

## DIN EN 4677-001



ICS 25.160.40

**Entwurf**

Einsprüche bis 2022-01-26  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN 4677-001:2013-02

**Luft- und Raumfahrt –  
Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt –  
Verbindungen metallischer Werkstoffe mittels  
Elektronenstrahlschweißen –  
Teil 001: Qualität der Schweißverbindungen;  
Deutsche und Englische Fassung FprEN 4677-001:2021**

Aerospace series –  
Welded and brazed assemblies for aerospace constructions –  
Joints of metallic materials by electron beam welding –  
Part 001: Quality of welded assemblies;  
German and English version FprEN 4677-001:2021

Série aérospatiale –  
Assemblages soudés et brasés pour constructions aérospatiales –  
Assemblages de matériaux métalliques soudés par faisceau d'électrons –  
Partie 001: Qualité des assemblages soudés;  
Version allemande et anglaise FprEN 4677-001:2021

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-11-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nas@din.de](mailto:nas@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 54 Seiten

DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)  
DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

## Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Das vorliegende Dokument (FprEN 4677-001:2021) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Werkstoffe, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 092-00-17 AA „Schweißen im Luft- und Raumfahrzeugbau (DVS AG A 9)“, im DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS).

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wurde der Deutschen Fassung dieses Dokuments die Englische Fassung hinzugefügt.

Es wird darauf hingewiesen, dass auf Grund der Verfahrensweise zur Normenerstellung bei ASD-STAN dieser Norm-Entwurf E DIN EN 4677-001 ausschließlich der formellen Annahme der deutschen Sprachfassung von EN 4677-001 dienen kann. Im Rahmen dieser Umfrage sind daher ausschließlich redaktionelle Stellungnahmen zur deutschen Übersetzung möglich.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

|                   |       |                                      |
|-------------------|-------|--------------------------------------|
| ISO 14880-1:2001* | siehe | DIN EN ISO 14880-1:2005-05*          |
| ISO 22826         | siehe | DIN EN ISO 22826                     |
| ISO 24394:2008    | siehe | DIN ISO 24394:2021-05                |
| ISO/TR 25901:2007 | siehe | DIN-Fachbericht ISO/TR 25901:2008-11 |

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 4677-001:2013-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Klassifizierung der Schweißnaht präzisiert;
- b) Materialgruppen eingeführt;
- c) Verweisung der Bedienerprüfung auf ISO 24394;
- d) Anpassungen an den derzeitigen Stand der Technik;
- e) redaktionelle Anpassungen.

---

\* Die Norm wurde inzwischen zurückgezogen und durch ISO 14880-1:2019 bzw. DIN EN ISO 14880-1:2019-10 ersetzt.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 14880-1:2005-05, *Mikrolinsenarrays — Teil 1: Begriffe (ISO 14880-1:2001 + Cor. 1:2003); Deutsche Fassung EN ISO 14880-1:2005*

DIN EN ISO 22826, *Zerstörende Prüfung von Schweißungen an metallischen Werkstoffen — Härteprüfung an durch Laser- und Elektronenstrahlschweißung hergestellten Schweißungen (Vickers- und Knoop-Härteprüfung)*

DIN-Fachbericht ISO/TR 25901:2008-11, *Schweißen und verwandte Verfahren — Terminologie*

DIN ISO 24394:2021-05, *Schweißen im Luft- und Raumfahrzeugbau — Prüfung von Schweißern und Bedienern von Schweißeinrichtungen — Schmelzschweißen von metallischen Bauteilen (ISO 24394:2018, korrigierte Fassung 2020-11)*

— Leerseite —

|                  |                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Titel de:</i> | Luft- und Raumfahrt — Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt — Verbindungen metallischer Werkstoffe mittels Elektronenstrahlschweißen — Teil 001: Qualität der Schweißverbindungen   |
| <i>Titel en:</i> | Aerospace series — Welded and brazed assemblies for aerospace constructions — Joints of metallic materials by electron beam welding — Part 001: Quality of welded assemblies                           |
| <i>Titel fr:</i> | Série aérospatiale — Assemblages soudés et brasés pour constructions aérospatiales — Assemblages de matériaux métalliques soudés par faisceau d'électrons — Partie 001: Qualité des assemblages soudés |

## Inhalt

|                                                                 | Seite |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                      | 3     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                       | 4     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                  | 4     |
| 3 Begriffe .....                                                | 5     |
| 4 Schweißbarkeit .....                                          | 9     |
| 5 Symbole und Abkürzungen .....                                 | 9     |
| 6 Allgemeine Anforderungen .....                                | 9     |
| 6.1 Einteilung der Schweißnaht .....                            | 9     |
| 6.2 Werkstoffgruppen .....                                      | 9     |
| 6.3 Schweißmaschinen .....                                      | 10    |
| 6.4 Bediener .....                                              | 10    |
| 6.4.1 Schulung .....                                            | 10    |
| 6.4.2 Qualifikation .....                                       | 11    |
| 6.5 Verantwortlichkeit .....                                    | 11    |
| 7 Technische Anforderungen an die Herstellung neuer Teile ..... | 11    |
| 7.1 Schweißanweisung (WPS) .....                                | 11    |
| 7.1.1 Allgemeines .....                                         | 11    |
| 7.1.2 WPS-Qualifikation .....                                   | 11    |
| 7.1.3 Proben .....                                              | 11    |
| 7.2 Prozessüberwachung und -prüfung bei der Fertigung .....     | 22    |
| 7.2.1 Allgemeines .....                                         | 22    |
| 7.2.2 Herstellung der Einzelteile .....                         | 22    |
| 7.2.3 Schweißen .....                                           | 22    |
| 7.2.4 Wärmebehandlung .....                                     | 23    |
| 7.2.5 Prüfen während der Fertigung .....                        | 23    |
| 7.2.6 Bewertung von Proben .....                                | 24    |
| 7.3 Annahme von geschweißten Baugruppen .....                   | 24    |
| 7.3.1 Anforderungen .....                                       | 24    |
| 8 Technische Nacharbeitungsanforderungen .....                  | 25    |
| Literaturhinweise .....                                         | 26    |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 4677-001:2021) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat dieses Dokument die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer von ASD-STAN erhalten, bevor es CEN vorgelegt wurde.

Dieses Dokument ist derzeit zur formellen Abstimmung vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 4677-001:2012 ersetzen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Anforderungen an Elektronenstrahlschweißen für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt fest.

ANMERKUNG Das schließt Flughardware, Prototypen, Demonstratorbauteile und andere Prüfhardware ein.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 4632-001, *Luft- und Raumfahrt — Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeitsgrad und Lötbarkeitsgrad von Werkstoffen — Teil 001: Allgemeines*

EN 4632-002, *Luft- und Raumfahrt — Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeitsgrad und Lötbarkeitsgrad von Werkstoffen — Teil 002: Gleichartige Verbindungen Aluminium und Aluminiumlegierungen*

EN 4632-003, *Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeit und Lötbarkeit von Werkstoffen im Luft- und Raumfahrzeugbau — Teil 003: Schweißen und Löten gleichartiger Verbindungen aus unlegierten und niedriglegierten Stählen*

EN 4632-004, *Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeit und Lötbarkeit von Werkstoffen im Luft- und Raumfahrzeugbau — Teil 004: Schweißen und Löten gleichartiger Verbindungen aus hochlegierten Stählen*

EN 4632-005, *Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeit und Lötbarkeit von Werkstoffen im Luft- und Raumfahrzeugbau — Teil 005: Schweißen und Löten gleichartiger Verbindungen aus hitzebeständigen Nickel- oder Kobaltbasislegierungen*

EN 4632-006, *Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeit und Lötbarkeit von Werkstoffen im Luft- und Raumfahrzeugbau — Teil 006: Gleichartige Verbindungen aus Titanbasislegierungen*

EN ISO 6520-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an metallischen Werkstoffen — Teil 1: Schmelzschweißen*

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

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

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

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

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

EN ISO 14744-6, *Schweißen — Abnahmeprüfung von Elektronenstrahl-Schweißmaschinen — Teil 6: Messen der Flecklagetoleranz*

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

EN ISO 15614-10:2005, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 10: Trockenschweißen unter Überdruck*

EN ISO 17639, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen von Schweißnähten*

EN ISO 17659:2004, *Schweißen — Mehrsprachige Benennungen für Schweißverbindungen mit bildlichen Darstellungen*

ISO 857-1:1998, *Welding and allied processes — Vocabulary — Part 1: Metal welding processes*

ISO 14880-1:2001, *Micro lens arrays — Part 1: Vocabulary*

ISO 22826, *Destructive tests on welds in metallic materials — Hardness testing of narrow joints welded by laser and electron beam (Vickers and Knoop hardness tests)*

ISO 24394:2008, *Welding for aerospace applications — Qualification test for welders and welding operators — Fusion welding of metallic components*

ISO 24394, *Welding for aerospace applications — Qualification test for welders and welding operators — Fusion welding of metallic components*

ISO/TR 25901:2007, *Welding and related processes — Vocabulary*

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 17659:2004, ISO 857-1:1998 und ISO/TR 25901:2007 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

#### 3.1

##### **Elektronenstrahlschweißen**

Schmelzschweißen, wobei ein fokussierter Elektronenstrahl benutzt wird

[QUELLE: ISO 857-1:1998, 4.2.5.4]

#### 3.2

##### **Schweißnahtausrichtung**

Positionieren der Strahlachse an die Verbindungsfläche

#### 3.3

##### **Strahlablenkung**

<Elektronenstrahlschweißen> elektromagnetische Ablenkung des Strahles von der Kanonenachse

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.39]

### 3.4

#### Arbeitsabstand

<Elektronenstrahlschweißen> Abstand zwischen dem Auftreffpunkt des Strahls auf die Einzelteile und einer Bezugsfläche in direktem Zusammenhang mit der Schweißpistole oder der Maschine

BEISPIEL      Mittelpunkt der am nächsten liegenden Fokussierspule des Einzelteils, Elektronenpistolenbasis.

### 3.5

#### Strahlstrom (Emissionsstrom)

<Elektronenstrahlschweißen> Wert des elektrischen Stroms im Strahl

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.37]

### 3.6

#### Slope down

gesteuerter Abfall der Strahlleistung am Ende einer Schweißung

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.336]

### 3.7

#### Slope up

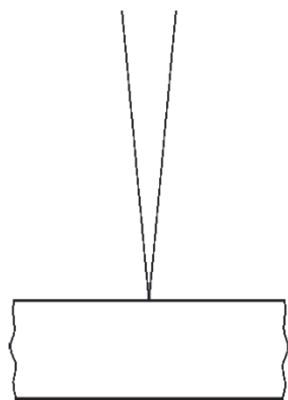
<Strahlschweißen> gesteuertes Ansteigen der Strahlleistung am Beginn einer Schweißung

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.337]

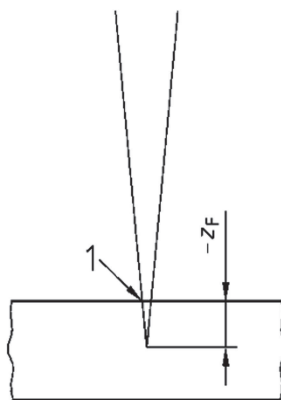
### 3.8

#### Lage des Brennpunkts

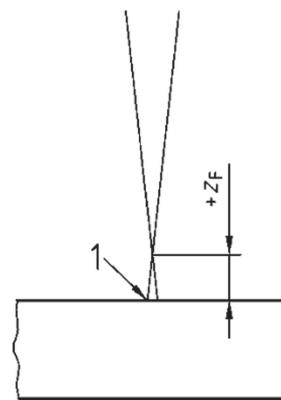
Koordinaten der geometrischen Lage des Brennpunkts



a) Brennpunkt auf der Oberfläche des Teils (Oberflächenfokus)



b) Brennpunkt unterhalb der Oberfläche des Teils (Fokus unterhalb der Oberfläche des Teils)



c) Brennpunkt oberhalb der Oberfläche des Teils (Fokus oberhalb der Oberfläche des Teils)

#### Legende

1 Strahlfleck

$Z_F$  Abstand des Fokus zur Oberfläche

**Bild 1 — Unterschiedliche Lagen des Brennpunkts**

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Abnahme der Maschine oder Qualifikation des Bedieners nicht erforderlich.

[QUELLE: ISO 14880-1:2001, 6.2.1.3 – modifiziert: Anmerkungen gelöscht, Bild 1 eingefügt]

### 3.9

#### **Strahlleistung**

Strahlleistung am Ausgang des Strahlerzeugers je Zeiteinheit in Strahlausbreitungsrichtung abgegebene Energie

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Elektronenstrahlprozessen ist die Strahlleistung das Produkt aus Beschleunigungsspannung und Strahlstrom.

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.41]

### 3.10

#### **Beschleunigungsspannung**

Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode, zur Erzeugung des zur Ablenkung der Elektronen vorgesehenen elektrischen Feldes

### 3.11

#### **Strahlabsorber**

Werkstoff, um die Energie des Elektronenstrahls nach dem Durchschweißen zu absorbieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Werkstoffzusammensetzung des Strahlabsorbers sollte aus dem gleichen Werkstoff oder aus einem Werkstoff sein, der mit der geforderten Qualität der Verbindung kompatibel ist.

### 3.12

#### **Schweißgeschwindigkeit**

Geschwindigkeit, mit der der Schweißvorgang in Schweißrichtung fortschreitet

[QUELLE: ISO 857-1:1998, 5.2.11]

### 3.13

#### **Schweißzyklus**

Folge von Arbeitsgängen, die von einer Maschine für die Herstellung einer Schweißnaht bis zur Rückkehr zur Ausgangsstellung ausgeführt werden

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.441]

### 3.14

#### **Kosmetiklage**

oberflächiges Wiederaufschmelzen der Schweißnaht zur Verbesserung der Nahtoberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Lage wird durch einen defokussierten oder pendelnden Strahl erzeugt.

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.75 – modifiziert: Anmerkung eingefügt]

### 3.15

#### **Los**

Summe von einer oder mehreren Produkteinheiten aus einer Schmelze

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.33]

### 3.16

#### **Grundwerkstoff**

zu verbindendes Material

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.259 – modifiziert: gekürzt]

### 3.17

#### **Spannvorrichtung**

zum Halten und Positionieren der Teile vor und nach dem Schweißen erforderliche Vorrichtung

### 3.18

#### **Einzelteil**

einzelnes Element, das mit anderen Elementen zusammengefügt wird, um ein Teil zu formen

### 3.19

#### **Teil**

Verbindung, die aus mehreren zusammengeführten Einzelteilen besteht

### 3.20

#### **durchgeschweißte Naht**

Schweißnaht mit vollständigem Einbrand

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.158]

### 3.21

#### **nicht durchgeschweißte Naht**

Schweißnaht, deren Einbrand absichtlich kleiner als bei einer durchgeschweißten Naht ist

[QUELLE: ISO/TR 25901:2007, 2.262]

### 3.22

#### **Fertigungsprobe**

##### **Probe aus der Fertigung**

Probe, die die gefertigten Teile repräsentiert, die unter den gleichen Bedingungen wie die gefertigten Teile geschweißt und aus dem gleichen Werkstoff gefertigt sind, im gleichen Zustand, mit den gleichen Schweißverbindungen wie die gefertigte Teile

Anmerkung 1 zum Begriff: Die eigentlichen Fertigteile dürfen für Fertigungsproben verwendet werden.

### 3.23

#### **Probe für die Verifizierung (Probe vor/nach/während der Fertigung)**

festgelegter Probentyp zur Verifizierung der tatsächlichen Leistung des Elektronenstrahlschweißgerätes

### 3.24

#### **Bediener von Schweißeinrichtungen**

<Schweißen im Luft- und Raumfahrzeugbau> Person, die die adaptive Regelung des automatischen, mechanischen bzw. des Roboterschweißgerätes übernimmt

[QUELLE: ISO 24394:2008, 3.3]

### 3.25

#### **Nacharbeit**

Maßnahme an einem fehlerhaften Produkt, damit es die Anforderungen erfüllt

[QUELLE: ISO 9000:2005, 3.6.7]

### 3.26

#### **Reparatur**

jede Tätigkeit, die Schweißungen außerhalb des üblichen Ablaufs von Schweißungen umfasst, um diese zu verbessern

[QUELLE: EN ISO 15614-10:2005, 3.1]

### 3.27

#### **verantwortliche Konstruktions-/Entwicklungsstelle**

Organisation, die für die konstruktive Ausführung oder die Erhaltung der Luftfahrtauglichkeit der Gerätschaften und Übereinstimmung mit allen relevanten Dokumenten verantwortlich ist

[QUELLE: ISO 24394:2008, 3.7]

## **4 Schweißbarkeit**

In EN 4632-001, EN 4632-002, EN 4632-003, EN 4632-004, EN 4632-005 und EN 4632-006 ist die genaue Bestimmung des Schweißbarkeitsgrades festgelegt.

## **5 Symbole und Abkürzungen**

|            |                                            |
|------------|--------------------------------------------|
| $t$        | Dicke des Blechs                           |
| $b$        | tatsächliche Schweißnahtbreite             |
| $c$        | Abstand zwischen Fehlern                   |
| $d$        | Durchmesser                                |
| $\Sigma f$ | Summe der fehlerhaften Flächen             |
| $h$        | Abstand                                    |
| $l$        | Schweißnahtlänge                           |
| $x$        | Schweißnahtdicke                           |
| $Z_F$      | Abstand des Fokus zur Oberfläche des Teils |

## **6 Allgemeine Anforderungen**

### **6.1 Einteilung der Schweißnaht**

Für die Einteilung der Schweißverbindungen gelten folgende Grundlagen:

- Klasse I: eine Schweißverbindung, deren Versagen unter Betriebsbedingungen zum Verlust des Flugzeuges/Raumfahrzeuges oder eines seiner wesentlichen Teile führt oder Menschen direkt gefährdet.
- Klasse II: eine Schweißverbindung, deren Versagen zu Störungen führt, die keine Beeinträchtigung für die Fortsetzung des sicheren Fluges bis zum Ende der Mission darstellt.
- Klasse III: eine Schweißverbindung, deren Versagen die Sicherheit und die Transportfunktion des Flugzeuges/Raumfahrzeuges nicht beeinflusst.

### **6.2 Werkstoffgruppen**

Werkstoffgruppe A: unlegierte Stähle, niedriglegierte Stähle, hochlegierte ferritische Stähle.

Werkstoffgruppe B: hochlegierte austenitische und martensitische Stähle, Nickel und Nickellegierungen, Cobaltlegierungen.

Werkstoffgruppe C: Titan und Titanlegierungen, Niob, Zirkonium und andere reaktive Metalle.

Werkstoffgruppe D: Aluminium und Aluminiumlegierungen, Magnesium und Magnesiumlegierungen.

Werkstoffgruppe E: Werkstoffe, die den Werkstoffgruppen A bis D nicht entsprechen (z. B. Molybdän, Wolfram und Kupferlegierungen).

### 6.3 Schweißmaschinen

Die Maschinen für das Schweißen müssen mindestens EN ISO 14744-1 bis EN ISO 14744-6 entsprechen. Insbesondere müssen die Maschinen spezifischen Prüfungen für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrtindustrie unterzogen worden sein, wenn sie erworben oder erneuert wurden. Alle zusätzlichen Eigenschaften und/oder spezifischen Verfahren müssen dokumentiert und vom Endanwender und der Entwicklungsstelle zugelassen werden.

Nach jeder teilweisen oder vollständigen Demontage des Strahlerzeugers zum Reinigen oder Ersetzen eines Teiles ist eine Überprüfung der Leistung der Schweißpistole notwendig.

Dafür müssen Strahlausrichtung, Strahlleistung, Strahlstrom, Strahlfokus und Beschleunigungsspannung mit geeigneten Proben, z. B. einer Keilprobe, überprüft werden.

### 6.4 Bediener

#### 6.4.1 Schulung

Allgemeine Anforderungen an die Schulung von Bedienern siehe ISO 24394. Für jeden Fertigungs- oder Nacharbeitsvorgang muss der Bediener der Elektronenstrahlschweißmaschine einen theoretischen und praktischen Schulungslehrgang in Bezug auf Folgendes absolviert haben:

- technische Schulung für das Verfahren;
- Bedienung der verwendeten Maschine (Auswechseln des Elektronenstrahlsystems der Maschine, Überprüfung der Arbeitsschritte und der Wartung nach Plan);
- Sicherheitsmaßnahmen, die in Beziehung zur Maschine und dem Schweißvorgang stehen;
- Ausrüstung, Instrumente und Spannvorrichtung, die für die ordnungsgemäße Bedienung der Maschine und Durchführung des Schweißvorganges erforderlich sind;
- Nachweis der Übereinstimmung mit den zugelassenen Schweißanweisungen (WPS, en: welding procedure specification);
- Positionierung des Brennpunkts im Verhältnis zu Teiloberfläche;
- Überprüfung der Ausrichtung des Strahls im Verhältnis zur Verbindungsfläche;
- vollständige Programmierung der Maschine;
- Überprüfung des äußeren Erscheinungsbildes und der Geometrie der Schweißverbindung.

Der Bediener muss die Qualifizierungsproben nach ISO 24394 schweißen.

## 6.4.2 Qualifikation

### 6.4.2.1 Qualifikation des Bedieners

Die Qualifikation des Bedieners muss nach ISO 24394 durchgeführt werden. Diese Qualifikation muss alle zwei Jahre und jedes Mal wiederholt werden, wenn der Bediener in den länger als 6 (sechs) Monate nicht geschweißt hat.

## 6.5 Verantwortlichkeit

Die Einteilung der Schweißnaht (nach 6.1) muss durch die verantwortliche Entwicklungsstelle festgelegt werden.

Die Abnahme und Qualifizierung der Maschine liegt in der Verantwortung des Herstellers, der eine zuständige Person bestimmen muss, die für die Anwendung der vorliegenden Norm verantwortlich ist.

Der Hersteller ist für die zufriedenstellende Durchführung des Schweißprozesses und die Schweißqualität verantwortlich. Der Hersteller darf zusätzliche Prüfungen auswählen, die über die in dieser Norm oder in den technischen Unterlagen festgelegten hinausgehen, z. B. Strahlsondierung.

## 7 Technische Anforderungen an die Herstellung neuer Teile

### 7.1 Schweißanweisung (WPS)

#### 7.1.1 Allgemeines

Alle Schweißnähte müssen in Übereinstimmung mit einer zugelassenen WPS nach EN ISO 15609-3 ausgeführt werden. Das Zulassungsverfahren für eine WPS muss zwischen dem Hersteller und der zuständigen Konstruktionsstelle vereinbart werden.

Falls erforderlich, muss in der WPS eine Mindestdauer unter Schutzatmosphäre festgelegt werden.

Falls erforderlich, muss für die zu schweißenden Teile eine magnetische Prüfung festgelegt und die Spannvorrichtung vor jedem Schweißvorgang überprüft werden.

Es wird empfohlen, die Werkzeuge mit nichtmagnetischen Werkstoffen zu konstruieren.

Es wird empfohlen, den remanenten Magnetismus der Teile vor dem Schweißen zu überprüfen. Der maximal empfohlene Magnetismus beträgt 160 A/m (oder 2,10<sup>-4</sup> T oder 2 G).

#### 7.1.2 WPS-Qualifikation

Anforderungen an die Qualifikationsprüfung müssen von der verantwortlichen Konstruktions-/Entwicklungsstelle zugelassen werden. Wenn von der verantwortlichen Konstruktions-/Entwicklungsstelle keine speziellen Anforderungen gestellt werden, dürfen Anforderungen nach Tabelle 1 angewendet werden.

#### 7.1.3 Proben

##### 7.1.3.1 Allgemeines

Die Qualifizierungsprüfungen und die Optimierung müssen an Proben durchgeführt werden, die die eigentlichen Fertigungsteile vollständig repräsentieren, z. B. hinsichtlich Werkstoffzusammensetzung, Wärmebehandlungszustand und jeglicher anderen Vorbehandlungen, die die Schweißqualität beeinflusst und in der Schweißverbindung eine Geometrie aufweisen, die die der eigentlichen Fertigungsteile nachbildet. Die Verwendung von eigentlichen Fertigungsteilen und der Spannvorrichtung wird empfohlen, wo dies möglich ist.

Falls die Herstellung besondere Bedingungen mit einschließt (beispielsweise erschwerte Zugänglichkeit), ist es erforderlich, diese zu berücksichtigen, damit die Bedingungen der Prüfungsdurchführung denen der realen Schweißbedingungen so ähnlich wie möglich sind.

Die Anzahl der Proben muss repräsentativ sein.

**Tabelle 1 — Prüfverfahren**

| Schweißklasse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | I | II | III |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|-----|
| Sichtprüfung (en: visual testing – VT) <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | x | x  | x   |
| Eindringprüfung (en: penetrant testing – PT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | x | x  | x   |
| Magnetpulverprüfung (en: magnetic particle testing – MT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | x | x  | x   |
| Durchstrahlungsprüfung (en: radiographic testing – RT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | x | x  | —   |
| Ultraschallprüfung (en: ultrasonic testing – UT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | x | x  | —   |
| Metallographie <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | x | c  | —   |
| <sup>a</sup> Einschließlich Maßprüfung der Schweißnahtgeometrie.<br><sup>b</sup> Querschnitte zur Überprüfung von Schweißraupengeometrie und Fehlern. Längsschnitt im Slope down-Bereich.<br><sup>c</sup> Bei einer nicht durchgeschweißten Naht ist eine Metallographie erforderlich, um die Durchschweißtiefe zu überprüfen (an einer repräsentativen Probe durchzuführen). |   |    |     |

### 7.1.3.2 Schweißnahtvorbereitung

Alle gemeinsamen Anforderungen müssen von der WPS nach EN ISO 15609-3 angegeben werden.

Stirnflächen der Schweißnaht und die angrenzenden Oberflächen müssen frei von Zunder (einschließlich anodischer Filme), Öl, Schmiermittel, Farbe, Feuchte, Beschichtungen oder allen sonstigen Substanzen sein, die die Qualität der Schweißnaht beeinflussen könnten oder den Ablauf des Schweißens hemmen.

### 7.1.3.3 Schweißen

Ein maximaler Zeitverzug zwischen dem Reinigen und dem Schweißen muss festgelegt werden.

Die magnetische Remanenz von zu schweißenden Teilen und der Spannvorrichtung muss erforderlichenfalls nach 7.1.1 berücksichtigt werden.

### 7.1.3.4 Bearbeitung nach dem Schweißen

Die Bearbeitung nach dem Schweißen muss geeignet sein, die Anforderungen des anwendbaren ZfP-Verfahrens zu erfüllen.

### 7.1.3.5 Wärmebehandlung nach dem Schweißen

Wenn eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen durchgeführt wird, müssen die Proben nach den Anforderungen für Originalteile wärmebehandelt und geprüft werden. Die Wärmebehandlung (d. h. Spannungsarmglühen) kann an Proben entfernt werden, wenn das von der verantwortlichen Konstruktions-/Entwicklungsstelle zugelassen wurde.

#### **7.1.3.6 Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)**

Das Verfahren der ZfP sollte vollständig dokumentiert werden und von einem verantwortlichen Fachmann der Stufe III der relevanten ZfP-Technik zugelassen sein.

#### **7.1.3.7 Oberflächenprüfungen**

Oberflächenprüfungen, visuell und/oder mithilfe anderer in der Schweißanweisung festgelegten Verfahren (z. B. Eindringprüfung, Magnetpulverprüfung) müssen durchgeführt werden.

Wenn nicht anders durch die Konstruktionsunterlagen festgelegt und im jeweiligen Schweißverfahren erfasst, entsprechen die Annahmekriterien für Unregelmäßigkeiten den in Tabelle 2 angegebenen Kriterien.