

	Schweißen Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen Deutsche Fassung EN 1011-2:2001	DIN EN 1011-2
ICS 25.160.10 Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 2: Arc welding of ferritic steels; German version EN 1011-2:2001 Soudage – Recommendations pour le soudage des matériaux métalliques – Partie 2: Soudage à l'arc des aciers ferritiques; Version allemande EN 1011-2:2001 Ersatz für DIN 8528-2:1975-03		
Die Europäische Norm EN 1011-2:2001 hat den Status einer Deutschen Norm.		
Nationales Vorwort Die Europäische Norm EN 1011-2 ist im Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen“ vom Unter- komitee SC 4 „Qualitätsmanagement für das Schweißen“ erarbeitet worden. Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der AA 4.1 „Grundlagen der Qualitätssicherung beim Schweißen“ im Normenausschuss Schweißtechnik (NAS). Mit dieser Norm werden Empfehlungen zum Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe zusammengefasst und in 4 Teile wie folgt gegliedert: – Teil 1: Allgemeine Anleitungen für das Lichtbogenschweißen – Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen – Teil 3: Lichtbogenschweißen von nicht rostenden Stählen – Teil 4: Lichtbogenschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen Diese Empfehlungen basieren auf bewährter, schweißtechnischer Praxis im Sinne unterstützender, jedoch nicht verpflichtender Anleitung. Diese sind zusammengestellt worden, um allgemein gültige Ausführungen zum Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe zusammenzufassen, damit für vergleichbare Angaben in den Ausführungsnormen auf diese Fachgrundnormen Bezug genommen werden kann. Die im Abschnitt 2 zitierten Europäischen Normen sind unter der gleichen Nummer als DIN-EN-Normen veröffentlicht (außer CR ISO 15608; dieser wurde veröffentlicht unter DIN V 1738).		
Änderungen Gegenüber DIN 8528-2:1975-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen: a) EN 1011-2:2000 vollständig übernommen; b) Inhalt in aktualisierter Form in EN 1011-2 enthalten.		
Frühere Ausgaben DIN 5828-2:1975-03 Fortsetzung Seite 2 und 49 Seiten EN		
Normenausschuss Schweißtechnik (NAS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.		

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN V 1738, *Schweißen – Richtlinien für eine Gruppeneinteilung von metallischen Werkstoffen (CR ISO 15608:2000)*.

Deutsche Fassung

Schweißen
Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe
Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen

Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 2: Arc welding of ferritic steels

Soudage – Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques – Partie 2: Soudage à l'arc des aciers ferritiques

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 6. Juli 2000 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



**EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION**

Zentralsekretariat: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe	4
4 Symbole und Abkürzungen	5
5 Grundwerkstoff	5
6 Einflüsse auf die Schweißbarkeit	5
7 Behandlung der Schweißzusätze	6
8 Schweißtechnische Angaben	6
8.1 Stumpfnähte	6
8.2 Kehlnähte	7
9 Loch- oder Schlitznähte	7
10 Vorbereitung der Stoßflächen	7
10.1 Allgemeines	7
10.2 Fugenflächen	7
10.3 Nicht geschweißte Flächen	7
11 Ausrichten von Stumpfstößen vor dem Schweißen	7
12 Vorwärmen	8
13 Heftschweißungen	8
14 Zeitweilige Transport- und Aufbauhilfen	8
15 Wärmeeinbringen	8
16 Schweißanweisung	8
17 Kennzeichnung	8
18 Qualitätsprüfung und Prüfung	8
19 Ausbessern von mangelhaften Schweißungen	9
20 Korrektur des Verzuges	9
21 Wärmenachbehandlung	9
Anhang A (informativ) Mögliche ungünstige Ergebnisse durch Schweißen an Stählen, die nicht in den anderen Anhängen enthalten sind	9
Anhang B (informativ) Leitfaden für die konstruktive Gestaltung von Schweißstößen (wenn keine Anwendungsnorm besteht)	10
Anhang C (informativ) Vermeiden von Wasserstoffrissen (bekannt auch als Kaltrisse)	12
Anhang D (informativ) Zähigkeit und Härte in der Wärmeeinflusszone	34
Anhang E (informativ) Vermeiden von Erstarrungsrissen	40
Anhang F (informativ) Vermeiden von Terrassenbrüchen	42
Anhang G (informativ) Verweisungen in den Anhängen	48
Anhang ZA (informativ) Abschnitte in dieser Europäischen Norm, die grundlegende Anforderungen oder andere Vorgaben von EU-Richtlinien betreffen	49

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen“ erarbeitet.

Diese Europäische Norm wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieser Norm ist.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2001, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2001 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Einleitung

Diese Europäische Norm ergänzt EN 1011-1. Sie ist zusammen mit mehreren Anhängen herausgegeben worden, damit sie erweitert werden kann, um die verschiedenen Stahlsorten, die nach allen europäischen Stahlnormen für ferritische Stähle erzeugt werden, einzuschließen (siehe Abschnitt 5).

Diese Norm vermittelt allgemeine Empfehlungen für eine zufriedenstellende Fertigung und Überwachung des Schweißens von ferritischen Stählen. Sie beschreibt Einzelheiten möglicher ungünstiger Erscheinungen, die auftreten können, und gibt Ratschläge für Verfahren, durch die sie vermieden werden können. Sie ist für alle ferritischen Stähle allgemein anwendbar und ohne weiteres für die in Betracht kommende Fertigungsart geeignet, auch wenn die Anwendungsnorm zusätzliche Anforderungen beinhalten kann.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gibt Empfehlungen für manuelles, teilmechanisches, vollmechanisches und automatisches Lichtbogenschweißen ferritischer Stähle in allen Erzeugnisarten (siehe Abschnitt 5), ausgenommen nicht rostende ferritische Stähle.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 288-2:1997, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe – Teil 2: Schweißanweisung für das Lichtbogenschweißen.*

EN 1011-1:1998, *Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 1: Allgemeine Anleitungen für das Lichtbogenschweißen.*

EN 29692, *Lichtbogenhandschweißen, Schutzgasschweißen und Gasschweißen – Schweißnahtvorbereitung für Stahl (ISO 9692:1992).*

EN ISO 13916, *Schweißen – Anleitung zur Messung der Vorwärm-, Zwischenlagen- und Haltetemperatur (ISO 13916:1996).*

CR ISO 15608, *Richtlinien für eine Gruppeneinteilung von metallischen Werkstoffen (ISO/TR 15608:2000).*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in EN 1011-1:1998 aufgeführten sowie die folgenden Begriffe.

3.1

Abkühlzeit

$t_{8/5}$

die Zeit, die zur Abkühlung einer Schweißraupe und ihrer Wärmeeinflusszone für den Temperaturbereich von 800 °C bis 500 °C benötigt wird

3.2

Ausziehlänge

die Länge einer Schweißraupe, die durch Abschmelzen einer umhüllten Stabelektrode erzeugt wird

3.3

Ausziehverhältnis

R_r

das Verhältnis der Ausziehlänge zur Länge der abgeschmolzenen Stabelektrode

3.4

Formfaktor

F_x

beschreibt den Einfluss der Schweißnahtform auf die Abkühlzeit $t_{8/5}$. Bei zweidimensionaler Abkühlung wird er mit F_2 und bei dreidimensionaler Abkühlung mit F_3 bezeichnet

3.5

Dreidimensionale Wärmeableitung

die während des Schweißens eingebrachte Wärme fließt parallel und senkrecht zur Blechoberfläche ab

3.6

Übergangsblechdicke

d_t

die Blechdicke, bei der sich die Wärmeableitung von dreidimensional in zweidimensional ändert

3.7

Zweidimensionale Wärmeableitung

die während des Schweißens eingebrachte Wärme fließt parallel zur Blechoberfläche ab

3.8

Haltetemperatur

T_m

die Mindesttemperatur im Schweißbereich, die auch eingehalten werden sollte, wenn die Schweißung unterbrochen wird

4 Symbole und Abkürzungen

Tabelle 1 – Symbole und Abkürzungen

Symbole/Abkürzungen	Begriffe	Einheiten
CE	Kohlenstoffäquivalent (siehe C.2.1)	%
CET	Kohlenstoffäquivalent (siehe C.3.2)	%
D	Durchmesser	mm
d	Blechdicke	mm
d_t	Übergangsblechdicke	mm
F_2	Formfaktor für zweidimensionale Wärmeableitung	–
F_3	Formfaktor für dreidimensionale Wärmeableitung	–
WEZ	Wärmeeinflusszone	–
HD	Gehalt an diffusiblem Wasserstoff	ml/100 g abgeschmolzenes Schweißgut
Q	Wärmeeinbringen	kJ/mm
R_r	Ausbringen	–
$t_{8/5}$	Abkühlzeit (von 800 °C auf 500 °C)	s
t	Abschmelzzeit einer Stabelektrode	s
T_i	Zwischenlagentemperatur	°C
T_m	Haltetemperatur	°C
T_0	Anfangstemperatur des Blechs	°C
T_p	Vorwärmtemperatur	°C
T_t	Übergangstemperatur der Kerbschlagarbeit	°C
UCS	Einheit der Rissanfälligkeit	–
λ	Wärmeleitfähigkeit	J/cm Ks
ρ	Dichte	kg/m ³
c	Spezifische Wärmekapazität	J/kg K

5 Grundwerkstoff

Diese Norm bezieht sich auf ferritische Stähle, ausgenommen sind die rostfreien ferritischen Stähle. Sie enthält die Stähle der Gruppen 1 bis 7 des CR ISO 15608. Bei der Stahlbestellung kann es von Nutzen sein, Anforderungen für die Schweißbarkeit festzulegen. Damit können zu der entsprechenden Stahlnorm bestimmte Anforderungen als Ergänzung notwendig sein.

6 Einflüsse auf die Schweißbarkeit

Die Eigenschaften und die Qualität der Schweißungen werden besonders stark durch die Schweißbedingungen beeinflusst. Deshalb sollten die folgenden Einflüsse beachtet werden:

- Gestaltung der Verbindung;
- Wasserstoffinduzierte Risse;

- Zähigkeit und Härte der Wärmeeinflusszone (WEZ);
- Erstarrungsrisse;
- Terrassenbrüche;
- Korrosion.

Verglichen mit den Eigenschaften des Grundwerkstoffes und abhängig von den Schweißbedingungen können die mechanischen und technologischen Werte, besonders die Härte und Zähigkeit in einem engbegrenzten Bereich der Wärmeeinflusszone, mehr oder weniger stark beeinflusst werden. Erfahrungen und Prüfungen weisen darauf hin, dass nicht nur die Eigenschaften der unmittelbaren Wärmeeinflusszone, sondern auch die Lastverteilung aufgrund der angrenzenden Bereiche mit geringerer Festigkeit und besserer Verformbarkeit beachtet werden sollten, wenn die Verformbarkeit und Bruchsicherheit der Schweißverbindung bewertet werden, da diese die Stahlauswahl beeinflussen können.

7 Behandlung der Schweißzusätze

Wenn ein besonderer Schutz oder andere Behandlungen während der Lagerung oder unmittelbar vor dem Gebrauch durch den Hersteller der Schweißzusätze empfohlen werden, sollten diese Behandlungen in Übereinstimmung mit den Bedingungen des Herstellers erfolgen.

Zum Trocknen oder Rücktrocknen sollten die Schweißzusätze aus ihren Originalbehältern entnommen werden. Nach der Entnahme aus dem Ofen sollten die Schweißzusätze gegen Bedingungen geschützt werden, die die Aufnahme von Feuchtigkeit fördern. Bei Schweißzusätzen in Sonderverpackungen, z. B. Vakuum oder andere Arten des Feuchtigkeitsschutzes, sollte der Rat des Herstellers der Schweißzusätze für weitere Erfordernisse zum Trocknen und Rücktrocknen eingeholt werden.

Falls kontrollierte Wasserstoffgehalte gefordert werden, wird empfohlen, dass die Schweißer Stabelektroden aus geheizten Köchern oder geschlossenen Behältern verwenden.

Trockenöfen, z. B. für Schweißzusätze, müssen mit Einrichtungen zum Messen der Ofentemperatur ausgerüstet sein.

8 Schweißtechnische Angaben

8.1 Stumpfnähte

Stumpfnähte zwischen Teilen unterschiedlicher Querschnitte sollten so hergestellt und anschließend bearbeitet werden, dass eine übermäßige Spannungskonzentration in der Verbindung vermieden wird.

Einige Beispiele zur Nahtvorbereitung beim Einsatz des Lichtbogenhandschweißens und des Metall-Schutzgasschweißens sind in EN 29692 aufgeführt.

Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte können entsprechend den Konstruktionsfestlegungen erlaubt sein. Bei der Auswahl der Schweißnahtvorbereitung und der Schweißzusätze sollte beachtet werden, dass die vorgeschriebene Nahtdicke erreicht werden kann.

Bei Dauerbeanspruchungen können nicht durchgeschweißte Stumpfnähte oder verbleibende Badsicherungen unerwünscht sein.

Badsicherungen können aus einem anderen Stahl als die Konstruktion sein, wenn er geeignet ist.

Wenn die Verwendung eines Teils der Konstruktion zur Badsicherung nicht geeignet ist, muss ein Werkstoff verwendet werden, durch den ungünstige Einflüsse auf die Konstruktion vermieden werden und der in den Konstruktionsfestlegungen zu vereinbaren ist.

Sorgfalt ist bei der Verwendung von Kupfer zur Badsicherung geboten, da die Gefahr der Kupferaufnahme in das Schweißgut besteht.

Wenn eine Badsicherung verwendet wird, muss die Verbindung so gestaltet werden, dass eine vollständige Verschmelzung der zu verbindenden Teile sichergestellt ist.

Wenn es die Fertigungsfolge erlaubt, sollten die Heftschweißungen, mit denen die Badsicherung befestigt wird, so angeordnet werden, dass sie vollständig von der Schweißung aufgeschmolzen wird (siehe Abschnitt 14 der EN 1011-1:1998).

8.2 Kehlnähte

Wenn es nicht anderweitig festgelegt ist, müssen die Kanten und Oberflächen, die durch Kehlnähte verbunden werden, einen möglichst kleinen Abstand haben, da jeder Spalt die Rissgefahr vergrößern kann. Wenn es nicht anderweitig festgelegt ist, darf der Spalt nicht größer sein als 3 mm. Zu beachten ist, dass die Kehlnahtdicke zu vergrößern ist, um einen großen Spalt auszugleichen.

Wenn es nicht anderweitig festgelegt ist, sollte das Schweißen nicht nahe den Kanten unterbrochen, sondern die Kanten sollten umschweißt werden.

9 Loch- oder Schlitznähte

Wegen der Rissgefahr sollten Löcher oder Schlitze nicht mit Schweißgut aufgefüllt werden, es sei denn, dass es durch Konstruktionsfestlegungen gefordert wird. Wenn gefordert wird, dass Löcher oder Schlitze mit Schweißgut aufzufüllen sind, dürfen sie erst vollgeschweißt werden, wenn die erste Raupe als zulässig befunden wurde (siehe auch B.4).

10 Vorbereitung der Stoßflächen

10.1 Allgemeines

Größere Kerben und andere Fehler in der Stoßgeometrie, die auftreten könnten, müssen durch aufgetragenes Schweißgut entsprechend einem anerkannten Schweißverfahren ausgebessert werden. Anschließend müssen sie an ihrer Grenzfläche glatt und eben geschliffen werden, um eine einwandfreie Oberfläche zu erzielen.

Vorher aufgebrachte Fertigungsanstriche (Shop primers) dürfen an den Stoßflächen belassen werden, wenn nachgewiesen wurde, dass die Schweißung dadurch nicht ungünstig beeinflusst wird.

10.2 Fugenflächen

Wenn die Vorbereitung durch Scherschneiden erfolgt, sollte der Aufhärtungseffekt beachtet werden. Es müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um sicherzustellen, dass keine Risse an den Kanten auftreten.

U-, DU- und HU-Nahtvorbereitungen werden üblicherweise maschinell hergestellt. Bei der Festlegung der Vorbereitungsverfahren und der Stoßart sollten die Anforderungen des ausgewählten Schweißprozesses beachtet werden.

10.3 Nicht geschweißte Flächen

Wenn eine geschnittene Kante keine Fugenfläche ist, darf der Versprödungseffekt, verursacht durch Scherschneiden, thermisches Schneiden oder Fugen, das Bauteil nicht ungünstig beeinflussen.

Örtliche Aufhärtungen können durch geeignete Wärmebehandlungen vermindert oder durch mechanische Bearbeitung entfernt werden. Das Abarbeiten von 1 mm bis 2 mm von einer geschnittenen Fläche beseitigt normalerweise die Härtezone. Beim thermischen Schneiden können örtliche Aufhärtungen durch eine Verringerung der üblichen Schnittgeschwindigkeit oder durch Vorwärmen vor dem Schneiden verringert werden. Der Stahllieferant sollte, falls notwendig, eingeschaltet werden, um Empfehlungen zur Härteverringern zu geben.

U- und HU-Nahtvorbereitungen helfen, im Vergleich zu V- und angeschrägter Nahtvorbereitung den Verzug zu verringern, da eine geringere Menge Schweißgut erforderlich ist. Gleichmaßen sind beidseitige Vorbereitungen besser als einseitige, da das Schweißgut in wechselseitigen Raupen auf jeder Seite des Schweißstoßes eingebracht werden kann. Zur Verringerung des Verzuges sind die Genauigkeit der Vorbereitung und der Zusammenstellung der Teile als genauso wichtig wie die sorgfältige Planung und Überwachung des Schweißverfahrens anzusehen.

11 Ausrichten von Stumpfstoßen vor dem Schweißen

Wenn es nicht anderweitig (z. B. in einer Schweißanweisung oder durch eine Anwendungsnorm) festgelegt ist, darf der Versatz der Stegkanten oder Stegflanken eines Stumpfstoßes nicht mehr als 25 % von der Dicke des dünneren Teils bei Werkstoffdicken bis einschließlich 12 mm oder nicht mehr als 3 mm bei Werkstoffdicken über 12 mm abweichen.

Bei bestimmten Anwendungen und Schweißprozessen können engere Toleranzen notwendig sein.

ANMERKUNG Für die Anwendung der Richtlinie 97/23/EWG, ist unter einer Anwendungsnorm eine entsprechende Produktnorm zu verstehen.

12 Vorwärmen

Die Temperaturmesspunkte müssen mit EN ISO 13916 übereinstimmen, außer dass bei allen Dicken der Abstand der Messpunkte von der Nahtmittellinie mindestens 75 mm betragen muss.

Besonders bei Schweißungen mit geringer Wärmeeinbringung, z. B. Heftnähten, ist eine Vorwärmung notwendig.

13 Heftschweißungen

Es wird empfohlen, dass die Mindestlänge von Heftschweißungen 50 mm betragen sollte, bei Werkstückdicken unter 12 mm muss die Mindestlänge jedoch die vierfache Dicke des dickeren Teils aufweisen. Bei Werkstückdicken über 50 mm oder bei Streckgrenzen über 500 N/mm² sollte eine Vergrößerung der Länge und Dicke von Heftnähten in Betracht gezogen werden, dies kann auch eine Zweilagenschweißung beinhalten. Zu beachten ist auch der Einsatz von Schweißzusätzen mit niedrigerer Festigkeit und/oder größerer Verformungsfähigkeit beim Schweißen höher legierter Stähle.

14 Zeitweilige Transport- und Aufbauhilfen

Wenn ein thermischer Schneidprozess eingesetzt wurde, um nach dem Schweißen die Transport- und Aufbauhilfen sowie die Anlauf-/Ablaufstücke zu entfernen, müssen von diesen so große Reststücke belassen werden, dass ein nachfolgendes Entfernen des wärmebeeinflussten Werkstoffs durch sorgfältiges Schleifen möglich ist.

15 Wärmeeinbringen

Das Wärmeeinbringen wird aus der Schweißgeschwindigkeit berechnet (siehe Abschnitt 19 der EN 1011-1:1998). Bei der Pendelung beim Lichtbogenhandschweißen sollte die Pendelbreite auf den dreifachen Kernstabdurchmesser beschränkt werden.

Bei Mehrdrahtschweißungen ist das Wärmeeinbringen als Summe der Ergebnisse für jeden Einzeldraht unter Verwendung der jeweiligen einzelnen Strom- und Spannungsparameter zu berechnen.

16 Schweißanweisung

Die Schweißanweisung muss mit EN 288-2 übereinstimmen und muss Folgendes enthalten:

- a) Werkstatt- oder Baustellenschweißung;
- b) größte kombinierte Dicke, wenn Anhang C.2 angewendet wird; Blechdicke, wenn Anhang C.3 angewendet wird;
- c) Wärmeeinbringen (siehe Abschnitt 15);
- d) Wasserstoffwert (siehe C.2.3 und C.3.2);
- e) Heftschweißungen (siehe Abschnitt 13).

17 Kennzeichnung

Wenn Stempeln mit Schlagzahlen durch den Vertrag gefordert wird, müssen Hinweise auf die Stellen und Größen gegeben werden. Für Eindrücke, die zum Kennzeichnen von Durchstrahlungsprüfungen angewendet werden, gelten die gleichen Bedingungen.

18 Qualitätsprüfung und Prüfung

Wegen der Gefahr verzögerter Rissbildung ist allgemein ein Zeitraum von 16 h zwischen Schweißende und der endgültigen Qualitätsprüfung zu fordern. Diese Mindestzeit kann für dünne Werkstücke mit einer Streckgrenze unter 500 N/mm² verkürzt und für Werkstücke mit Dicken über 50 mm oder für solche mit einer Streckgrenze über 500 N/mm² verlängert werden. Der in Betracht kommende Zeitraum muss im Prüfbericht aufgeführt werden.

Bei Schweißungen, die zur Verminderung des Wasserstoffgehaltes wärmebehandelt oder spannungsarm gegläut wurden, wird nach der Wärmebehandlung und vor der Durchführung der endgültigen Qualitätsüberprüfung keine zusätzliche Zeit benötigt.

Wenn Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) oder andere Wiederaufschmelzprozesse zur Nahtnachbehandlung gefordert werden, sind diese vor der endgültigen Qualitätsprüfung durchzuführen.

Schweißungen, deren Qualität zu überprüfen und anzuerkennen ist, dürfen nicht farbbeschichtet oder anderweitig behandelt werden, bevor sie abgenommen worden sind.

19 Ausbessern von mangelhaften Schweißungen

Alle Schweißungen, die nicht mit den Konstruktionsfestlegungen übereinstimmen, müssen ausgebessert werden.

ANMERKUNG Bruchmechanische oder andere Beurteilungsverfahren können verwendet werden, um festzustellen, ob eine mangelhafte Schweißung notwendigerweise auszubessern ist.

20 Korrektur des Verzuges

Die Temperatur zu erwärmender Bereiche, die durch geeignete Verfahren zu messen ist, sollte mit den Empfehlungen des Werkstofflieferanten oder den Konstruktionsfestlegungen übereinstimmen.

21 Wärmenachbehandlung

Wenn Wärmenachbehandlungen von Schweißungen gefordert werden, aber keine Anwendungsnorm vorhanden ist, müssen die Einzelheiten über die Wärmebehandlung in den Konstruktionsfestlegungen festgelegt werden, dabei sind die Einwirkungen auf die Eigenschaften des Grundwerkstoffes, der *WEZ* und des Schweißgutes zu beachten.

Anhang A (informativ)

Mögliche ungünstige Ergebnisse durch Schweißen an Stählen, die nicht in den anderen Anhängen enthalten sind

Mögliche ungünstige Ergebnisse verursacht durch Schweißen	Ursachen	Gegenmaßnahmen
Risse beim Spannungsarmglühen	Karbid- oder Nitridausscheidungen können während des Spannungsarmglühens auftreten, wenn das Spannungsarmglühen und/oder die Stahlzusammensetzung ungünstig sind. Dies kann die Verformbarkeit des Stahls soweit herabsetzen, dass der Spannungsabbau nicht nur zu plastischen Verformungen, sondern auch zu Rissbildungen führt.	Verringerung der Spannungskonzentration durch Schleifen der Raupenübergänge. Vermindern des Grobkornanteils in der <i>WEZ</i> durch richtige Folge der Schweißraupen. Einsatz eines optimalen Verfahrens zur Wärmebehandlung.
Korrosion a) allgemeiner Angriff	Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung, Korngröße und Spannungshöhe zwischen dem Schweißgut und dem Grundwerkstoff können zu unterschiedlichen Korrosionsraten führen. In den meisten Fällen werden das Schweißgut und die Wärmeeinflusszone vorzugsweise angegriffen.	Vermeiden von großen Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung von Blech und Schweißgut.
b) Spannungsriisskorrosion	Verursacht durch eine kritische Kombination von Spannung, Mikrostruktur und Umgebung.	Vermeiden von Spannungskonzentrationen. Vermindern der Schweißspannungen. Verminderung der Härte.

Anhang B (informativ)

Leitfaden für die konstruktive Gestaltung von Schweißstößen (wenn keine Anwendungsnorm besteht)

B.1 Allgemeines

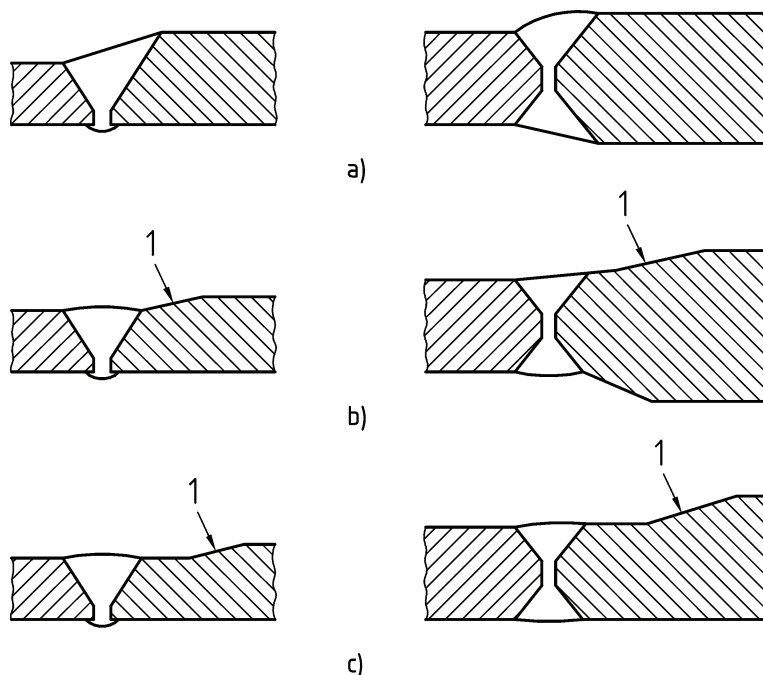
Dieser Anhang kann verwendet werden, wenn kein Leitfaden in einer Anwendungsnorm vorhanden ist. Weitere Informationen werden in anderen Normen, z. B. EN 1708-1:1999 und EN 1708-2, gegeben.

Ein besonderer Konstruktionsleitfaden zur Vermeidung von Terrassenbrüchen ist in Anhang F wiedergegeben.

B.2 Stumpfstöße

Stumpfstöße zwischen Teilen mit ungleichen Querschnitten, die in einer Richtung angeordnet sind, verursachen eine örtliche Spannungserhöhung, die sich zusätzlich zur Spannungskonzentration auswirkt, die durch das Profil der Schweißung bedingt ist. Wenn die Mittelebenen der beiden zu verbindenden Teile nicht deckungsgleich sind, werden örtliche Biegungen am Stoß verursacht. Wenn die Spannungen, die durch diesen Effekt erzeugt werden, nicht zulässig sind, sollten die Teile vor dem Schweißen mit einer Neigung nicht größer als 1 : 4 angeglichen werden, um die Spannungen zu vermindern. Beispiele von unbearbeiteten und angeglichenen Teilen zeigt Bild B.1, wobei a) und b) die üblicheren Arten und c) eine Sonderausführung zur leichteren Durchführung der zerstörungsfreien Prüfung darstellen.

Eine nicht durchgeschweißte Naht, die nur einseitig geschweißt wurde, sollte keinem Biegemoment über die Längsachse der Naht unterworfen werden. Die Nahtwurzel würde unter Zug gesetzt werden. Deshalb sollte sie vermieden und nur angewendet werden, wenn sie durch die Konstruktion erlaubt ist. Unter diesen Umständen kann sie durch eine Anwendungsnorm oder einen Vertrag zugelassen werden.



1 Neigung ungefähr 1:4

a) Neigung in der Schweißung

b) Neigung im dickeren Blech

c) Sonderausführung zur leichteren Durchführung von zerstörungsfreien Prüfungen

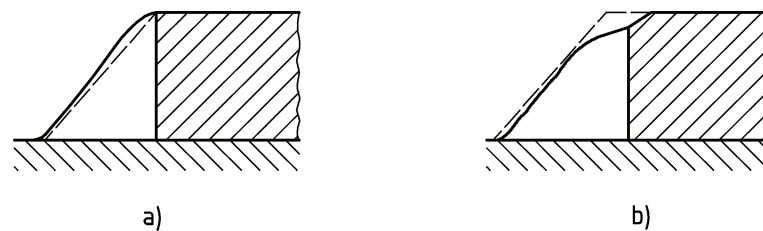
Bild B.1 – Stumpfnähte an ungleichen Querschnitten

B.3 Kehlnähte

Als wirksame Länge einer offen endenden Kehlnaht sollte die Gesamtlänge abzüglich einer zweimaligen Schenkellänge angenommen werden. In jedem Fall sollte die wirksame Länge nicht kleiner als 25 mm oder die vierfache Schenkellänge sein, wobei der größere Wert gilt.

Bei Kehlnahtverbindungen, die einer Druckbelastung ausgesetzt sind, sollte nicht davon ausgegangen werden, dass sich die zu verbindenden Teile im Stoß berühren. Bei kritischen Anwendungen sollte der Einsatz von teilweise oder sogar ganz durchgeschweißten Nähten in Betracht gezogen werden.

Ist die Schenkellänge einer Kehlnaht an der Kante eines Bleches oder Teils so festgelegt, dass der Grundwerkstoff nicht über die Schweißnaht herausragt, so ist es unzulässig, die äußere Kante oder äußere Kanten anzuschmelzen und dadurch die Kehlnahtdicke zu vermindern (siehe Bild B.2).



- a) erwünscht
b) nicht zulässig, wegen verminderter Nahtdicke

Bild B.2 – Kehlnähte bezogen auf die Kante eines Teils

Eine einzelne Kehlnaht sollte keinem Biegemoment über die Längsachse des Stoßes unterworfen werden, da dadurch die Nahtwurzel durch Zug beansprucht werden kann.

Wenn die Fugenflanken der durch Kehlnähte zu verbindenden Teile einen Winkel von mehr als 120° oder weniger als 60° bilden, sollten sie nicht zum Übertragen der berechneten Kräfte bei voller Einsatzbeanspruchung herangezogen werden, es sei denn, dass es nach der Anwendungsnorm zulässig ist.

Die Sollnahtdicke einer Flach- oder Wölbnaht kann, wenn die Fugenflanken der zu verbindenden Teile einen Winkel zwischen 60° und 120° bilden, durch Multiplikation der Schenkellänge mit dem entsprechenden Faktor, der in Tabelle B.1 aufgeführt ist, bestimmt werden.

Tabelle B.1 – Faktoren zur Bestimmung der Sollnahtdicke von Flach- und Wölbnahten aufgrund des Flankenöffnungswinkels

Flankenöffnungswinkel (Grad)	Faktor
60 bis 90	0,7
91 bis 100	0,65
101 bis 106	0,60
107 bis 113	0,55
114 bis 120	0,50

Beanspruchungen während der Fertigung, des Transportes und des Aufbaus sollten besonders bei solchen Kehlnähten beachtet werden, die konstruiert wurden, um geringe Kräfte im späteren Einsatz zu übernehmen.

B.4 Löcher und Schlitz

Um eine ausreichende Zugänglichkeit zum Schweißen zu ermöglichen, sollten der Lochdurchmesser oder die Schlitzbreite nicht kleiner als dreimal die Werkstückdicke oder 25 mm sein, wobei der größere Wert gilt. Die Enden von Schlitz sollten mit einem Radius nicht kleiner als 1,5-mal die Werkstückdicke oder 12 mm gerundet sein, wobei der größere Wert gilt. Der Abstand zwischen den Kanten des Teils und den Kanten der Löcher oder Schlitz sowie zwischen benachbarten Löchern und Schlitz sollte nicht kleiner als zweimal die Werkstückdicke und nicht kleiner als 25 mm für Löcher sein (siehe auch Abschnitt 9).

Anhang C (informativ)

Vermeiden von Wasserstoffrissen (bekannt auch als Kaltrisse)

C.1 Allgemeines

Dieser Anhang gibt Empfehlungen für das Vermeiden von Wasserstoffrissen.

Bei der Erstellung dieses Anhangs wurde die Tatsache berücksichtigt, dass mehrere Methoden vorgeschlagen worden sind, um die Vorwärmtemperatur zu bestimmen, damit Wasserstoffrisse in Schweißkonstruktionen aus unlegiertem Stahl, Feinkornbaustahl und niedriglegiertem Stahl vermieden werden. Beispiele befinden sich in den IIW-Dokumenten IX-1602-90 und IX-1631-91. Zwei Methoden sind in diesem Anhang als C.2 und C.3 enthalten. Methode A, enthalten in C.2, basiert auf umfassenden Erfahrungen und Daten, die hauptsächlich, aber nicht ausschließlich, für Kohlenstoff-Manganstähle gelten. Methode B, enthalten in C.3, basiert auf Erfahrungen und Daten, die hauptsächlich, aber nicht ausschließlich, für niedriglegierte hochfeste Stähle gelten. Die Unterschiede in Entstehung und Erfahrung, die bei der Entwicklung der beiden Methoden bestanden, können als Richtlinie für deren Anwendung verwendet werden.

Die in C.4 beschriebene Methode sollte für warmfeste Stähle und Tieftemperaturstähle benutzt werden.

Diese Empfehlungen gelten nur für die normale Fertigung unter üblichen Eigenspannungen. Bei höheren Eigenspannungen können höhere Vorwärmtemperaturen oder andere Vorsichtsmaßnahmen notwendig werden, um Wasserstoffrisse zu vermeiden.

Die Abschnitte C.2 und C.3 beziehen sich auf das Schweißen von Grundwerkstoffen im Temperaturbereich oberhalb 0 °C. Bei Schweißungen, die unterhalb dieser Temperatur ausgeführt werden, können besondere Anforderungen notwendig sein.

Anderweitige, von diesem Anhang abweichende Verfahren, z. B. niedrigere Vorwärmtemperaturen, können verwendet werden, wenn sie durch Nachweise ihrer Wirksamkeit belegt sind. Der Nachweis sollte alle Einflüsse einbeziehen, die auch für die in diesem Anhang ausgewiesenen Schweißverfahren berücksichtigt werden.

C.2 Methode A zum Vermeiden von Wasserstoffrissen in unlegierten Stählen, Feinkornbaustählen und niedriglegierten Stählen

C.2.1 Grundwerkstoff

Der Abschnitt C.2 gilt für unlegierte Stähle, Feinkornbaustähle und niedriglegierte Stähle.

Die Grenzen der chemischen Zusammensetzung in Gewichtsprozenten für die Hauptlegierungselemente sind:

- Kohlenstoff 0,05 bis 0,25
- Silicium max. 0,8
- Mangan max. 1,7
- Chrom max. 0,9
- Kupfer max. 1,0
- Nickel max. 2,5
- Molybdan max. 0,75
- Vanadium max. 0,20

Die sichere, jedoch wirtschaftliche, Bestimmung der Höhe der Vorwärmtemperatur zur Vermeidung von Wasserstoffrissen hängt entscheidend von der genauen Kenntnis der Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Kohlenstoffäquivalentes, CE , sowie der Zusammensetzung des Schweißgutes ab (siehe C.2.9).

Die Werte des CE für den Grundwerkstoff werden mit folgender Formel berechnet:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \text{ in } \% \quad (C.1)$$

Abschnitt C.2 gilt für Stähle mit einem CE in den Grenzen von 0,30 bis 0,70.

Falls von den Elementen in der Formel (C.1) nur Kohlenstoff und Mangan in den gewalzten Blechen aus Kohlenstoff- und Kohlenstoff-Mangan-Stählen ermittelt wurden, sollte 0,03 zu den berechneten Werten addiert werden, um den Zusatz von Restelementen zu erfassen. Sind Stähle mit unterschiedlichen Kohlenstoffäquivalenten oder Sorten zu verbinden, sollte der höhere Wert des Kohlenstoffäquivalentes verwendet werden.

Diese Formel für das Kohlenstoffäquivalent kann für borhaltige Stähle ungeeignet sein.

C.2.2 Einflüsse für das Entstehen von Rissen

Das Auftreten von Wasserstoffrissen hängt von mehreren Einflüssen ab: Zusammensetzung des Stahls, Schweißverfahren, Schweißzusätze und vorliegende Spannungsbeanspruchungen. Wenn die mit dem Schweißen verbundene Zeit $t_{8/5}$ (Abkühlzeit von 800 °C auf 500 °C) zu kurz ist, können in der Wärmeeinflusszone übermäßige Aufhärtungen auftreten. Wenn der Wasserstoffgehalt in der Schweißung oberhalb eines kritischen Wertes liegt, können unter dem Einfluss innerer Spannungen in der Aufhärtungszone spontane Risse auftreten, nachdem die Schweißung auf etwa Raumtemperatur abgekühlt ist. Risse können vermieden werden, wenn die Schweißbedingungen so ausgewählt werden, dass eine genügend langsame Abkühlung in der Wärmeeinflusszone sichergestellt ist, und zwar durch Überwachen der Dicke der Schweißraupen im Verhältnis zur Werkstoffdicke, und, falls erforderlich, durch Vorwärmen und Kontrolle der Zwischenlagentemperatur. Die Verfahren zur Vermeidung von Wasserstoffrissen sowie die Einbeziehung ausgewählter Abkühlzeiten im Bereich der Umwandlungstemperatur, um Aufhärtungen und empfindliche Mikrostrukturen zu vermeiden, können eine kontrollierte Abkühlung auf Temperaturen im unteren Bereich des typischen Temperaturzyklus von 300 °C bis 100 °C beinhalten. Dabei wird die Diffusion von Wasserstoff aus der Schweißverbindung vorteilhaft beeinflusst. Besonders kann dies durch eine Nacherwärmung nach der Fertigstellung der Schweißung, üblicherweise durch die Aufrechterhaltung der Vorwärmtemperatur erreicht werden.

Der Wasserstoffgehalt in der Schweißung kann durch den Einsatz von wasserstoffkontrollierten Schweißprozessen und Schweißzusätzen sowie bis zu einem gewissen Grade, wie vorher beschrieben, auch durch Nacherwärmung beeinflusst werden.

Eine ähnliche Bedeutung ist den Wasserstoffrissen im Schweißgut zu widmen, obgleich die Aufhärtung einen niedrigeren Wert aufweist. Der wirkliche Wasserstoffgehalt und die Beanspruchungshöhe sind wahrscheinlich höher als in der Wärmeeinflusszone. Im Allgemeinen werden durch die Schweißbedingungen, die zum Vermeiden von Wasserstoffrissen in der Wärmeeinflusszone ausgewählt wurden, auch Risse im Schweißgut vermieden. Unter gewissen Bedingungen können jedoch Wasserstoffrisse im Schweißgut zum entscheidenden Mechanismus werden, und zwar bei starker Schrumpfbehinderung, Stählen mit niedrigem CE -Wert, dicken Querschnitten oder legiertem Schweißgut.

Die wirkungsvollste Maßnahme gegen Wasserstoffrisse ist die Verminderung der Wasserstoffaufnahme in das Schweißgut aus dem Schweißzusatz. Der Vorteil, den die wachsende Anzahl von Möglichkeiten bietet, bei denen keine Vorwärmtemperatur von >20 °C erforderlich ist, kann, wie die Beispiele in Tabelle C.1 zeigen, durch den zunehmenden Einsatz von Zusatzwerkstoffen mit niedrigerem Wasserstoffgehalt erreicht werden.

Tabelle C.1 – Beispiele größter kombinierter Dicke (siehe C.2.4), die ohne Vorwärmung schweißbar sind

Gehalt an diffusiblem Wasserstoff ^a ml/100 g abgeschmolzenes Schweißgut	Größte kombinierte Dicke			
	CE von 0,49		CE von 0,43	
	Wärmeeinbringen		Wärmeeinbringen	
	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm
	mm	mm	mm	mm
> 15	25	50	40	80
$10 \leq 15$	30	55	50	90
$5 \leq 10$	35	65	60	100
$3 \leq 5$	50	100	100	100
≤ 3	60	100	100	100
^a Gemessen nach ISO 3690				

Die Schweißbedingungen zur Verhinderung von Wasserstoffrissen in Kohlenstoff-Mangan-Stählen sind für die normalen Grenzen ihrer Zusammensetzung in Bild C.2 graphisch wiedergegeben. Sie sind entsprechend dieser Norm als Kohlenstoffäquivalent ausgedrückt. Diese Bedingungen sollten, wenn möglich, für alle Stoßarten befolgt werden.

Die Bedingungen sind unter Berücksichtigung der Unterschiede im Verhalten von verschiedenen Stählen mit gleichem Kohlenstoffäquivalent (unter Berücksichtigung von Streuungen in der Härte) und der normalen Abweichungen zwischen Schmelzen- und Produktanalyse dargestellt worden. Sie erlauben für die Mehrzahl der schweißtechnischen Möglichkeiten, Risse sowohl in der Wärmeeinflusszone als auch im Schweißgut zu verhindern (siehe auch C.2.9).

C.2.3 Wasserstoffgehalt von Schweißzusätzen

C.2.3.1 Allgemeines

Der Hersteller des Schweißteils sollte nachweisen können, dass die Schweißzusätze so angewendet wurden, wie es vom Hersteller der Schweißzusätze empfohlen wurde und dass sie bei geeigneten Temperaturen und Zeiten gelagert, getrocknet und rückgetrocknet wurden.

C.2.3.2 Wasserstoffwerte

Der für jeden Lichtbogen-Schweißprozess zu verwendende Wasserstoffwert hängt hauptsächlich von der Menge des diffusiblen Wasserstoffes ab und sollte der Tabelle C.2 entsprechen. Der angewendete Wert sollte zusammen mit einer festgelegten Lieferbedingung und Behandlung vom Hersteller der Schweißzusätze in Übereinstimmung mit der entsprechenden Norm, wenn eine solche besteht, angegeben werden (oder unabhängig bestimmt werden).

Tabelle C.2 – Wasserstoffwerte

Menge diffusiblen Wasserstoffs ml/100 g abgeschmolzenes Schweißgut	Wasserstoffwert
> 15	A
$10 \leq 15$	B
$5 \leq 10$	C
$3 \leq 5$	D
≤ 3	E

C.2.3.3 Auswahl der Wasserstoffwerte

Nachfolgend wird ein allgemeiner Leitfaden zur Auswahl des geeigneten Wasserstoffwertes für verschiedene Schweißprozesse gegeben.

Für das Lichtbogenhandschweißen mit basischumhüllten Stabelektroden können die Werte B bis D angewendet werden. Sie sind abhängig von der Einteilung der Schweißzusätze durch den Stabelektrodenhersteller. Für das Lichtbogenhandschweißen mit rutil- oder zelluloseumhüllten Elektroden sollte der Wert A angewendet werden.

Für pulver- oder metallgefüllte Drahtelektroden können die Werte B bis D in Abhängigkeit von der Drahteinteilung des Herstellers angewendet werden. Die Draht-Pulver-Kombinationen beim Unterpulverschweißen können einen Wasserstoffgehalt mit den Werten B bis D haben, jedoch ist der Wert C am typischsten, weshalb eine Prüfung jeder genannten Erzeugniskombination und Bedingung notwendig ist. Die Pulver für das Unterpulverschweißen können durch den Hersteller klassifiziert werden, dies bedeutet jedoch nicht, dass für eine wirklich eingesetzte Draht-Pulver-Kombination die gleiche Einteilung gilt.

Für die Massivdrähte zum Schutzgasschweißen und für die Stäbe zum WIG-Schweißen kann der Wert D angewendet werden, es sei denn, dass durch besondere Prüfungen und Nachweise der Wert E festgestellt wird. Der Wert E kann für einige Fülldrähte und für einige basischumhüllte Elektroden nach einer besonderen Prüfung ermittelt werden. Um derartig niedrige Gehalte an Wasserstoff zu erreichen, ist der Zutritt von Wasserstoff aus der Schutzgaszusammensetzung und der atmosphärischen Feuchtigkeit beim Schweißen zu beachten.

Für das Plasmaschweißen sind besondere Prüfungen durchzuführen.