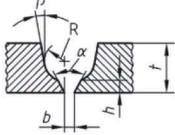
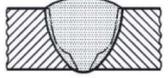
17.1 Nahtvorbereitung

17.1.1 Stumpfnähte

In Tabelle 17 sind die wichtigsten Fugenformen bei Stumpfnähten aufgeführt. Die DIN EN ISO 9692-1 gibt weitere Empfehlungen für die Nahtvorbereitung. Das Anfasen der Fügekanten erfolgt in der Regel durch autogenes Brennschneiden (Stahl) oder Plasmaschneiden (CrNi-Stähle); andere mechanische und thermische Verfahren wie Drehen, Fräsen, Fugenhobeln etc. sind auch anzutreffen.

Das Entfernen der beim Brennschneiden entstehenden Oxidschichten empfiehlt sich auch beim Lichtbogenhandschweißen. Beschichtungen, Farben etc. sollten im Nahtbereich ebenfalls entfernt werden. Bei kleineren Rohrdurchmessern im Rohrleitungsbau erfolgt die Nahtvorbereitung meist durch Schleifen mit Winkelschleifern. Eine saubere Nahtvorbereitung erleichtert die Schweißarbeiten und wirkt sich positiv auf die Schweißgeschwindigkeit aus. Bei dickwandigen Rohren, u.a. im Hydraulik- und Kraftwerksbau wird oft auch eine U-Nahtvorbereitung angewendet. Diese Vorbereitung ist bedingt durch das geringere Nahtvolumen wirtschaftlicher.

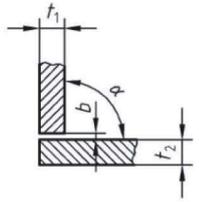
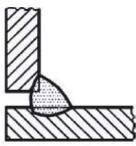
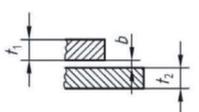
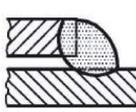
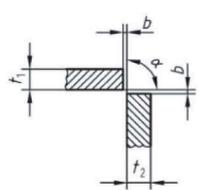
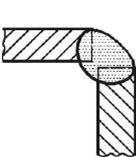
Tabelle 17: Schweißnahtvorbereitung, Lichtbogenhandschweißen Stahl

Werkstückdicke s / t mm	Nahtart	Nahtaufbau	Abstand b mm	Steghöhe c mm	Öffnungswinkel α, β	Bemerkung
bis 3			$\approx t$			
> 3			≤ 4	≤ 2	60°	
> 10			$1 \leq b \leq 3$	≤ 2	60°	
> 12			$1 \leq b \leq 3$	$h \approx 4$	$60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ $8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	$6 \leq R \leq 9$

17.1.2 Kehlnähte

Die häufigsten Nähte bei Stahlkonstruktionen sind Kehlnähte. Im Allgemeinen werden sie als gleichschenklige Nahtformen angewandt. Kehlnähte erfordern meist keine besondere Nahtvorbereitung, jedoch ist darauf zu achten, den Abstand b der beiden Bauteile möglichst gering zu halten. Im ungünstigen Fall kann Schlacke durch den Spalt vor das Schweißbad laufen und somit zu Schweißnahtfehlern führen.

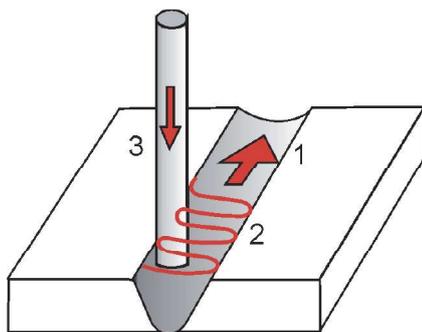
Tabelle 18: Kehlnahtvorbereitung

Vorbereitung	Nahtart	Nahtaufbau	Spalt b mm	Winkel α	Bemerkung
Stirnfläche rechtwinklig			≤ 2	$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$	anzustreben $b = 0$
Stirnfläche rechtwinklig			≤ 2	60°	anzustreben $b = 0$
Stirnfläche rechtwinklig			≤ 2	$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$	

17.2 Elektrodenführung und Nahtaufbau

Elektrodenführung und Nahtaufbau richten sich nach

- Grundwerkstoff und Nahtdicke,
- Nahtart und Schweißlage,
- Schweißposition,
- Blaswirkung,
- Wärmewirkung des Schweißlichtbogens,
- Umhüllungstyp und der Umhüllungsdicke der Stabelektroden.

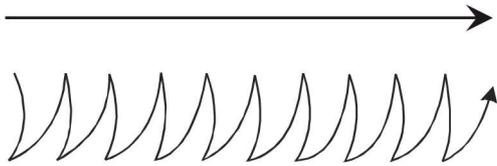


- 1 fortschreitende Bewegung
- 2 evtl. Pendelbewegung
- 3 nachführende Bewegung

Abbildung 19: Elektrodenführung

Die Elektrode wird hierbei ca. 10° in Schweißrichtung geneigt. Optimal wäre, ein zum Bauteil senkrechte Führung. Die Blaswirkung (siehe Abschnitt 17.3) kann ein Verändern des Neigungswinkels erfordern.

Strich- und Pendelraupen



Wird die Elektrode zügig, ohne größere Pendelbewegungen geführt, so spricht man von **Strichraupen**.

Wird die Elektrode pendelnd geführt, so spricht man von **Pendelraupen**.

Abbildung 20: Strich- und Pendelraupe

Die im Folgenden empfohlene Arbeitsweise ist ein erster Anhalt. Sie gilt für umhüllte Elektroden.

Kehlnähte in Wannenlage (PA)

- Wurzel
- 1. Fülllage
- (2. Fülllage bei Strichraupen)
- Decklage

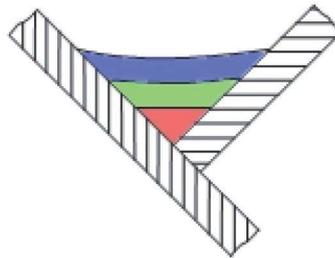


Abbildung 21: Pendelraupen

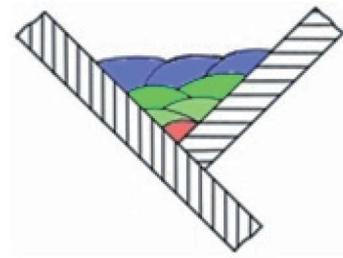


Abbildung 22: Strichraupen

Kehlnaht horizontal (PB)

- Wurzel
- Fülllage
- Decklage

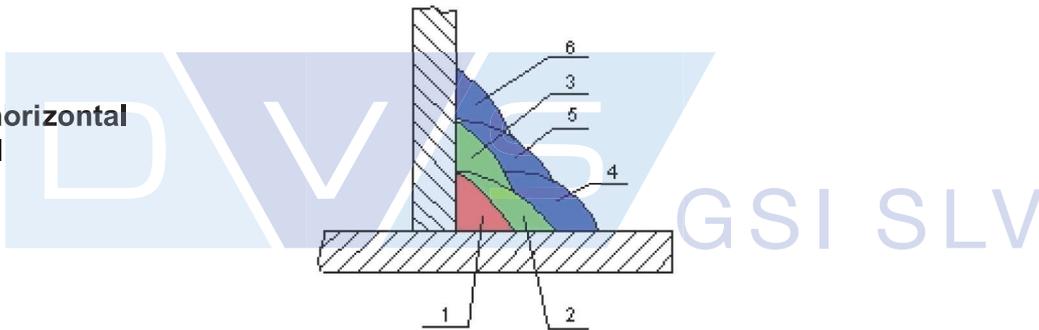


Abbildung 23: Beispiele für den Lagenaufbau

Kehlnähte in Steigposition (PF)

max. 2 x Elektroden-Ø

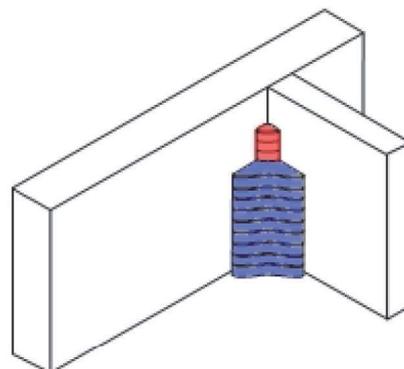
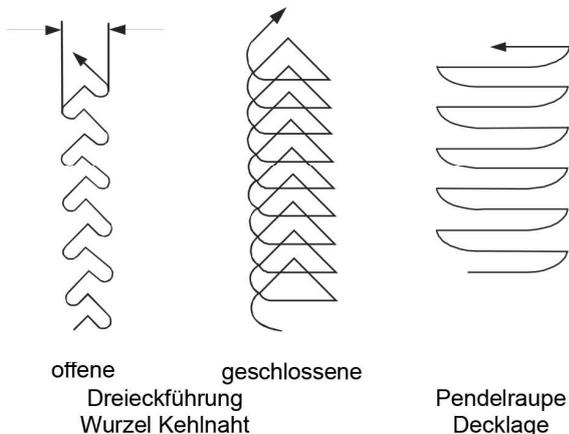
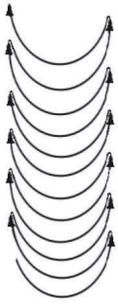


Abbildung 25: Elektrodenführung Kehlnaht PF

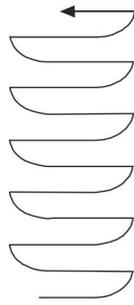
Abbildung 24: Lagenaufbau

Stumpfnähte in Steigposition (PF)

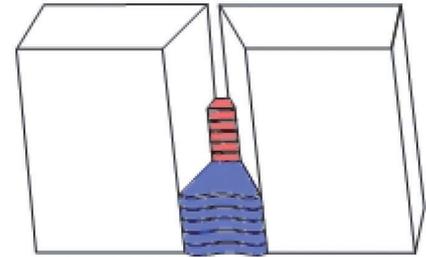


Elektrodenführung für die Stumpfnahnwurzel und Fülllage(n)

Abbildung 26: Elektrodenführung Stumpfnahnt PF



Pendelraupe Decklage



Wurzel Decklage

Abbildung 27: Lagenaufbau Stumpfnahnt

Kehlnähte in Überkopposition (PE)

Wurzel
1.Fülllage
2.Fülllage
Decklage

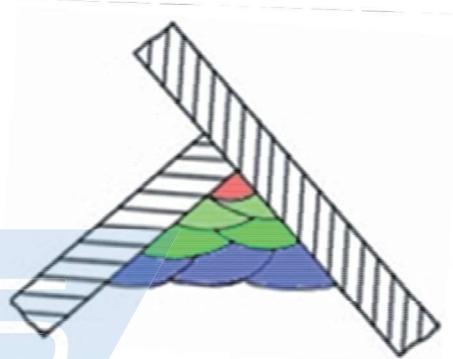


Abbildung 28: Strichraupen PE

V-Nähte Querposition (PC)

Wurzel
1.Fülllage
2.Fülllage
3.Fülllage
Decklage

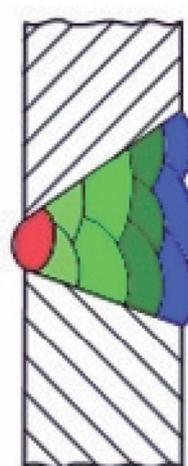


Abbildung 29: Strichraupen PC

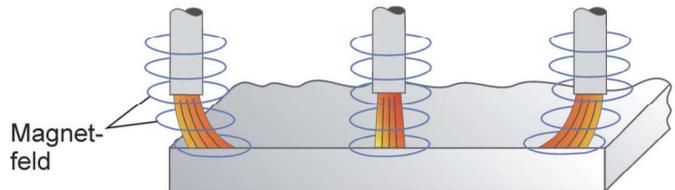
17.3 Blaswirkung

Der Lichtbogen ist, wie jeder Stromleiter, von einem Magnetfeld umgeben. Wird das gleichmäßige Ausbreiten des Magnetfeldes behindert, so ergibt sich eine Ablenkung des Lichtbogens: **die Blaswirkung**.

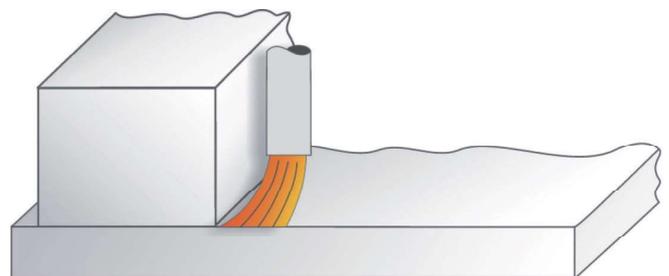
Häufige Gründe für Blaswirkung sind:

- Schweißen am Werkstückrand
- Schweißen neben großen Werkstückmassen
- Schweißen in der Nähe eines Werkstückanschlusses

a) Schweißen am Werkstückrand



b) Schweißen neben großen Werkstückmassen



c) Schweißen in der Nähe des Werkstückanschlusses

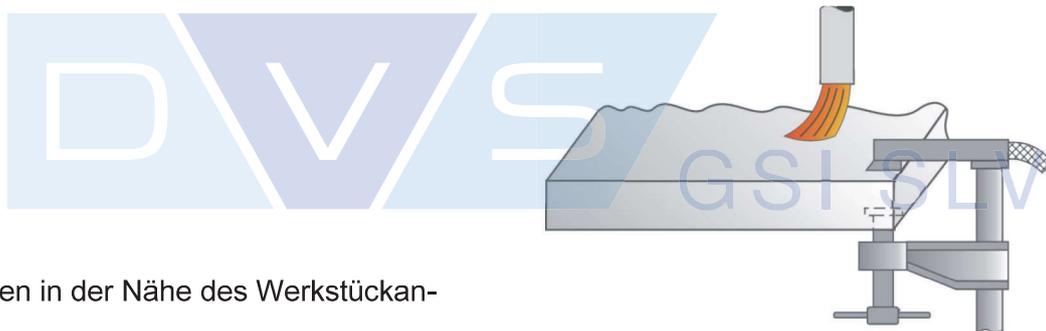


Abbildung 30 a,b,c: Ursachen für Blaswirkung

Maßnahmen gegen die Blaswirkung sind:

- Lichtbogenlänge kurz halten
- Neigungswinkel der Stabelektrode verändern
- Werkstückanschluss beidseitig anbringen oder Werkstückanschluss verschieben
- Zahlreiche Heftstellen schweißen
- Richtige Schweißfolge wählen
- Wenn möglich, Wechselstrom anstelle von Gleichstrom anwenden

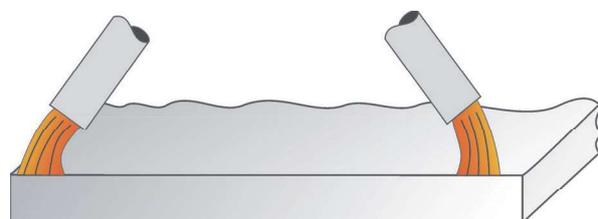


Abbildung 31: geänderter Neigungswinkel

17.4 Ausbringen von Stabelektroden

$$\text{Ausbringung in \%} = \frac{\text{Gewicht des Schweißgutes}}{\text{Gewicht des abgeschmolzenen Kernstabes}} \cdot 100$$

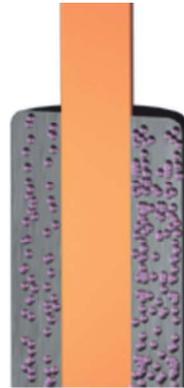
Durch zusätzliches Metallpulver in der Umhüllung kann die Ausbringung über 100% gesteigert werden.

Beispiel:

Ausbringung $\leq 105\%$
 $\varnothing 4 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$
 Gewicht des Kernstabs
 40 g
 Umhüllung ohne Metallpulver



Ausbringung 160%
 $\varnothing 4 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$
 Gewicht des Kernstabs
 40 g
 Umhüllung enthält Metallpulver (ca. 25 g)



Gewicht des Schweißgutes gleich Gewicht des abgeschmolzenen Kernstabes.

Gewicht des Schweißgutes ist um 60% größer als das Gewicht des abgeschmolzenen Kernstabes (Kernstab + Metallpulver).

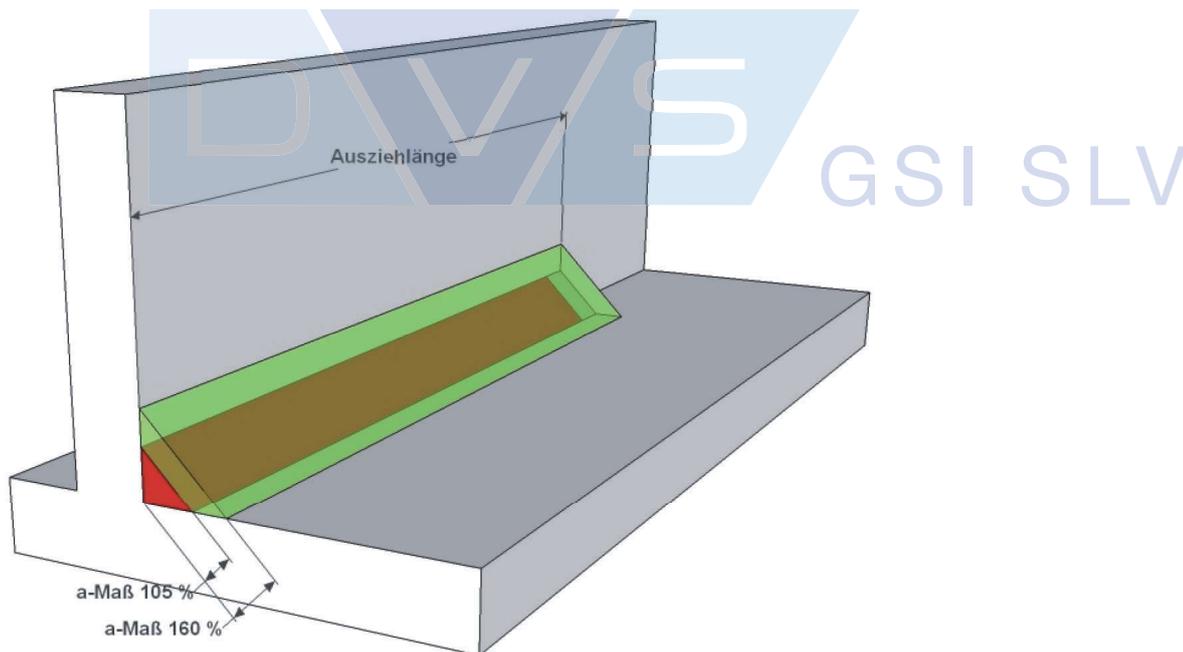


Abbildung 32: Änderung a-Maß bei Hochleistungselektroden bei kaum veränderter Ausziehlänge

Hochleistungselektroden können in Horizontalposition, teilweise nur in Wannelage verschweißt werden. Stromstärke und Abbrenngeschwindigkeit sind, gegenüber Elektroden mit normaler Ausbringung, höher.

Eisen- oder Metallpulver in Elektrodenumhüllungen erhöht das metallische Ausbringen und die Abschmelzleistung.

17.5 Wahl einer günstigen Schweißposition

Alle Schmelzschweißverfahren erzielen in der **Wannenposition** (PA) die höchsten Abschmelzleistungen in Verbindung mit einer guten Nahtausbildung und einem tiefen Einbrand.

Tabelle 19 zeigt nach Malisius den Einfluss der Schweißposition auf die Fertigungszeit. Abbildung 33 zeigt den Vergleich ungefährender Ausführungszeiten beim Stabelektrodenschweißen, bezogen auf die Wannenposition (PA) bei gleichem Einschweißquerschnitt (nach Aichele). **Abbildung 34** zeigt Bereiche der Abschmelzleistungen von verschiedenen Schmelzschweißverfahren.

PA (w)	PB (h)	PC (q)	PF (s)	PD (hü), PE (ü)
100%	130%	180%	220%	220 bis 250%

Abbildung 33: Vergleich von Ausführungszeiten beim E-Handschweißen, bezogen auf die Wannenposition PA

Tabelle 19: Einfluss der Schweißposition auf die Fertigungszeit

Schweißposition		Anzahl der Raupen	Stabelektroden-durchmesser mm	reine Schweißzeit min/m	Fertigungszeit min/m	Vergleich %
Kehlnähte, a-Maß 6 mm						
horizontal	h (PB)	2	5	8,5	15,7	100
Wannenlage	w (PA)	1	5	8,1	14,2	90
senkrecht steigend	s (PF)	2	4	12,4	24,2	154
senkrecht fallend	f (PG)	3	4	12,6	24,7	158
überkopf	ü (PE)	5	4	13,0	34,0	217
Stumpfnähte, 8 mm V-Fugenvorbereitung ohne Gegenschweißen der Wurzel						
waagrecht	w (PA)	2	4	13,7	25,0	100
quer an senkrechter Wand	q (PC)	5	3,25/4	16,2	31,2	125
senkrecht steigend	s (PF)	2	3,25/4	16,3	31,3	126
senkrecht fallend	f (PG)	4	3,25/4	16,5	31,7	127
überkopf	ü (PE)	5	3,25/4	20,0	54,0	216

18 Wirtschaftlichkeit

Das Schweißen mit umhüllten Stabelektroden wird heute hauptsächlich dort angewendet, wo „Hochleistungsschweißverfahren“ nicht oder nicht wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Dies ist besonders beim Schweißen auf einer Baustelle im Freien der Fall. Oft sind einfache Gerätetechnik oder die guten mechanischen Güterwerte des Schweißgutes ein Vorteil.

Abbildung 34 zeigt einen Vergleich der Abschmelzleistungen. Bei vergleichbaren Bedingungen zwischen dem MAG-Schweißen und dem Schweißen mit umhüllten Stabelektroden fällt ein reiner Vergleich der Abschmelzleistungen zum Vorteil für die MAG-Schweißung aus.

Dennoch gibt es viele Bereiche in der Schweißtechnik, die den umhüllten Stabelektroden gehören, z.B. Reparaturen, Montageschweißungen, Schweißen im Freien, Fallnahtschweißung im Rohrleitungsbau und auch viele Aufgaben im Behälter- und Anlagenbau, wie die Beispiele zeigen.

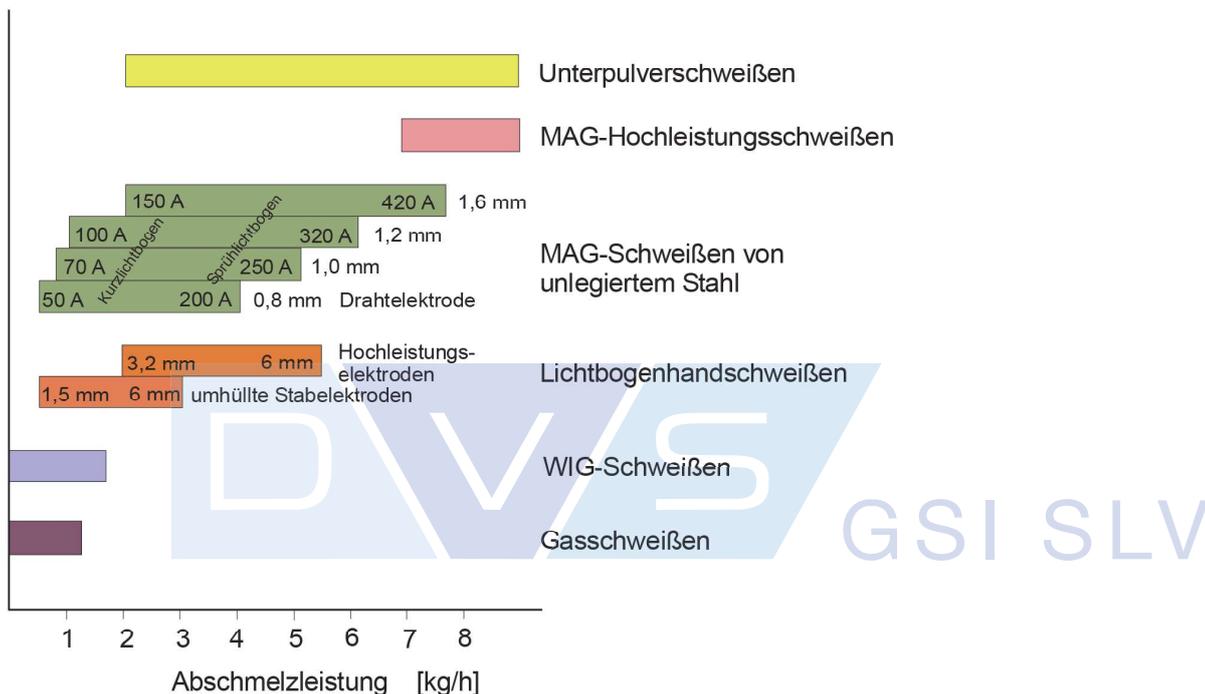


Abbildung 34: Bereiche der Abschmelzleistungen verschiedener Schmelzschweißverfahren

19 Fallnahtschweißen

Das Lichtbogenhandschweißen mit umhüllten Stabelektroden in der **Fallnahttechnik** ist im erdverlegten Rohrleitungsbau zu der wirtschaftlichsten **Handschweißmethode** geworden.

Haupteinflussfaktoren sind:

- Rohrgrundwerkstoff und die Rohrabmessungen
- Die verwendeten umhüllten Stabelektroden, die Schweißstromquellen und die Vorrichtungen
- Personelle Voraussetzungen: ausgebildete und geübte **Schweißer** und eine erfahrene **Schweißaufsichtsperson**
- Schweißtechnologische Kenntnisse und Erfahrungen mit der Arbeitsvorbereitung, dem Schweißprozess, der Nahtnachbearbeitung und der Prüftechnik
- Geländeverhältnisse und Witterungsbedingungen



Abbildung 35: Baustelle – Verlegung einer Erdgastrasse in Deutschland

19.1 Umhüllte Stabelektroden für den Rohrleitungs- und Pipelinebau

Im erdverlegten Rohrleitungsbau werden in Deutschland ca. 85% **zelluloseumhüllte** Fallnahtelektroden angewendet.

Aber auch **basischumhüllte** Fallnahtelektroden kommen heute, meist für höherfeste Rohrstähle, zum Einsatz.

In diesem Abschnitt wird die **Fallnahtschweißung** mit **zelluloseumhüllten** Stabelektroden behandelt. Die zelluloseumhüllten Stabelektroden (Eigenschaften siehe auch Abschnitt 10.3) erzeugen durch die organischen Bestandteile in der Umhüllung – in Verbindung mit einer definierten Restfeuchtigkeit (sie

dürfen nicht rückgetrocknet werden) – einen scharfen, stechenden Lichtbogen und wenig Schlacke, was das Schweißen in fallender Position ermöglicht. Die Schutzgasatmosphäre besteht aus Kohlendioxid und Wasserstoff. Der vorhandene Wasserstoff begünstigt zwar die Fallnahtschweißung, führt aber zu erhöhten Wasserstoffgehalten im Schweißgut.

Zur schnelleren Wasserstoffabgabe (Effusion) nach dem Schweißen ist es notwendig, die Rohre auf 40 bis 150°C (je nach Wanddicke, 5 bis 25mm) vor dem Schweißen anzuwärmen, dies vermindert auch die Gefahr einer Unternahtrissbildung.

Die zelluloseumhüllten Stabelektroden sind dünn- bis mitteldick umhüllt.

Hauptsächlich werden folgende Elektrodentypen angewendet:

DIN EN ISO 2560-A – E 42 2 C 25 (z.B. Thyssen Cel 70)

Für alle Rohrnähte /-lagen in fallender Position. Besonders geeignet für **Wurzellagen** (auch steigend).

DIN EN ISO 2560-A – E 46 3 C 25 (z.B. Thyssen Cel 80)

Für alle Rohrnähte in fallender Position. Für **Wurzellagen, Hotpass, Füll- und Decklagen**.

DIN EN ISO 2560-A– E 50 3 1Ni C 25 (z.B. Thyssen Cel 90)

Für alle Rohrnähte in fallender Position. Besonders geeignet für **Hotpass, Füll- und Decklagen**.

19.2 Schweißstromquellen

Auch die Auswahl einer geeigneten „fallnahtsicheren“ **Schweißstromquelle** ist von großer Bedeutung.

Zelluloseumhüllte Stabelektroden stellen einige besondere Forderungen an die Schweißstromquellen.

Diese sind:

- eine **steil-fallende Belastungskennlinie** mit einer **möglichst hohen Leerlaufspannung** (< 80V bis 90 V),
- **reiner Gleichstrom**, mit geringem Oberwellenanteil,
- eine **einstellbare Stromerhöhung** in Kurzschlussnähe, ArcForce (siehe Abbildung 36),
- eine **Ferneinstellung**, damit eine Schweißstromeinstellung in Abhängigkeit von der Schweißposition möglich wird und
- eine **Polumschaltung**:
 - -Pol für die Wurzelschweißung
 - +Pol für Hotpass, Füll- und Decklagen.

Diese Bedingungen werden oft sehr gut von **fahrbaren Schweißaggregaten** (Diesel-/Benzinmotor plus Gleichstromgenerator) erfüllt. Es sind auch „fallnahtsichere“ Schweißinverter im Stromquellenprogramm vorhanden.

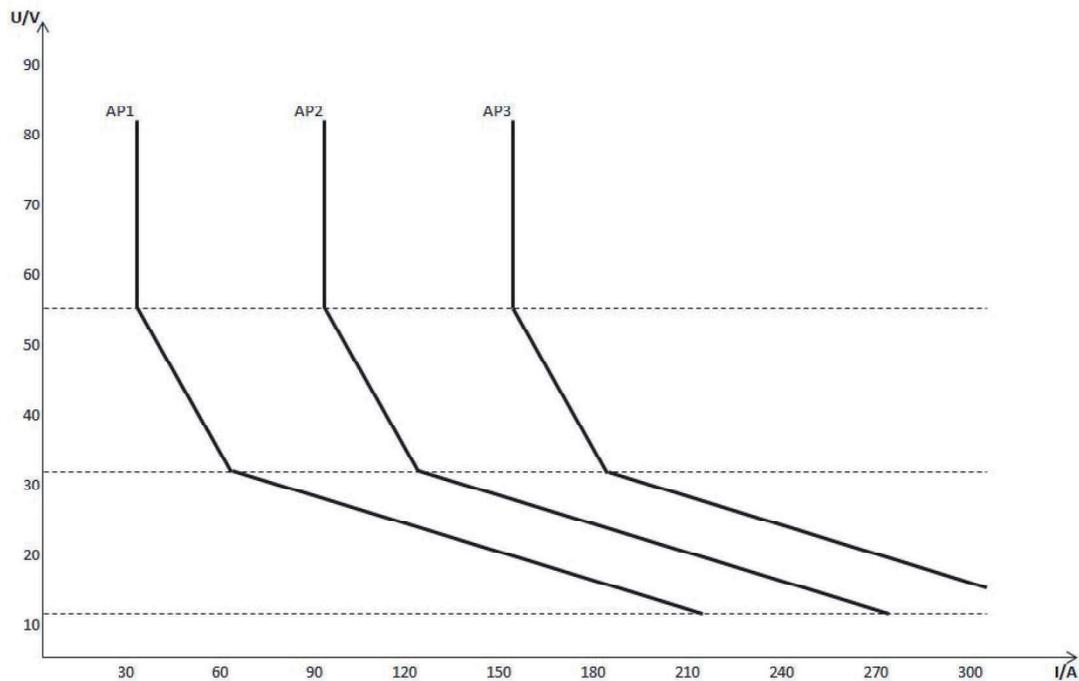


Abbildung 36: Belastungskennlinie einer Schweißstromquelle mit Kurzschlussstromerhöhung zum Fallnahtschweißen (Quelle: EWM Hightec Welding GmbH)

19.3 Arbeitstechniken beim Fallnahtschweißen mit zelluloseumhüllten Stabelektroden

Das Fallnahtschweißen mit zelluloseumhüllten Stabelektroden erfordert einige Besonderheiten in der Arbeitstechnik. Nachfolgend wird auf folgende Forderungen eingegangen:

1. Nahtvorbereitung
2. Arbeitstechniken, Elektrodenhaltung, Schweißen der Wurzellage (Rootpass)
3. Schweißen der Fülllagen und der Decklage

19.3.1 Nahtvorbereitung

Für Rohre mit Wanddicken bis ca. 20 mm wird eine V-Naht-Vorbereitung mit Steg und einem Öffnungswinkel von 60° gemäß Abbildung 37 werksseitig angebracht. (Bei Rohren bis 80 mm Nenndurchmesser genügt auch oft ein Flankenwinkel kleiner als 60°). Rohrstücke oder Segmente müssen entsprechend von Hand vorgerichtet werden. Eine saubere Nahtvorbereitung ist für eine schnelle, wirtschaftliche Schweißung unerlässlich. Die Toleranzen für die Nahtvorbereitung müssen unbedingt eingehalten werden und die so vorbereitete Schweißnaht darf nicht während des Transports oder auf der Baustelle wieder beschädigt werden.

Das Schweißen erfolgt bei Verwendung von Innen- oder Außenzentriervorrichtungen ohne Heften. Die Zentriereinrichtungen können entfernt werden, wenn bei Außenzentrierung mindestens 60% der Wurzellage, bei Innenzentrierung die Wurzellage und der Hotpass fertiggestellt wurden. Einzelheiten zur Bauart und zur Verwendung der Zentriervorrichtungen sind in die Schweißanweisung aufzunehmen.

Können keine Zentriereinrichtungen verwendet werden, müssen Heftstellen mit dem für die Wurzellage vorgesehenen Schweißverfahren durchgeführt werden. Mindestens drei Heftstellen müssen gleichmäßig um den Rohrumfang verteilt sein. Der Höchstabstand darf nicht mehr als 400 mm bzw. 25 x T betragen. Die Heftschweißnähte sollen für Rohre ≤ DN 400 mindestens 25 mm, für Rohre > DN 400 mindestens

50 mm lang sein. Gerissene Heftstellen dürfen nicht überschweißt werden, sondern sind auszuschleifen und neu zu schweißen.

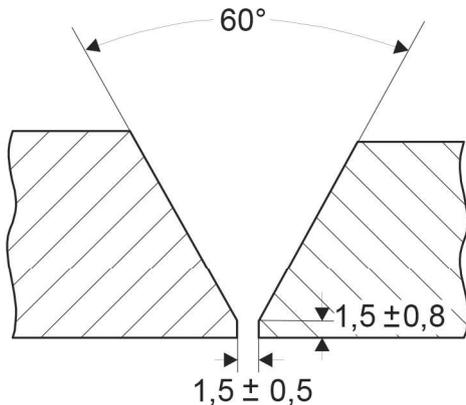


Abbildung 37: V-Nahtvorbereitung zum Fallnaht-Rohrschweißen



Abbildung 38: Innenzentrier-Vorrichtung für die Fallnahtschweißung von erdverlegten Großrohren

19.3.2 Arbeitstechniken, Elektrodenhaltung

Die Fallnahtschweißung beginnt in der 12-Uhr-Position – fallend nach beiden Seiten. Die zelluloseumhüllten Stabelektroden werden fast senkrecht (etwa 10° geneigt), wie in Abbildung 39 dargestellt, verschweißt. Durch diese Elektrodenhaltung bildet sich eine runde Schweißöse und der Lichtbogen brennt bei der Wurzelschweißung mehr an der Rohrinneenseite.

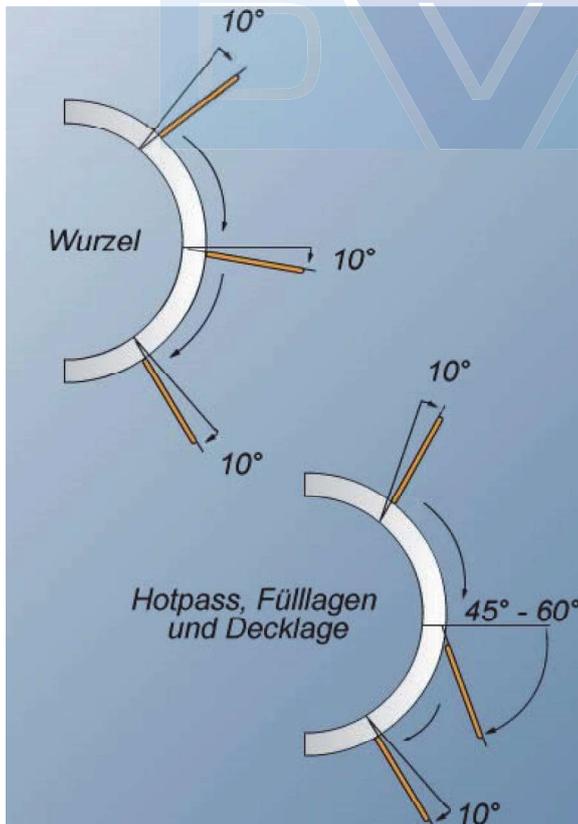


Abbildung 39: Neigungswinkel in Abhängigkeit von der Schweißposition



Abbildung 40: Fallnahtschweißen mit zelluloseumhüllten Stabelektroden

19.3.3 Lagenaufbau

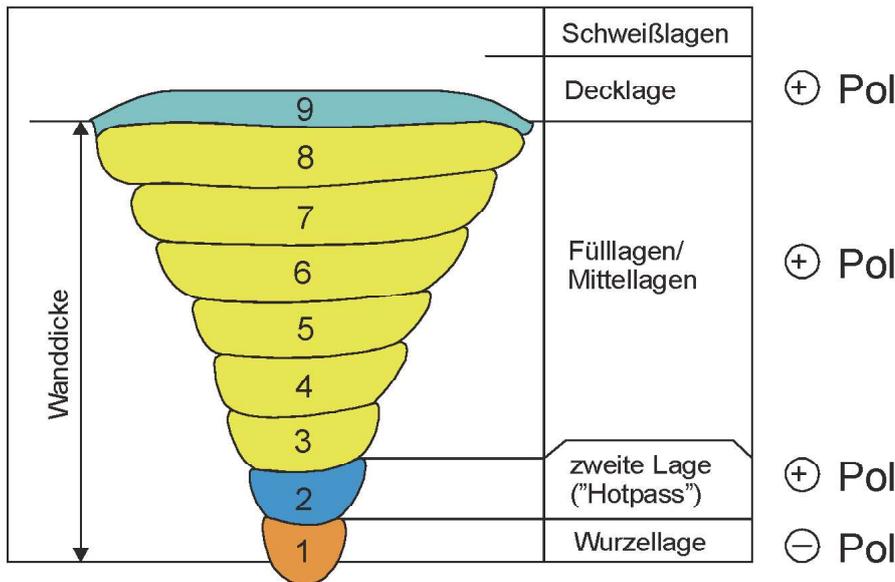


Abbildung 41: Lagenaufbau

- 1 Wurzellage
- 2 Hotpass (2. Lage oder Heißlage)
- 3 – 8 Fülllagen/Mittellagen
- 9 Decklage

Mindestlagenzahl $\geq \frac{t}{3}$

Tabelle 20: Technologische Parameter zum Fallnahtschweißen, entsprechend Lagenaufbau nach **Abbildung 41**

Wand- di- cken [mm]	Wurzellage			Hotpass			Fülllagen			Decklage		
	El.- Ø [mm]	I _s [A]	Strom- art, Polung	El.- Ø [mm]	I _s [A]	Stromart, Polung	El.- Ø [mm]	I _s [A]	Stromart, Polung	El.- Ø [mm]	I _s [A]	Stromart, Polung
3 – 4	2,5	50– 80	= / -	3,25	120– 140	= / +	3,25	100- 120	= / +	3,25	80- 100	= / +
4 – 6	3,25	80- 110	= / -	4,0	180- 190	= / +	5,0	160- 180	= / +	5,0	140- 160	= / +
6 – 10	4,0	120- 140	= / -	4,0	170- 190	= / +	5,0	180- 200	= / +	5,0	160- 180	= / +
10 – 15	4,0	140- 160	= / -	4,0	170- 190	= / +	5,0	180- 220	= / +	5,0	170- 200	= / +
15	4,0	140- 160	= / -	5,0	190- 210	= / +	5,5	220- 250	= / +	5,0	170- 200	= / +

19.3.3.1 Schweißen der Wurzellage (Rootpass)

Die Elektrode wird am –Pol ohne zu pendeln nur so schnell gezogen, dass sich oberhalb der Schweißöse das Schweißgut zu einer geschlossenen Schweißraupe ausbilden kann. Der Lichtbogen „bläst“ durch den Spalt und schmilzt dabei die Wurzelkante mit auf. Beide Kanten müssen von der Wurzellage erfasst sein.

Nach der Wurzelschweißung müssen die seitlichen Schlacken ausgeschliffen und die Überhöhung in der Nahtmitte flachgeschliffen werden.

Bei Rohrdurchmessern > 400 mm ist es üblich, dass zwei Schweißer gleichzeitig gegenüber arbeiten, um Verzug zu vermeiden und dadurch die Fugenbreite konstant halten.

19.3.3.2 Schweißen der Fülllagen und der Decklage

Die erste Fülllage, der Hotpass, wird mit der max. Stromstärke, die vom Hersteller für diesen Elektroden-durchmesser angegeben ist, am +Pol verschweißt.

Durch eine spezielle Elektrodenführung – 6-Uhr- und 12-Uhr-Position ca. 80 bis 90°, 3-Uhr- und 9-Uhr-Position ca. 45° und den hohen Strom wird die Wurzel wieder teilweise aufgeschmolzen, gut „durchgeglüht“ sowie Schlackenreste ausgespült.

Der Hotpass muss unmittelbar nach dem Schweißen der Wurzel eingebracht werden, d.h. in einer Wärme geschweißt werden. Bei höherfesten Rohrstählen sollten zwischen dem Schweißen der Wurzel und Hotpass maximal 10 Minuten liegen. Auch darf, bis der Hotpass fertiggestellt ist, das Rohr auf keinen Fall bewegt werden, andernfalls besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit von Unternahrissen.

Für die weiteren Fülllagen wird die Stromstärke wieder etwas verringert, mit leicht pendelnden oder step-penden Bewegungen über die ganze Nahtbreite flach geschweißt. Die Pendelbreite darf den Wert 3-mal Elektrodenkernstabdurchmesser nicht überschreiten.

Es können Ausgleichsraupen in den reinen Fallpositionen (2 bis 4 Uhr und 10 bis 8 Uhr) notwendig sein, um die Nahtdicke gleichmäßig zu halten (höhere Schweißgeschwindigkeit und geringerer Materialein-trag).

Die Decklage wird ebenfalls am +Pol geschweißt, aber die Stromstärke um 20 bis 30 A reduziert (siehe auch Tabelle 20). Die Nahtflanken werden bis zu 1,5 mm überschweißt. Die Nahtüberhöhung beträgt, bei richtiger Ausführung, etwa 1 bis 2 mm. Poren treten hier auf, wenn das Schweißgut überhitzt oder die Pendelbreite zu groß wird.

Nach Beendigung der Schweißarbeiten sollte die Naht noch ca. 30 Minuten bei 150°C abgedeckt werden, um die Effusion des Wasserstoffes zu beschleunigen.

19.4 Zusammenfassung

Fallnahtschweißen im Rohrleitungsbau:

Es sind spezielle Zellulose-Fallnahtelektroden, „fallnahtsichere“ Schweißstromquellen und Schweißvorrichtungen erforderlich.

Das Fallnahtschweißen erfordert eine gesonderte Schweißerprüfung, für den DVGW-Bereich mit speziellen Anforderungen, diese sind z.B. im DVGW-Arbeitsblatt GW 350 geregelt.

Die Vorbereitung der Schweißnähte ist etwas aufwendiger und erfordert eine höhere Sorgfalt.

Schweißnähte müssen „in einer Wärme“ fertiggeschweißt werden, um die Effusion des Wasserstoffes zu erhöhen. Die Zwischenlagentemperatur sollte 80°C, bei höherfesten Rohren 150°C nicht unterschreiten.

Bei richtiger Arbeitstechnik werden **röntgensichere Nähte** bei **guten bis sehr guten Gütewerten** des Schweißgutes, einer **großen Schweißgeschwindigkeit** und einer **hohen Abschmelzleistung** erreicht. Die Streckenenergie ist wesentlich geringer als bei der Steignahtschweißung.

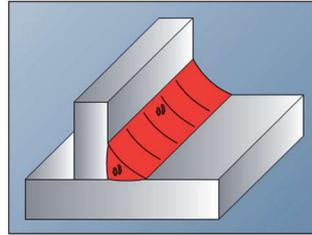
Die Schweißnähte haben ein etwas grobschuppiges Nahtaussehen.

20 Schweißnahtunregelmäßigkeiten und ihre möglichen Ursachen

20.1 Schlackeneinschlüsse

Mögliche Ursachen:

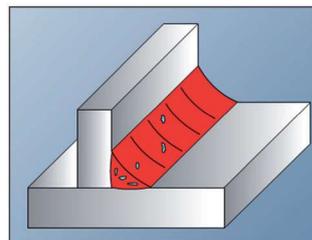
- zu geringe Schweißstromstärke
- zu große Schweißgeschwindigkeit
- Überschweißen von Schlackenresten bei mehrlagigen Schweißnähten



20.2 Gaseinschlüsse (Poren)

Mögliche Ursachen:

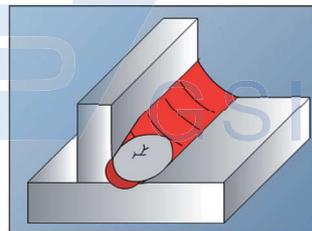
- unsaubere Werkstückoberfläche (Rost, Fett, Beschichtungsstoffe)
- zu langer Lichtbogen
- nicht oder nicht ausreichend getrocknete basisch-umhüllte Stabelektroden



20.3 Endkrater

Mögliche Ursachen:

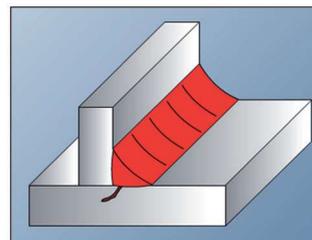
- zu schnelles Entfernen der Stabelektrode am Nahtende
- besonders bei großen Schweißstromstärken Gefahr von Schrumpfrissen



20.4 Risse im Schweißnahtübergang

Mögliche Ursachen:

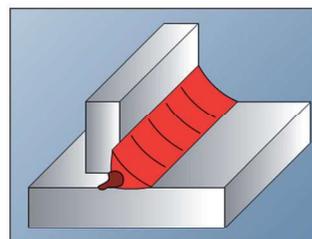
- schlecht geeigneter Werkstoff
- zu schnelles Abkühlen nach dem Schweißen (Abschrecken, nicht ausreichender Schutz gegen Witterung)



20.5 Wurzelfehler

Mögliche Ursachen:

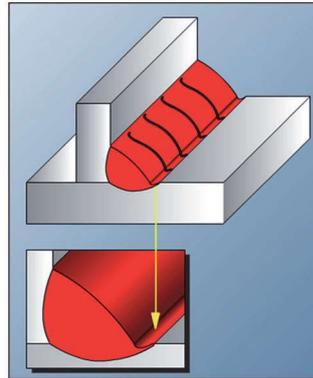
- Eindringen von Schlacke in den Wurzelbereich bei zu großem Stirnflächenabstand
- zu niedrige Stromstärke, vorlaufende Schlacke



20.6 Einbrandkerben

Mögliche Ursachen:

- zu hohe Schweißstromstärke
- zu langer Lichtbogen
- zu flache Stabelektrodenhaltung
- zu schnelles Weiterziehen an Nahträndern



20.7 Wasserstoffinduzierte Risse

Die Gefahr von wasserstoffinduzierten Rissen entsteht aus einer Wasserstoffversprödung, d.h. die Änderung der Duktilität von Metallen durch die

- Aufnahme (Schmelze) und Einlagern von **Wasserstoff** in das Metallgitter
- in Kombination mit (Zug-) **Spannungen und kritischen Gefügeausbildungen** (Fehlstellen).

Der wasserstoffinduzierte Kaltriss ist einer der gefährlichsten Schweißfehler. Er ist unmittelbar nach dem Schweißen nicht zu erkennen und tritt oft erst nach 3 bis 20 Stunden auf.

Wasserstoffquellen beim Lichtbogenhandschweißen können sein (siehe auch Abschnitt 6.2):

- Werkstück
- Umgebungsluft
- Stabelektrode

Schlecht vorbereitete Werkstücke – gerade beim Lichtbogenhandschweißen wird hier oft nicht die notwendige Sorgfalt aufgewendet – mit Resten von Grundierungen, Anstrichen, Beschichtungen etc. im Schweißnahtbereich können Feuchtigkeitsquellen sein. Auch eine mangelhafte, falsche Trocknung oder Vorwärmung des Schweißnahtbereichs kann zu einem erhöhten Wasserstoffeintrag führen. Acetylen (C_2H_2) als Brenngas für das Trocknen oder Vorwärmen ist hier wesentlich besser geeignet als z.B. Propan (C_3H_8).

Nicht zu vernachlässigen ist auch der Eintrag von Wasserstoff durch die Umgebungsluft. Durch die hohe Lichtbogenenergie kann die Feuchtigkeit der Umgebungsluft im Lichtbogen zu einem Teil zu atomarem Wasserstoff getrennt und ins Schweißbad aufgenommen werden.

Daher ist hier, insbesondere bei basischen Elektroden, mit kurzem Lichtbogen zu schweißen, um die Lichtbogenoberfläche und somit auch die Absorptionsoberfläche für den Wasserstoff zu verringern.

Beispiel:

Bei basischen Elektroden mit einem Wasserstoffgehalt von max. 5 ml/100 g Schweißgut (H5) liegt der diffusible Wasserstoffgehalt im Schweißgut, bei einer Lichtbogenlänge von 0,5 x Kernstabdurchmesser, etwa bei 4,5 ml/100 g. Eine Verlängerung des Lichtbogens auf 1,5 x Kernstabdurchmesser erhöht den Wasserstoffgehalt bereits auf 6 ml/100 g Schweißgut.

Bei zunehmender Luftfeuchtigkeit, in Abhängigkeit mit der Lufttemperatur, kann sich die Aufnahme von Wasserstoff bei einem langen Lichtbogen noch weiter erhöhen.

Meist ist aber die Stabelektrode die Hauptfeuchtigkeitsquelle.

Die Auswahl eines falschen Umhüllungstyps, wenn ein niedriger Wasserstoffeintrag gefordert ist, kann hier bereits im Vorfeld der Grund für spätere Schäden sein.

Während der Wasserstoffeintrag einer basischen Stabelektrode mit einem Wasserstoffgehalt von 5 bis 15 ml/100 g Schweißgut noch unproblematisch ist, erhöht sich dieser bereits kritisch auf 20 bis 40 ml mit einer vergleichbaren RB-Elektrode und mit einer C-Elektrode bei ca. 40 bis 60 ml/100 g Schweißgut auf ein äußerst kritisches Maß.

Eine unsachgemäße oder gar keine Rücktrocknung von basischen Elektroden ist aber oft die Hauptursache für wasserstoffinduzierte Risse. Immer noch sind Schweißer der Ansicht, die Feuchtigkeit würde im Lichtbogen „verdampfen“ wie Wassertropfen auf einer heißen Herdplatte. Entsprechend sorglos werden dann nicht oder nicht ausreichend getrocknete Stabelektroden verschweißt, oder bis zum Verschweißen unsachgemäß gelagert.

Dieser so eingebrachte Wasserstoff lagert sich in den Spitzen von Kerben und Spalten ein und führt zu einer Erhöhung des Spannungszustandes. Der wiederum lässt den Riss weiter wachsen, wodurch noch mehr Wasserstoff nachdiffundieren kann.

Das Zusammenwirken von Wasserstoff, wenig verformungsfähigem Gefüge in der WEZ und einem mehrachsigen Spannungszustand, z.B. an Kerben, kann dann bei höherfesten Stählen zu einem verzögerten Bruch führen.

Gegenmaßnahmen

Einer Rissbildung kann entgegengewirkt werden durch:

- Eine einwandfreie Nahtvorbereitung
- Vorwärmen
- Verwendung von wasserstoffarmen, richtig getrockneten und gelagerten Zusatzwerkstoffen,
- Einhalten der Arbeitsregeln und Arbeitsweisen bei z.B. Mehrlagenschweißung bei „Cel“ (siehe auch Abschnitt 19.3)
- Glühen des Werkstückes, unmittelbar aus der Schweißwärme, für eine bis mehrere Stunden bei ca. 250°C (Soaking)



Abbildung 42: Fischaugen