

## DIN EN 1011-7



ICS 25.160.10

**Schweißen –  
Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe –  
Teil 7: Elektronenstrahlschweißen;  
Deutsche Fassung EN 1011-7:2004**

Welding –  
Recommendations for welding of metallic materials –  
Part 7: Electron beam welding;  
German version EN 1011-7:2004

Soudage –  
Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques –  
Partie 7: Soudage par faisceau d'électrons;  
Version allemande EN 1011-7:2004

Gesamtumfang 40 Seiten

Normenausschuss Schweißtechnik (NAS) im DIN

**Die Europäische Norm EN 1011-7:2004 hat den Status einer Deutschen Norm.**

## **Nationales Vorwort**

Die vorliegende Europäische Norm wurde vom CEN/TC 121/SC 4 „Qualitätsmanagement für das Schweißen“ erarbeitet. Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Gemeinschaftsausschuss DIN/DVS AA 15.1/AG V 9.1 „Elektronenstrahlschweißen“.

Die im Abschnitt 2 und im Literaturverzeichnis genannten Europäischen bzw. Internationalen Normen sind mit gleichem Inhalt als DIN-EN-Normen bzw. DIN-EN-ISO-Normen (außer für CR ISO 15680 wurde DIN V 1738 herausgegeben) veröffentlicht.

Für die genannte Internationale Norm ISO 1190-1 existiert keine entsprechende Deutsche Norm.

## **Nationaler Anhang NA** (informativ)

### **Literaturhinweise**

DIN V 1738, *Schweißen — Richtlinien für eine Gruppeneinteilung von metallischen Werkstoffen (ISO/TR 15608:2000); Deutsche Fassung CR ISO 15608:2000*

Deutsche Fassung

## Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe — Teil 7: Elektronenstrahlschweißen

Welding — Recommendations for welding of metallic  
materials — Part 7: Electron beam welding

Soudage — Recommandations pour le soudage des  
matériaux métalliques — Partie 7 : Soudage par faisceau  
d'électrons

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. April 2004 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 Management-Zentrum 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 Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                              | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort.....                                                                                                 | 5     |
| Einleitung .....                                                                                             | 6     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                    | 7     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                               | 7     |
| 3 Begriffe .....                                                                                             | 8     |
| 4 Qualitätsanforderungen .....                                                                               | 12    |
| 5 Lagerung und Handhabung von Grundwerkstoffen und Schweißzusätzen .....                                     | 12    |
| 6 Schweißeinrichtungen .....                                                                                 | 12    |
| 7 Qualifikation von Schweißpersonal .....                                                                    | 13    |
| 8 Schweißanweisung .....                                                                                     | 13    |
| 9 Schweißverfahrensprüfung.....                                                                              | 14    |
| 10 Nahtvorbereitung .....                                                                                    | 14    |
| 10.1 Maschinelles Bearbeiten .....                                                                           | 14    |
| 10.2 Entmagnetisieren .....                                                                                  | 15    |
| 10.3 Reinigen .....                                                                                          | 15    |
| 10.4 Montage.....                                                                                            | 15    |
| 11 Nahtvorbereitung .....                                                                                    | 15    |
| 11.1 Längsnähte .....                                                                                        | 15    |
| 11.2 Rundnähte.....                                                                                          | 17    |
| 12 Entlüftungsbohrungen .....                                                                                | 17    |
| 13 Heftschweißungen, Kosmetiklagen.....                                                                      | 18    |
| 14 Thermische Vor- und Nachbehandlung.....                                                                   | 18    |
| 15 Dokumentation .....                                                                                       | 18    |
| Anhang A (informativ) Informationen über die Schweißeignung metallischer Werkstoffe .....                    | 19    |
| A.1 Allgemeines .....                                                                                        | 19    |
| A.2 Stähle und Eisenlegierungen.....                                                                         | 19    |
| A.2.1 Allgemeines .....                                                                                      | 19    |
| A.2.2 C-Mn-Stähle und Baustähle .....                                                                        | 19    |
| A.2.3 Vergütungsstähle .....                                                                                 | 19    |
| A.2.4 Nicht rostende Stähle .....                                                                            | 20    |
| A.2.5 Gusseisen .....                                                                                        | 20    |
| A.2.6 Weicheisen.....                                                                                        | 20    |
| A.3 Nickel und Nickellegierungen .....                                                                       | 20    |
| A.4 Aluminium und Magnesiumlegierungen.....                                                                  | 20    |
| A.5 Kupfer und seine Legierungen .....                                                                       | 21    |
| A.6 Sondermetalle (feuerfeste und reaktive Werkstoffe).....                                                  | 21    |
| A.7 Unterschiedliche Metalle .....                                                                           | 21    |
| A.8 Nichtmetalle .....                                                                                       | 21    |
| Anhang B (informativ) Informationen über Ursachen von Schweißnahtunregelmäßigkeiten und Gegenmaßnahmen ..... | 23    |

|                                                                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Anhang C (informativ) Zusammenfassung der Elektronenstrahlschweißseignung von Metallen mit Bezug auf CR ISO 15608:2000 Gruppeneinteilung</b> | <b>25</b> |
| <b>C.1 Gruppeneinteilung für Stähle</b>                                                                                                         | <b>25</b> |
| <b>C.2 Gruppeneinteilung für Aluminium und Aluminiumlegierungen</b>                                                                             | <b>28</b> |
| <b>C.3 Gruppeneinteilung für Kupfer und Kupferlegierungen</b>                                                                                   | <b>28</b> |
| <b>C.4 Gruppeneinteilung für Nickel und Nickellegierungen</b>                                                                                   | <b>29</b> |
| <b>C.5 Gruppeneinteilung für Titan und Titanlegierungen</b>                                                                                     | <b>29</b> |
| <b>C.6 Gruppeneinteilung für Zirkonium und Zirkoniumlegierungen</b>                                                                             | <b>30</b> |
| <b>C.7 Gruppeneinteilung für Gusseisen</b>                                                                                                      | <b>30</b> |
| <b>Anhang D (informativ) Beispiele für das Vorbereiten von Rundnähten</b>                                                                       | <b>31</b> |
| <b>Literaturhinweise</b>                                                                                                                        | <b>38</b> |

## Bilder

|                                                                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bild 1 — Begriffe des Elektronenstrahlpendelns</b>                                                                                   | <b>8</b>  |
| <b>Bild 2 — Definition des Arbeits- und Fokusabstandes</b>                                                                              | <b>9</b>  |
| <b>Bild 3 — Definition von Begriffen für das Schweißen von Rundnähten</b>                                                               | <b>10</b> |
| <b>Bild 4 — Schweißen mit Zwischenlagenwerkstoff</b>                                                                                    | <b>11</b> |
| <b>Bild 5 — Schweißen unterschiedlicher Werkstoffe mit Übergangswerkstoff</b>                                                           | <b>12</b> |
| <b>Bild 6 — Beispiel zur Vorbereitung randschichtbehandelter Werkstücke</b>                                                             | <b>14</b> |
| <b>Bild 7 — Normale I-Naht</b>                                                                                                          | <b>16</b> |
| <b>Bild 8 — I-Naht mit Zentrierlippe oder integrierter Schweißbadsicherung</b>                                                          | <b>16</b> |
| <b>Bild 9 — I-Naht mit Schweißbadsicherung</b>                                                                                          | <b>16</b> |
| <b>Bild 10 — Werkstück mit An- und Auslaufstück zum Entfernen des Schweißnahtanfangs und -endes</b>                                     | <b>16</b> |
| <b>Bild 11 — Durch maschinelles Bearbeiten entstandene Hohlräume</b>                                                                    | <b>17</b> |
| <b>Bild 12 — Schweißung mit Zusatzbohrung für das Entlüften des Hohlraums</b>                                                           | <b>18</b> |
| <b>Bild A.1 — Heißrissempfindlichkeit in Abhängigkeit vom Legierungsgehalt im Aluminium</b>                                             | <b>22</b> |
| <b>Bild D.1 — Verschiedene Arten von Radialnähten mit Zentrierung</b>                                                                   | <b>31</b> |
| <b>Bild D.2 — Werkstück mit Radialnaht, zentriert mit Spannvorrichtung</b>                                                              | <b>32</b> |
| <b>Bild D.3 — Werkstücke mit ungünstiger und günstiger Lage der Radialnaht</b>                                                          | <b>32</b> |
| <b>Bild D.4 — Verschiedene Arten von Axialnähten</b>                                                                                    | <b>33</b> |
| <b>Bild D.5 — Beispiel einer Axialnaht mit einer den Festigkeitsanforderungen angepassten Schmelzzonentiefe (keine Durchschweißung)</b> | <b>33</b> |
| <b>Bild D.6 — Verbesserte Werkstückvorbereitung für Axialnähte mit reduzierter Belastungskonzentration</b>                              | <b>34</b> |
| <b>Bild D.7 — Vergrößerung der Spaltbreite beim Schweißen von Axialnähten mit Spielpassung</b>                                          | <b>34</b> |
| <b>Bild D.8 — Einfluss des Fertigungsverfahrens auf die Abmessungen von Getrieberädern</b>                                              | <b>35</b> |

|                                                                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bild D.9 — Beispiel eines Getrieberrades mit ungünstig angeordneter Axialnaht. Naht zu gering von der Bohrung entfernt.....</b>                                                     | <b>35</b> |
| <b>Bild D.10 — Im Vergleich zu Bild D.9 günstiger angeordnete Axialnaht durch größere Entfernung zur Bohrung und Anpassen der Wanddicke an die erforderliche Schweißnahtdicke.....</b> | <b>36</b> |
| <b>Bild D.11 — Im Vergleich zu Bild D.9 günstiger angeordnete Axialnaht durch Dehnfuge .....</b>                                                                                       | <b>36</b> |
| <b>Bild D.12 — Beispiel einer schwer zugänglichen Elektronenstrahlschweißnaht.....</b>                                                                                                 | <b>36</b> |
| <b>Bild D.13 — Verformungstendenzen von Axial- und Radialnähten .....</b>                                                                                                              | <b>37</b> |

## Tabellen

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabelle B.1 — Ursachen für Schweißnahtunregelmäßigkeiten und Vorbeugung.....</b> | <b>23</b> |
| <b>Tabelle C.1 — Gruppeneinteilung für Stähle.....</b>                              | <b>26</b> |
| <b>Tabelle C.2 — Gruppeneinteilung für Aluminium und Aluminiumlegierungen .....</b> | <b>28</b> |
| <b>Tabelle C.3 — Gruppeneinteilung für Kupfer und Kupferlegierungen.....</b>        | <b>28</b> |
| <b>Tabelle C.4 — Gruppeneinteilung für Nickel und Nickellegierungen .....</b>       | <b>29</b> |
| <b>Tabelle C.5 — Gruppeneinteilung für Titan und Titanlegierungen .....</b>         | <b>29</b> |
| <b>Tabelle C.6 — Gruppeneinteilung für Zirkonium und Zirkoniumlegierungen.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>Tabelle C.7 — Gruppeneinteilung für Gusseisen .....</b>                          | <b>30</b> |

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 1011-7:2004) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2005 zurückgezogen werden.

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

Diese Europäische Norm besteht aus den folgenden Teilen:

- *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*
- *Teil 5: Schweißen von plattierten Stählen*
- *Teil 6: Laserstrahlschweißen*
- *Teil 7: Elektronenstrahlschweißen*
- *Teil 8: Schweißen von Gusseisen*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## Einleitung

Dieses Dokument enthält besondere Empfehlungen für das Elektronenstrahlschweißen von metallischen Werkstoffen und ist im Zusammenhang mit den allgemeinen Empfehlungen für das Schweißen nach EN 1011-1 zu beachten. Sie enthält Einzelheiten über Qualitätsanforderungen, Fertigungseinrichtungen sowie über die Schweißseignung einiger Werkstoffe und gibt Hinweise für die Ausführung von Schweißarbeiten.

Die besonderen Eigenschaften des Elektronenstrahlschweißens sind die hohe Leistung bzw. Leistungsdichte im Strahlfokus sowie der daraus entstehende „Tiefschweißeffect“ und die hervorragende Steuerbarkeit des Prozesses.

Das Elektronenstrahlschweißen ist zu empfehlen, wenn bei geringer Wärmeeinbringung und minimalem Verzug metallische Werkstoffe, Kombinationen unterschiedlicher Metalle und Sondermetalle zu fügen sind. Es erlaubt hohe Schweißgeschwindigkeiten und Flexibilität bei der Konstruktion durch das Verbinden einfacher Komponenten. Mit dem Elektronenstrahl können sowohl kleine und große Wanddicken miteinander geschweißt werden. Das Verfahren eignet sich vorteilhaft für die Automatisierung und Qualitätssicherung.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument kann für das Elektronenstrahlschweißen (Prozess-Nr. 51 nach EN ISO 4063) schweißgeeigneter Werkstoffe nach CR ISO 15608 angewendet werden. Es enthält keine Angaben über zulässige Beanspruchungen an Schweißnähten oder über das Prüfen und Bewerten von Schweißnähten. Diese sind entweder den entsprechenden Anwendungsnormen zu entnehmen oder sind zwischen den Vertragsparteien gesondert zu vereinbaren.

Für das Anwenden dieses Dokumentes wird vorausgesetzt, dass die Empfehlungen von entsprechend geschultem und erfahrenem Personal berücksichtigt werden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

EN ISO 13919-1:1996, *Schweißen — Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen — Leitfaden für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten — Teil 1: Stahl (ISO 13919-1:1996)*

EN ISO 13919-2:2001, *Schweißen — Elektronen- und Laserstrahl-Schweißverbindungen — Richtlinie für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten — Teil 2: Aluminium und seine schweißgeeigneten Legierungen (ISO 13919-2:2001)*

EN ISO 14744-1:2000, *Schweißen — Abnahmeprüfung von Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 1: Grundlagen und Abnahmebedingungen (ISO 14744-1:2000)*

EN ISO 14744-2, *Schweißen — Abnahmeprüfung von Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 2: Messen der Beschleunigungsspannungs-Kenngrößen (ISO 14744-2:2000)*

EN ISO 14744-3, *Schweißen — Abnahmeprüfung Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 3: Messen der Strahlstrom-Kenngrößen (ISO 14744-3:2000)*

EN ISO 14744-4, *Schweißen — Abnahmeprüfung von Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 4: Messen der Schweißgeschwindigkeit (ISO 14744-4:2000)*

EN ISO 14744-5, *Schweißen — Abnahmeprüfung von Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 5: Messen der Führungsgenauigkeit (ISO 14744-5:2000)*

EN ISO 14744-6, *Schweißen — Abnahmeprüfung von Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 6: Messen der Flecklagekonstanz (ISO 14744-6:2000)*

EN ISO 15614-11:2002, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 11: Elektronen- und Laserstrahlschweißen (ISO 15614-11:2002)*

EN ISO 15609-3:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 3: Elektronenstrahlschweißen (ISO 15609-3:2004)*

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die in EN ISO 15609-3:2004, EN ISO 13919-1:1996, EN ISO 13919-2:2001, EN ISO 14744-1:2000, EN ISO 15614-11:2002 angegebenen und die folgenden Begriffe.

#### 3.1

##### **Beschleunigungsspannung**

elektrische Potentialdifferenz  $U_A$  zwischen Katode und Anode

#### 3.2

##### **Strahlstrom**

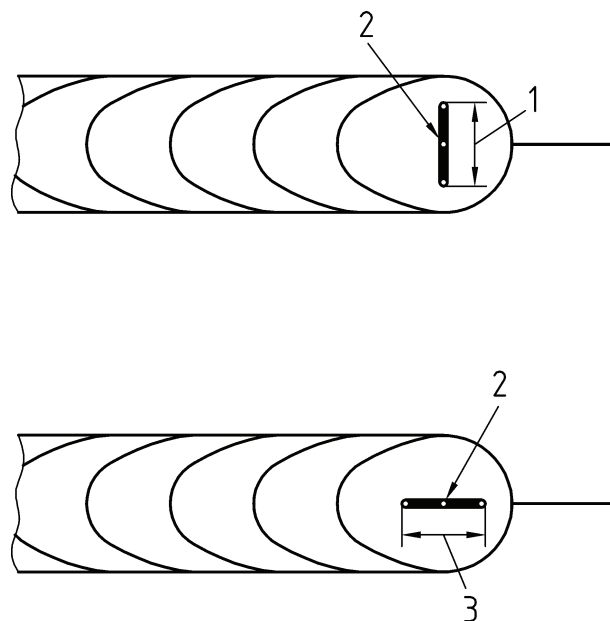
Wert  $I_B$  des elektrischen Stroms im Strahl

#### 3.3

##### **Strahlpendeln**

periodische Ablenkung des Elektronenstrahls von seiner Ausgangsposition gekennzeichnet durch Maße und Frequenz

ANMERKUNG Siehe Bild 1.



##### **Legende**

- 1 Pendelbreite
- 2 Ausgangsposition der Strahlachse
- 3 Pendellänge

**Bild 1 — Begriffe des Elektronenstrahlpendelns**

#### 3.4

##### **Kosmetiklage**

oberflächliches Wiederaufschmelzen der Schweißnaht zur Verbesserung des Aussehens (Glättungslage)

ANMERKUNG Diese Lage wird durch einen defokussierten oder pendelnden Strahl erzeugt.

#### 3.5

##### **Defokussieren**

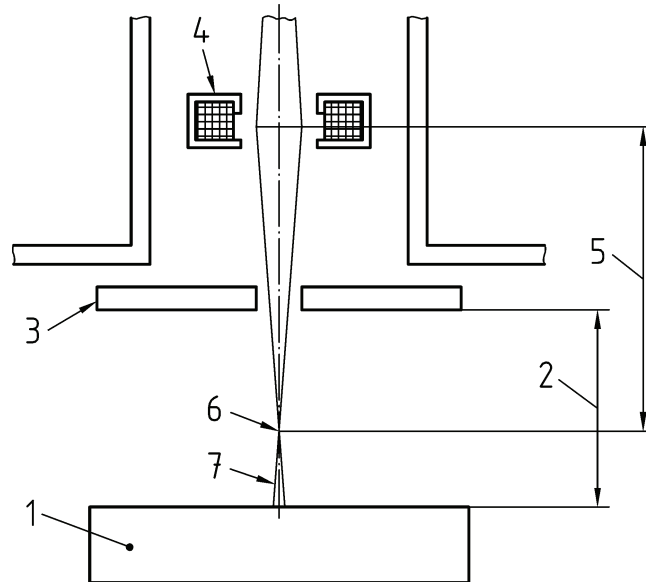
Abweichung von der normalen Fokusslage (z. B. Fokus auf der Werkstückoberfläche)

### 3.6

#### Fokusabstand

Abstand zwischen Fokuslinse und Strahlfokus

ANMERKUNG Siehe Bild 2.



#### Legende

- 1 Werkstück
- 2 Arbeitsabstand
- 3 Wärmeschutz
- 4 Fokuslinse
- 5 Fokusabstand
- 6 Strahlfokus
- 7 Strahlfleck

**Bild 2 — Definition des Arbeits- und Fokusabstandes**

### 3.7

#### Arbeitsabstand

Abstand zwischen der Oberfläche des Werkstückes und einer festgelegten Bezugsfläche der Einrichtung mit definiertem Abstand zur Linsenhauptebene

ANMERKUNG Siehe Bild 2.

### 3.8

#### Linsenstrom

Strom  $I_L$ , der zum Fokussieren des Elektronenstrahls durch die elektromagnetische Linse fließt

### 3.9

#### Slope down

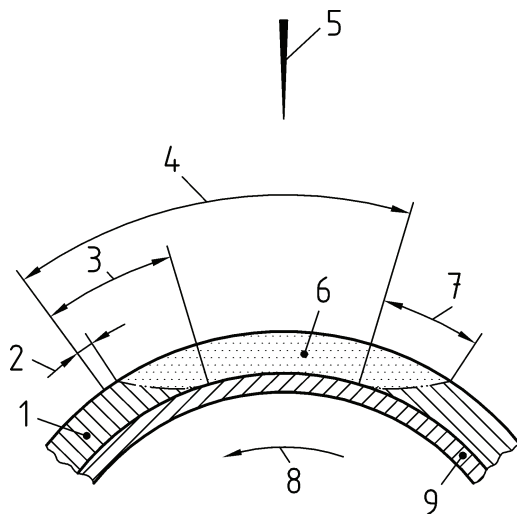
gesteuerte Verringerung der Strahlleistung am Schweißnahtende. Der Slope-down-Bereich ist der Werkstückbereich, in dem der Slope-down-Vorgang sich auswirkt

ANMERKUNG Siehe Bild 3. Der Slope-down-Bereich kann aus einem oder zwei Bereichen bestehen, abhängig von der gewählten Schweißausführung:

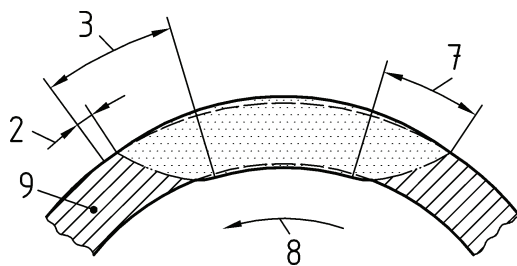
- a) bei unvollständigem Durchschweißen:
  - ein Bereich, in dem die Schmelzzonentiefe kontinuierlich abnimmt;

b) bei vollständigem Durchschweißen

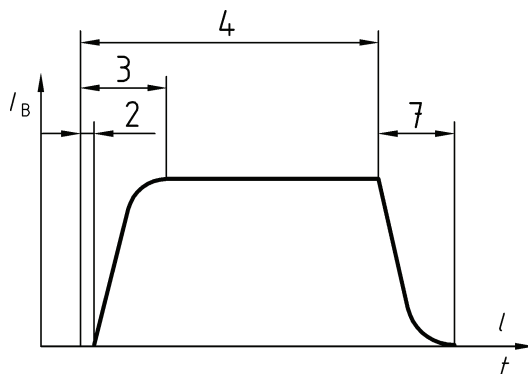
- ein Bereich, in dem die Durchschweißung vollständig ist;
- ein Bereich, in dem die Durchschweißung unvollständig oder die Schmelzzonentiefe abnimmt.



a) Unvollständiges Durchschweißen (mit Überlappung)



b) Vollständiges Durchschweißen (ohne Überlappung)



c) Steuern von  $I_B$  zum Schweißen einer Rundnaht mit Überlappung

#### Legende

- |   |                                                                         |       |                                    |
|---|-------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------|
| 1 | Werkstück (geschweißter Bereich)                                        | 7     | Slope-down-Bereich                 |
| 2 | Zeitunterschied zwischen Beginn der Steuerung und Beginn der Schweißung | 8     | Werkstückbewegung                  |
| 3 | Slope-up-Bereich                                                        | 9     | Werkstück (ungeschweißter Bereich) |
| 4 | Überlappungsbereich                                                     | $I_B$ | Strahlstrom                        |
| 5 | Elektronenstrahl                                                        | $l$   | Schweißnahtlänge                   |
| 6 | Wiederaufschmelzzone                                                    | $t$   | Schweißzeit                        |

Bild 3 — Definition von Begriffen für das Schweißen von Rundnähten