

DIN EN 4678

ICS 25.160.40

**Luft- und Raumfahrt –
Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt –
Verbindungen metallischer Werkstoffe mittels
Laserstrahlschweißen - Qualität der Schweißverbindungen;
Deutsche und Englische Fassung EN 4678:2011**

Aerospace series –

Weldments and brazements for aerospace structures –

Joints of metallic materials by laser beam welding - Quality of weldments;

German and English version EN 4678:2011

Série aérospatiale –

Assemblages soudés et brasés pour constructions aérospatiales –

Assemblages de matériaux métalliques soudés par faisceaux laser - Qualité des assemblages soudés;

Version allemande et anglaise EN 4678:2011

Gesamtumfang 67 Seiten

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

Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Rüstungsindustrie 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.

Die vorliegende Norm EN 4678:2011 wurde von ASD-STAN, Fachbereich Metallische Werkstoffe, erarbeitet.

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

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 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 Dokumentes die Englische Fassung hinzugefügt.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Querverweis in Tabelle 3, Fußnote b, richtigerweise 7.3.2.4 lauten muss.

Für die im Abschnitt 2 angegebenen Internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 857-1	siehe DIN ISO 857-1
ISO 22826	siehe DIN ISO 22826
ISO 24394	siehe DIN ISO 24394
ISO/TR 25901	siehe DIN-Fachbericht ISO/TR 25901

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 857-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Begriffe — Teil 1: Metallschweißprozesse*

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

DIN ISO 24394, *Schweißen im Luft- und Raumfahrzeugbau — Prüfung von Schweißern und Bedienern von Schweißeinrichtungen — Schmelzschweißen von metallischen Bauteilen*

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

Deutsche Fassung

Luft- und Raumfahrt —
Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt —
Verbindungen metallischer Werkstoffe mittels
Laserstrahlschweißen —
Qualität der Schweißverbindungen

Aerospace series —
Weldments and brazements for aerospace structures —
Joints of metallic materials by laser beam welding —
Quality of weldments

Série aérospatiale —
Assemblages soudés et brasés pour constructions
aérospatiales —
Assemblages de matériaux métalliques soudés par
faisceaux laser —
Qualité des assemblages soudés

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. Juli 2010 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 des CEN-CENELEC 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, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Schweißbarkeit	13
6 Allgemeine Anforderungen	13
7 Technische Anforderungen an die Herstellung neuer Teile	17
8 Technische Instandsetzungsmaßnahmen	33
9 Sonderfall	33

Vorwort

Dieses Dokument (EN 4678:2011) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) erstellt.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2012 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat diese Norm die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer der ASD erhalten, bevor sie CEN vorgelegt wurde.

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

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die zu erfüllenden Regeln fest, um die Qualität der Verbindungen metallischer Werkstoffe in der Luft- und Raumfahrt (Ordnungsnummer **521** für Festkörper und Ordnungsnummer **522** für Gas und Ordnungsnummer **523** für Diodenlaser nach EN ISO 4063) mittels automatisch, halbautomatisch oder manuell ausgeführtem Laserstrahlschweißen sicherzustellen.

Sie gilt ohne Einschränkungen für die Herstellung von neuen Teilen oder für die Instandsetzung. Diese Verfahren liegen in der Verantwortung einer anerkannten Konstruktionsabteilung oder eines anerkannten Instandsetzungsbetriebes.

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 ISO 9016:2011, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Kerbschlagbiegeversuch — Probenlage, Kerbrichtung und Beurteilung (ISO 9016:2001)*

EN ISO 4136:2011, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Querkzugversuch (ISO 4136:2011)*

EN ISO 5173:2010, *Zerstörende Prüfung von Schweißnähten an metallischen Werkstoffen — Biegeprüfungen (ISO 5173:2009)*

EN 1011-6, *Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe — Teil 6: Laserstrahlschweißen*

EN ISO 9015-2:2011, *Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Härteprüfung — Teil 2: Mikrohärtprüfung an Schweißverbindungen (ISO 9015-2:2003)*

EN 1435, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen*

EN ISO 17640:2010, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Techniken, Prüfklassen und Bewertung (ISO 17640:2010)*

EN 4179, *Luft- und Raumfahrt — Qualifikation und Zulassung des Personals für zerstörungsfreie Prüfungen*

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 Stählen¹⁾*

EN 4632-004, *Luft- und Raumfahrt — Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeitsgrad und Lötbarkeitsgrad von Werkstoffen — Teil 004: Gleichartige Verbindungen aus hochlegierten Stählen¹⁾*

1) Als ASD-STAN Vornorm herausgegeben zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm durch Aerospace and Defence Industries Association of Europe-Standardization (ASD-STAN), (www.asd-stan.org).

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* ¹⁾

EN 4632-006, *Luft- und Raumfahrt — Schweiß- und Lötverbindungen für die Luft- und Raumfahrt — Schweißbarkeitsgrad und Lötbarkeitsgrad von Werkstoffen — Teil 006: Gleichartige Verbindungen aus Titanlegierungen* ¹⁾

EN ISO 4063, *Schweißen und verwandte Prozesse — Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO 4063:2009, Berichtigte Fassung 2010-03-01)*

EN ISO 6520-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an metallischen Werkstoffen — Teil 1: Schmelzschweißen (ISO 6520-1:2007)*

EN ISO 6947, *Schweißen und verwandte Prozesse — Schweißpositionen (ISO 6947:2011)*

EN ISO 11145, *Optik und Photonik — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen*

EN ISO 14731, *Schweißaufsicht — Aufgaben und Verantwortung*

EN ISO 15609-4, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 4: Laserstrahlschweißen*

EN ISO 15616-1, *Abnahmeprüfungen für CO₂-Laserstrahlanlagen zum Qualitätsschweißen und -schneiden — Teil 1: Grundlagen, Abnahmebedingungen*

EN ISO 15616-2, *Abnahmeprüfungen für CO₂-Laserstrahlanlagen zum Qualitätsschweißen und -schneiden — Teil 2: Messen der statischen und dynamischen Genauigkeit*

EN ISO 15616-3, *Abnahmeprüfungen für CO₂-Laserstrahlanlagen zum Qualitätsschweißen und -schneiden — Teil 3: Kalibrieren von Instrumenten zum Messen des Gasdurchflusses und -drucks*

EN ISO 22827-1, *Abnahmeprüfungen für Nd:YAG-Laserstrahlschweißmaschinen — Maschinen mit Versorgung durch Lichtleitfaser — Teil 1: Lasereinrichtung*

EN ISO 22827-2, *Abnahmeprüfungen für Nd:YAG-Laserstrahlschweißmaschinen — Maschinen mit Versorgung durch Lichtleitfaser — Teil 2: Mechanische Bewegungseinrichtung*

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

ISO 4969, *Steel — Macroscopic examination by etching with strong mineral acids*

ISO 17636, *Non-destructive testing of welds — Radiographic testing of fusion-welded joints*

ISO 17639, *Destructive tests on welds in metallic materials — Macroscopic and microscopic examination of welds*

ISO 17640, *Non-destructive testing of welds - Ultrasonic testing - Techniques, testing levels, and assessment*

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

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

NAS 410, *Certification and qualification of non-destructive test personnel*²⁾

2) Herausgegeben durch: National Standards Association, Inc., 1200 Quince Orchard Blvd, Gaithersburg, MD 20878, United States.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe nach ISO 857-1 und EN ISO 11145.

3.1 Allgemeines

3.1.1 Laserstrahlschweißen

Schmelzschweißprozess (mittels Strahlung), bei dem die für das Schmelzen erforderliche Wärme von einem kohärenten monochromatischen Licht geliefert, von einem Laser ausgesendet und durch ein optisches System fokussiert wird entweder durch:

- Festkörper (FLS oder Ordnungsnummer 521 nach EN ISO 4063);
- Beispiel: YAG-Laser (Yttrium Aluminium Granat) dotiert mit Neodym. Die Wellenlänge λ der entsprechenden Strahlung beträgt 1,06 μm ; oder
- Gaslaser (FLG oder Ordnungsnummer 522 nach EN ISO 4063);
- Beispiel: CO_2 . Wellenlänge $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$;
- Diodenlaser (Halbleiterlaser oder Ordnungsnummer 523 nach EN ISO 4063).

Das Wort Laser ist ein Kurzwort für "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation".

3.2 Technische Begriffe

3.2.1 Schweißparameter

3.2.1.1 Anlauf- und Auslaufstücke

Siehe ISO/TR 25901.

ANMERKUNG Dieser Abstand wird an den in ihrem Schweißaufbau aufgestellten Einzelteilen gemessen, und der Abstand wird als Bezug zur Bestimmung der Mindestbreite des Schweißnahtbereiches benutzt.

3.2.1.2 Strahlversatz

Abweichung der Strahlposition von der Schweißverbindungsfläche bei bestimmten heterogenen Schweißwerkstücken (Werkstoffe und/oder ungleichen Dicken)

3.2.1.3 Arbeitsabstand

Abstand zwischen dem Auftreffpunkt des Strahls und dem Werkstück und einer Bezugsfläche in direktem Zusammenhang mit der Maschine

BEISPIEL Düsenende.

3.2.1.4 Spezifische Schweißenergie

Verhältnis zwischen der Strahlleistung und der Schweißgeschwindigkeit, multipliziert mit 60. P_{Mittel} (W) wird an der Ausgangsseite der Düse gemessen.

$$E_{\text{Mittel}} = \frac{P_{\text{Mittel}}(W) \times 60}{1000 \times V(\text{cm/min})} (\text{kJ/cm})$$

3.2.1.5 Slope down

Betriebsbedingungen, bei denen sich die Einbrandtiefe abnehmend ändert, nach einem Abfall, einer Reihe von Anstiegen oder Stufen

ANMERKUNG Slope down tritt im Zusammenhang mit Zeit oder Abstand auf, siehe Bild 1.

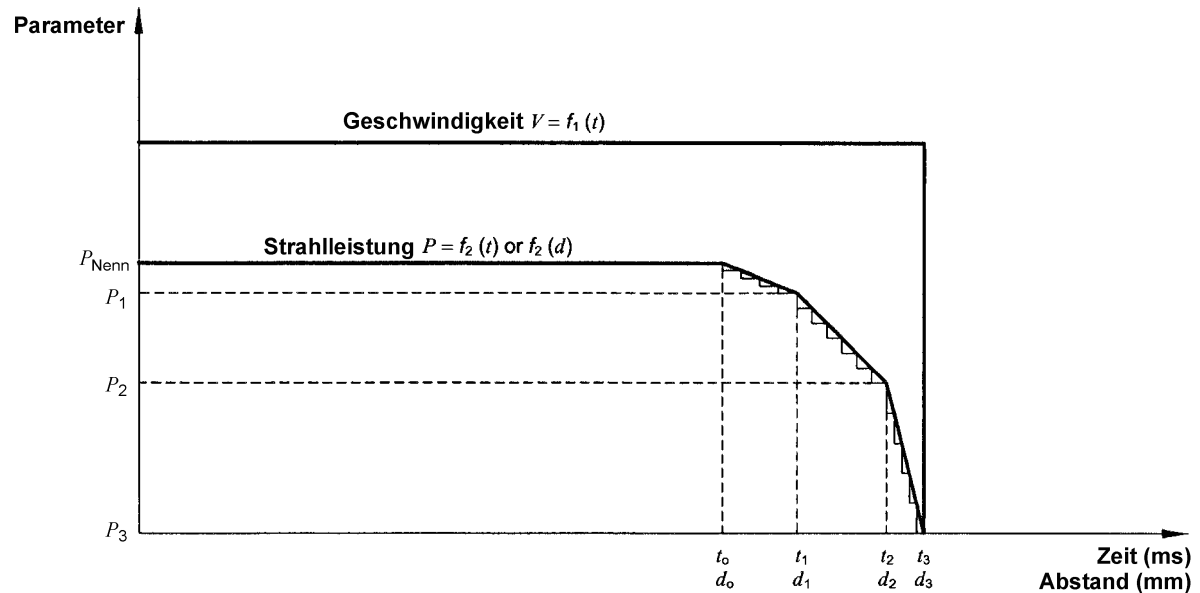


Bild 1

3.2.1.6 Slope up

Strahlsteuerung zur Erhöhung der Strahlleistung am Beginn einer Schweißnaht

3.2.1.7 Abstand vor dem Schweißen

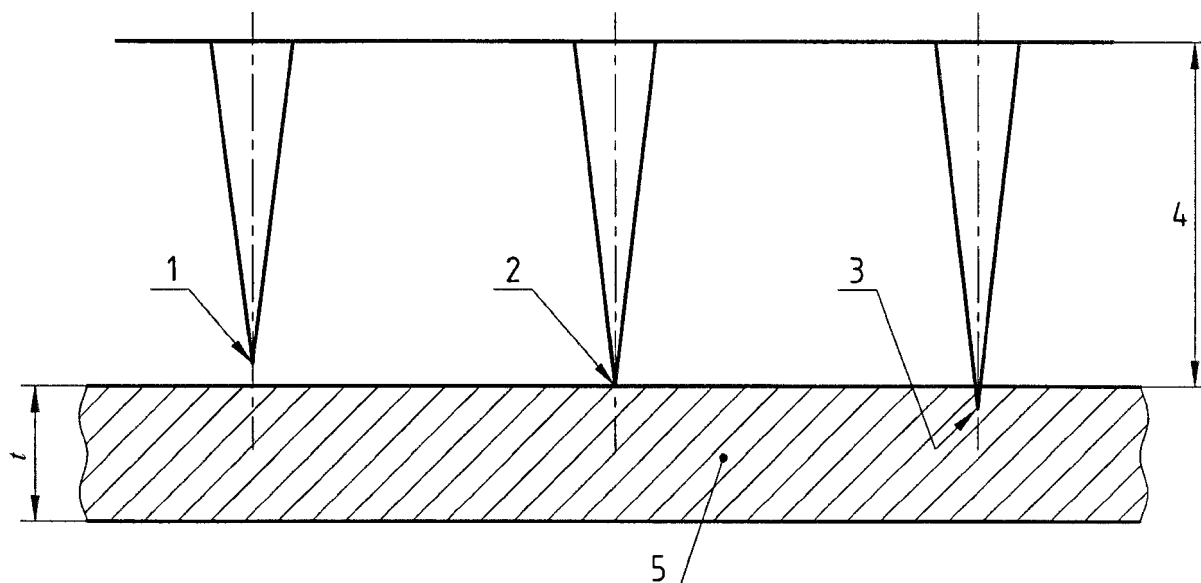
Abstand zwischen den Abschnitten der zu schweißenden Seiten eines geraden Werkstücks

ANMERKUNG Der Abstand hängt von der Gestaltung der zu schweißenden Verbindung ab (für Schweißungen von Axialrundnähten und Rundnähten, siehe EN 1011-6).

3.2.1.8 Fokusslage

Abstand zwischen dem Auftreffpunkt des Strahls auf dem Werkstück und dem Fokuspunkt

ANMERKUNG Üblicherweise ist dieser Abstand negativ, wenn sich der Fokuspunkt innerhalb des Werkstücks befindet, siehe Bild 2.



Legende

- 1 Positive Fokusslage (+ 1 mm)
- 2 Normale Fokusslage
- 3 Negative Fokusslage (- 1 mm)
- 4 Arbeitsabstand
- 5 Werkstück

Bild 2

3.2.1.9 Strahlleistung

Die Strahlleistung wird mit einem Kalorimetergerät gemessen, das den gesamten oder einen Teil des Strahls absorbiert

3.2.1.10 Schweißgeschwindigkeit

Länge der - auf der Auftreffseite des Strahls - geschweißten Naht je Zeiteinheit

3.2.2 Andere technische Begriffe

3.2.2.1 Serienschweißung

Serien von Schweißungen an identischen Werkstücken, ausgeführt an der gleichen Maschine, ohne Änderungen der Einstellungen, ohne Ausführung anderer Schweißnähte an der Maschine und ohne Unterbrechung der Fertigung für mehr als eine Woche (Arbeitstage)

3.2.2.2 Heftnaht

Ununterbrochene oder unterbrochene Schweißnaht entlang der Verbindungsfläche zum Fixieren von Werkstückeinteilen, bis die Schweißung ausgeführt ist, wobei das gleiche Verfahren wie für das Schweißen angewendet wird. Das Schweißen der Heftnaht erfolgt in der Regel mit verringerter Strahlleistung.

3.2.2.3 Probe für die Verifizierungseinstellung

Ebene oder runde Probe aus dem gleichen Werkstoff und mit gleicher Wärmebehandlung wie das zu schweißende Werkstück. Auf der Probe wird mit identischen Parametern, wie sie für das Schweißwerkstück angewendet werden, in der Mitte eine Blindnaht geschweißt. Bewertet wird nach vorheriger Festlegung das Verhältnis der makrographischen Form des Querschliffes der Blindnaht mit der auf dem geschweißten Werkstück (Proben oder Teile der Fertigung).

3.2.2.4 Gefügezustand

Zustand des kristallinen Metallgefüges

3.2.2.5 Fertigung

Durchführung von Schweißvorgängen an neuen Teilen oder Instandsetzungen an Teilen

3.2.2.6 Qualitätsgesicherte Fertigung

Fertigung, bei der die Betriebssicherheit ohne Qualitätsbeeinträchtigung über mehrere Schweißabläufe gesichert werden kann, deren Anzahl vorher durch den entsprechenden Fachbereich der Konstruktionsstelle festgelegt wurde

3.2.2.7 Glättungslage oder Kosmetiklage

oberflächiges Wiederaufschmelzen der Schweißnaht

3.2.2.8 Charge der Werkstücke

Werkstücke mit dem gleichen Bezug auf:

- den gleichen Schweißablauf;
- die gleiche Charge der Wärmebehandlung;
- zurückverfolgbaren Werkstoff (Behandlung, chemische Analyse, usw.)

3.2.2.9 Werkstoff/Grundwerkstoff

zur Herstellung der Werkstücke verwendeter Werkstoff oder verwendetes Metall

3.2.2.10 Schweißzusatzwerkstoff

zusätzliche Legierung oder zusätzliches Metall einer Schweißnahtverbindung oder zum Auftragsschweißen

3.2.2.11 Spannvorrichtung

Vorrichtung zum Fixieren und Positionieren der Werkstücke vor und nach dem Schweißen

3.2.2.12 Einzelteil

einzelnes Werkstück, das mit weiteren Werkstücken zu einem Teil zusammengefügt wird

3.2.2.13 aus Teilen bestehendes Produkt

Produkt, das aus mehreren zusammengefügt Einzelteilen besteht

3.2.2.14 Heftschweißen

Vormontage von Werkstückeinteilen durch Schweißen einer Reihe von Heftpunkten entlang der Verbindungsfläche (mittels Laser oder einem alternativen Prozess, z. B. WIG), um die Werkstückeinteile zu fixieren

3.2.2.15 Vorwärmen

Wärmen von Werkstücken vor dem Schweißen

ANMERKUNG Dieses Verfahren kann mit reduzierter Strahlleistung oder mit jedem anderen Verfahren durchgeführt werden.

3.2.2.16 Blindschweißnaht

Schweißnaht, die keine Werkstücke verbindet

3.2.2.17 Qualifizierungsprobe – Fertigungsprobe

- Probe, die die gefertigten Teile repräsentiert, die unter den gleichen Bedingungen wie diese Teile geschweißt sind;
- Probe, die aus der gleichen Werkstoffgüte hergestellt ist, im gleichen Zustand, mit den gleichen Maßen wie das gefertigte Teil

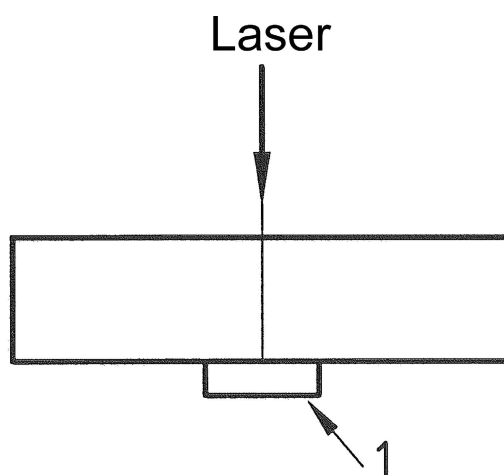
ANMERKUNG Die eigentlichen Fertigteile können Fertigungsproben sein.

3.2.2.18 Schweißbadstütze

Hilfswerkstück an der Unterseite eines Werkstücks zum Stützen des Schmelzbades.

ANMERKUNG Der Werkstoff, aus dem die Schweißbadstütze gefertigt ist, muss aus der gleichen Basislegierung wie das Einzelteil sein, um jegliche Verunreinigung der Schweißnaht zu verhindern.

Die Schweißbadstütze darf wie in Bild 3 dargestellt angebracht werden.



Legende

- 1 Schweißbadstütze

Bild 3

3.2.2.19 Wärmebehandlung

Behandlung, die den geforderten Gefügestand und die geforderten Eigenschaften auf den Grundwerkstoff und den Schweißbereich überträgt

3.3 Allgemeine Begriffe

3.3.1 Kunde

Person oder Unternehmen, die/das einen Auftrag oder eine Bestellung erteilt und dabei die Konstruktionsabteilung sein kann

3.3.2 Hersteller

Person, die Bauteile oder Bauteilgruppen herstellt bzw. fertigt und zusammenfügt

3.3.3 Lieferant

Person oder Unternehmen, die/das einen Auftrag oder eine Bestellung mit der Verpflichtung erhalten hat, der Konstruktionsabteilung eines Unternehmens oder dem Endkunden gegenüber die festgelegten Dienstleistungen zu erbringen

3.3.4 Konstruktionsabteilung

Organisation, die für die Konstruktion der Schweißverbindung und für die Festlegung der Anforderungen an die Durchführung und Prüfung verantwortlich ist

3.3.5 Schweißaufsicht

Person, die für die Durchführung der Schweißaufsicht nach EN ISO 14731 verantwortlich und zuständig ist

3.3.6 Schweißer

Person, die in der Lage ist, das Lasersystem mit der Hand zu führen, mit Zusatzwerkstoff zu schweißen und die Schweißparameter zu ermitteln

3.3.7 Sichtprüfung mit Hilfsmitteln

visuelle Prüfung der Oberfläche mit einem Vergrößerungsglas, einem Endoskop oder anderen Prüfungen (Farbeindringprüfung oder Magnetoskopie, usw.)

3.3.8 Bediener

Person, die adaptiv gesteuerte, automatisierte, mechanisierte oder robotergesteuerte Schweißeinrichtungen bedient

3.3.9 Qualifizierung

Anerkennung, dass ein Schweißer, ein Produkt usw. geeignet ist, die vorgesehenen Funktionen zu erfüllen

3.3.10 Instandsetzung

Fertigung eines neuen Bauteils als Ersatz für ein gleiches Bauteil, das nach der Fertigung und Prüfung nicht den Prüfkriterien entsprach

ANMERKUNG Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft eines Bauteils, das während des Einsatzes beschädigt wurde.

3.3.11 Einrichter

Person, die für die vollständige Programmierung der Maschine, für die Strahlanalyse und die endgültige Festlegung der Schweißparameter verantwortlich ist, und die, falls erforderlich, Schweißvorgänge mit einer mechanisierten oder automatisierten Einrichtung ausführt

3.3.12 Instandsetzungsbetrieb

Unternehmen für Instandsetzungsarbeiten

3.3.13 Verantwortliche Fachabteilung

einzelne Abteilung innerhalb eines Unternehmens, die für bestimmte Aufgaben verantwortlich ist

BEISPIEL Konstruktion, Qualitätssicherung, Labordienste, Verfahrensentwicklung.

3.3.14 offizielle Aufsichtsbehörde

anerkannte staatliche Behörden oder Organisationen, die für die Prüfung der verwendeten Werkstoffe und Schweißarbeiten in Übereinstimmung mit der Produktspezifikation verantwortlich sind

3.3.15 Schweißverfahren

Schweißplan mit vorgeschriebenem Ablauf von Tätigkeiten, der zur Herstellung einer Schweißung zu befolgen ist, einschließlich der(s) Schweißprozesse(s), der Hinweise auf die Werkstoffe, die Schweißzusätze, die Vorbereitung, die Vorwärmung (falls notwendig), Verfahren und die Überwachung des Schweißens sowie die Wärmenachbehandlung (falls entscheidend) und die notwendigen eingesetzten Einrichtungen

[ISO/TR 25901]

3.3.16 Schweißanweisung WPS

(en: welding procedure specification)

Dokument, das durch ein Verfahren qualifiziert wurde und die erforderlichen Einflussgrößen des Schweißverfahrens enthält, um die Wiederholbarkeit beim Schweißen in der Fertigung sicherzustellen

[ISO/TR 25901]

3.3.17 zerstörungsfreie Prüfung

Bestimmen der Eignung eines Werkstoffs oder Bauteils für seinen vorgesehenen Zweck unter Anwendung von Verfahren, die seine Betriebsfähigkeit nicht beeinträchtigen

[ISO/TR 25901]

ANMERKUNG Das Personal muss nach EN 4179/NAS 410 qualifiziert sein.

4 Symbole und Abkürzungen

GLW	Gas-Laserstrahlschweißen (en: gas laser welding)
SLW	Festkörper-Laserstrahlschweißen (en: solid state laser welding)
<i>P</i>	Schweißleistung
<i>E</i>	Schweißenergie
<i>V</i>	Schweißgeschwindigkeit
WPS	Schweißanweisung (en: welding procedure specification)

5 Schweißbarkeit

5.1 Begriff der Schweißbarkeit

Ein metallischer Werkstoff wird mit einem bestimmten Verfahren und für eine vorgegebene Anwendungsart als schweißbar bis zu einem bestimmten Grad unter der Voraussetzung angesehen, dass die entsprechenden Maßnahmen getroffen werden, der Werkstoff zum Aufbringen einer Schweißnaht geeignet ist, die durch ihre Merkmale und die Folgen ihres Vorhandenseins die als Grundlage für eine Beurteilung gewählten geforderten Eigenschaften erfüllt.

5.2 Schweißbarkeitsgrad

Die Schweißbarkeit von Werkstoffen wird wie folgt nach Grad 1 bis Grad 4 beurteilt (siehe EN 4632-001):

- Grad 1: Werkstoff, der eine sehr gute Schweißbarkeit aufweist und für den keine besonderen Maßnahmen erforderlich sind. Bevorzugt zu verwenden.
- Grad 2: Werkstoff, der eine gute Schweißbarkeit aufweist, für den aber voraussichtlich besondere Schweißmaßnahmen (z. B. Vorwärmen, geringe Vorschubgeschwindigkeit, usw.) erforderlich sind.
- Grad 3: Werkstoff, der eine schlechte Schweißbarkeit aufweist, für den bei jeder Art von Bauteil eine bestimmte Entwicklung erforderlich ist und voraussichtlich zu Fertigungsschwierigkeiten führt. Nicht zu empfehlen.
- Grad 4: Werkstoff, der eine sehr schlechte Schweißbarkeit aufweist. Ist zu vermeiden.

6 Allgemeine Anforderungen

6.1 Sicherheitsklassen der Schweißnähte

Für die Festlegung der Schweißsicherheitsklassen ist die Konstruktionsabteilung verantwortlich.

6.1.1 Fertigung neuer Bauteile

Zum Zeitpunkt der Konstruktion des Teils muss die verantwortliche Konstruktionsabteilung für jede Schweißverbindung eine Sicherheitsklasse festlegen: 1, 2 oder 3, wobei mit aufsteigender Nummer die Funktionsanforderungen geringer werden.

Die Anforderungen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Eine höhere Sicherheitsklasse darf bei außergewöhnlichen Problemstellungen gefordert werden, z. B. bei besonderen Schwierigkeiten in der Fertigung oder bei der Inspektion.

Tabelle 1 — Spezifikationen der Schweißsicherheitsklassen

Teilfunktion	Versagen der Schweißverbindung	
	Kann die geforderte Funktion des Teils beeinflussen	Ohne wesentliche Beeinflussung der Funktion des Teils
Sicherheitskritische Funktion	1	2
Andere Funktionen	2	3

Ein vorhandenes Teil kann unterschiedliche Sicherheitsklassen aufweisen.

Jede Sicherheitsklasse gilt für folgende Fertigungsbereiche:

- Anwendung vor der Herstellung;
- Nachverfolgen während der Herstellung;
- Überprüfung der Schweißverbindungen;
- Zulässigkeitskriterien.

Für die Sicherheitsklassen 1 und 2 prüft die Konstruktionsabteilung mit der Qualitätskontrolle die Übereinstimmung der Schweißnahtprüfungen mit den Funktionsanforderungen des Teils.

Für Schweißnähte der Sicherheitsklasse 1 werden Überlappungsnähte, gebördelte oder steilkantige Schweißstöße nicht empfohlen (siehe Zeichnung in Tabelle 4).

Für Schweißnähte der Sicherheitsklassen 2 und 3 müssen überlappende Nähte, gebördelte Nähte oder steilkantige Schweißstöße und Verbindungen ohne Durchschweißungen in besonderen technischen Spezifikationen behandelt werden.

6.1.2 Instandsetzung

Der Instandsetzende muss die Empfehlungen der Konstruktionsabteilung befolgen.

Werden jedoch die Zulässigkeitskriterien dieser Norm aufgrund der Anforderungen von Abschnitt 6 ausgewählt, darf der Instandsetzende eine Schweißsicherheitsklasse vorschlagen. Er muss dazu die Zustimmung der Konstruktionsabteilung oder einer offiziellen damit beauftragten Aufsichtsbehörde einholen.

6.2 Schweißmaschinen

Die für das Schweißen verwendeten Maschinen müssen mit EN ISO 15616-1, EN ISO 15616-2, EN ISO 15616-3, EN ISO 22827-1 und EN ISO 22827-2 übereinstimmen.

Insbesondere müssen Maschinen, wenn sie erworben oder instandgesetzt wurden, spezifischen Qualitätsprüfungen nach EN ISO 15616-1, EN ISO 15616-2 und EN ISO 22827-1 unterzogen worden sein.

6.3 Bediener, Schweißer und Einrichter

6.3.1 Ausbildung

6.3.1.1 Ausbildung des Bedieners

Für jeden Fertigungs- oder Instandsetzungsvorgang muss der Bediener der Laserstrahlschweißmaschine einen Ausbildungslehrgang, der vom zuständigen Fachbereich des Herstellers (Hersteller des Teils) oder von einer externen Ausbildungsorganisation durchgeführt wird, in folgenden Punkten abgeschlossen haben:

- technische Ausbildung für das Verfahren;
- Bedienung der verwendeten Maschine (Stromversorgung, usw.);
- Sicherheitsmaßnahmen, die im Zusammenhang mit der Maschine und dem Schweißvorgang stehen;
- Ausrüstung, Instrumente und Spannvorrichtungen, die für die ordnungsgemäße Bedienung der Maschine und Durchführung des Schweißvorganges erforderlich sind;
- Anzeigen und Verifizieren der Schweißvorgänge;
- Positionieren des Fokuspunktes auf die Werkstückoberfläche;
- Prüfung der Strahlposition zur Verbindungsfläche;
- Prüfung der Schweißnahtoberfläche und der Geometrie der Schweißverbindung.

Der Bediener muss seiner Ausbildung entsprechend Verbindungs- und Blindnähte an Normteilen, Proben und/oder Fertigungsproben gemäß den gültigen Anweisungen schweißen.

6.3.1.2 Ausbildung des Schweißers

Schweißer, die das Laserverfahren per Hand durchführen, müssen in der Lage sein, mit Zusatzwerkstoff zu schweißen und die Schweißparameter zu ermitteln.

Für jeden Fertigungs- oder Instandsetzungsvorgang muss der Schweißer der Laserstrahlschweißmaschine einen Ausbildungslehrgang, der vom zuständigen Fachbereich des Herstellers (Hersteller des Teils) oder von einer externen Ausbildungsorganisation durchgeführt wird, in folgenden Punkten abgeschlossen haben:

- technische Ausbildung für das Verfahren;
- Bedienung der verwendeten Maschine (Stromversorgung, usw.);
- Sicherheitsmaßnahmen, die im Zusammenhang mit der Maschine und dem Schweißvorgang stehen;
- Ausrüstung, Instrumente und Spannvorrichtung, die für die ordnungsgemäße Bedienung der Maschine und Durchführung des Schweißvorgangs erforderlich sind;
- Anzeigen und Verifizieren der Schweißvorgänge;
- Positionieren des Fokuspunktes auf die Werkstückoberfläche;
- Prüfung der Strahlposition zur Verbindungsfläche;
- Prüfung der Schweißnahtoberfläche und der Geometrie der Schweißverbindung;
- endgültige Festlegung der Parameter und Erstellung der erforderlichen Dokumente.

Der Schweißer muss seiner Ausbildung entsprechend Verbindungs- und Blindnähte an Normteilen, Proben und/oder Fertigungsproben gemäß den gültigen Anweisungen schweißen.

6.3.1.3 Ausbildung des Einrichters

Für jeden Fertigungs- oder Instandsetzungsvorgang muss der Einrichter der Laserstrahlschweißmaschine einen Schulungslehrgang, der dem des Bedieners und Schweißers entspricht, und sowohl einen theoretischen als auch einen technischen Ausbildungslehrgang abgeschlossen haben, die vom zuständigen Fachbereich des Herstellers (Hersteller des Teils) oder von einer externen Ausbildungsorganisation durchgeführt werden.

Die Ausbildung betrifft:

- die vollständige Programmierung der Maschine;
- Analyse der Strahlqualität nach EN ISO 15616-1, zum Beispiel das Bedienen einer Strahlanalysevorrichtung zum Messen der Strahlposition, des Fokusedurchmessers und der räumlichen Verteilung der Strahlenergie;
- endgültige Festlegung der Parameter und Erstellung der erforderlichen Dokumente;

Der Einrichter muss einen Schweißvorgang zum Abschluss seiner anzuerkennenden Ausbildung vorbereiten.

6.3.2 Qualifizierung

6.3.2.1 Qualifizierung des Bedieners und Schweißers

Die Untersuchung der körperlichen Tauglichkeit (Sehfähigkeit) des Bedieners und des Schweißers wird in Übereinstimmung mit der Prüfung und den Anforderungen der nachstehenden Tabelle 2 oder mit einer Prüfung vorgenommen, die von der Konstruktionsabteilung als gleichwertig beurteilt wurde.

Tabelle 2 — Anforderungen an die Qualifizierung des Bedieners und Schweißers

Prüfung	Anforderung
Nahbereich	Zu prüfen ist die Sehschärfe für den Nahbereich. Schweißer und Bediener müssen über eine Sehschärfe von mindestens 20/30 für jedes Auge verfügen und sollen in der Lage sein, auf eine Entfernung von 400 mm die Testkarte Jäger Nr. 2 zu lesen oder sich einer gleichwertigen Prüfung durch einen Augenoptiker zu unterziehen. Um die Anforderungen zu erfüllen, sind andernfalls optische Korrekturen vorzunehmen.
Farbwahrnehmung	Fähig zur Unterscheidung und Differenzierung der Farben, die in dem beteiligten Vorgang angewendet werden. Wenn es nicht möglich ist, eine geeignete Prüfung festzulegen, darf der Ishihara-Test angewendet werden.

Der Sehtest muss nach diesen Anforderungen mindestens alle zwei Jahre wiederholt werden.

Die Qualifizierung des Bedieners und des Schweißers muss die technische Ausbildung und das Schweißen einer Fertigungsprobe nach festgelegten Parametern der Schweißanweisung umfassen. Mindestens ein geschweißtes Teil muss ordnungsgemäß gefertigt worden sein.

Eine Anleitung für die Qualifizierung des Bedieners und Schweißers wird in ISO 24394 gegeben.

Hat der Bediener mehr als sechs Monate keine Schweißungen durchgeführt, muss die Herstellung einer Fertigungsprobe nach einer Schweißanweisung mit festgelegten Parametern erneut erfolgen.

Die technische Ausbildung für das Verfahren muss mindestens einmal alle zwei Jahre nach ISO 24394 wiederholt werden.

Die Qualifizierung des Bedieners und Schweißers muss einer Nachverfolgung der Schweißarbeitsqualität durch eine Qualitätsüberprüfung unterliegen, die auf Konformität und regelmäßigen Prüfungen basiert, die an Standard-Fertigungsschweißungen vorgenommen werden.

Die Qualifizierung des Bedieners und Schweißers muss durch den zuständigen Fachbereich des Herstellers anerkannt werden, der die durchgeführte Ausbildung und die Ergebnisse der Probenherstellung vergleichend bewertet.

Der Hersteller muss die Qualifizierung des Bedieners und Schweißers entsprechend den Anforderungen der vorliegenden Norm oder von einer für die Konstruktionsabteilung akzeptierbaren gleichwertigen Norm überprüfen. Durch Unterlagen belegte Aufzeichnungen müssen aufbewahrt werden.

Bei der Vergabe von Unteraufträgen müssen der Lieferant oder der Instandsetzungsausführende die Qualifizierung des Bedieners und Schweißers überprüfen. Abhängig vom Unternehmen kann die Anwendung folgender Vorgänge erforderlich sein:

- dieses Dokument;
- ein nationales Dokument, dessen Inhalt diesem Dokument gleichwertig ist;
- ein innerbetriebliches Qualifizierungsverfahren, das dem in diesem Dokument beschriebenen als gleichwertig angesehen wird.

Im Fall von Abweichungen oder eindeutig festgestellten Schweißunregelmäßigkeiten liegt die Verantwortung beim Bediener, Schweißer, dem Lieferanten oder dem Instandsetzungsausführenden; das angewendete Qualifizierungsverfahren muss gerechtfertigt werden.

Diese Qualifizierung muss offiziell in einem innerbetrieblichen Dokument schriftlich festgehalten werden.

Des Weiteren müssen Bediener und Schweißer die folgenden Prüfungen absolvieren:

- betriebsbedingte Wartung der optischen Systeme (Spiegel, Linsen);
- Prüfung des Fokusabstands an dem zu schweißenden Teil (Abstand gemessen zwischen einem Bezugspunkt des Schweißkopfes und den zu schweißenden Teilen);
- Durchführung einer Schweißung nach der Schweißanweisung und Sichtprüfung der erhaltenen Schweißnahtqualität.

6.3.2.2 Zusatz zur Qualifizierung des Schweißers

Schweißer, die das Laserverfahren per Hand durchführen, müssen in der Lage sein, mit Zusatzwerkstoff zu schweißen und die Schweißparameter zu ermitteln.

6.3.2.3 Qualifizierung des Einrichters

Das während der Ausbildung (siehe 6.3.2.1) festgelegte Verfahren muss die Fertigung von geschweißten Teilen durch den Einrichter oder einen Bediener umfassen und durch den zuständigen Fachbereich als übereinstimmend bewertet werden.

Die Qualifizierung des Einrichters muss vom zuständigen Fachbereich des Herstellers anerkannt sein, der den anschließenden Schulungslehrgang ausrichtet.

Falls der Einrichter Fertigungsvorgänge durchführt, muss er nach 6.3.2.1 qualifiziert sein.

Diese Qualifizierung muss offiziell in einem innerbetrieblichen Dokument schriftlich festgehalten werden.

6.4 Verantwortlichkeit

Die Auswahl und die Durchführung einer zerstörungsfreien Prüfung, die in dieser Norm nicht gefordert wird, liegt in der Verantwortung des zuständigen Fachbereichs des Hersteller oder Lieferers mit vorhergehender Zustimmung der Konstruktionsabteilung.

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

Wenn die in der vorliegenden Norm festgelegten Anforderungen nicht beachtet werden, dürfen die zuständigen Fachbereiche des Herstellers, der Lieferanten oder Instandsetzungsausführende vom Hersteller die Einstellung der Fertigung verlangen.

Nur die Konstruktionsabteilung ist berechtigt, die endgültige Entscheidung über die Eignung fehlerhafter geschweißter Teile in Übereinstimmung mit geschweißten Teilen zu treffen.

7 Technische Anforderungen an die Herstellung neuer Teile

7.1 Werkstoffe

Bei allen Schweißungen sollte die Schweißbarkeit der/des Werkstoffe(s) einschließlich des Grundwerkstoffs und - wenn unterschiedliche Werkstoffe zu fügen sind - deren gemeinsame Schweißbarkeit bekannt sein (siehe EN 4632-001 bis EN 4632-006) oder durch geeignete Versuche ermittelt werden.

Anderenfalls muss die Konstruktionsabteilung die Prüfungen durchführen lassen zur Ermittlung:

- des Schweißbarkeitsgrades der betreffenden Werkstoffe;
- der Wärmebehandlung vor oder nach dem Schweißen;
- der vor dem Schweißen zu erfüllenden Anforderungen: schweißgerechte Bauteilkonstruktion, Schweißnahtform, chemische und physikalische Anforderungen, Oberflächenbehandlung.

7.2 Vorbereitung und Qualifizierung der Schweißanweisung

7.2.1 Zweck

Alle Parameter eines Schweißvorgangs müssen in einer Schweißanweisung festgelegt und qualifiziert werden:

- Beginn der Herstellung neuer Produkte auf einer vorhandenen Maschine;
- nach jeder Veränderung an der automatisierten Schweißmaschine, die möglicherweise Verfahrensparameter beeinflusst, beispielsweise:
 - Ortswechsel der Maschine;
 - Änderung an elektrischen Komponenten der Maschine;
 - Änderung der Energieversorgung oder Versorgungsquelle;
 - Änderung der Faserleitung;
 - Änderung der Fokussierung (Brennweite des Spiegels oder der Linse);
 - Änderung der Position des optischen Kopfes und der Bewegungseinrichtungen;
 - Änderung der Spannvorrichtung (Montage eines Mehrstationensystems, Änderung der Strahlführung, usw.);
- in jedem Fall muss die Maschine mit EN ISO 15616-1, EN ISO 15616-2 und EN ISO 15616-3 oder einem Dokument übereinstimmen, das zwischen dem Anwender und dem Hersteller der Maschine vereinbart wurde;
- usw.

Die Qualifizierung der Schweißanweisung muss in folgenden Fällen wiederholt werden, wenn die Abnahmeprüfungen andere Ergebnisse als im Vergleich vor den Änderungen an der Maschine ergeben:

- vor jeder Änderung des Herstellungsverfahrens eines Produktes, das bereits hergestellt wird, und die wahrscheinlich die Verbindungsqualität beeinflusst, beispielsweise:
 - Oberflächenbehandlung;
 - Schweißnahtdicke;
 - Wärmebehandlung vor und nach dem Schweißen;
 - Änderung der Spannvorrichtung für Schweißteile;
 - usw.
- Überführung in eine höhere Schweißsicherheitsklasse;
- Veränderungen aufgrund von unregelmäßigen Problemen, die bei der Herstellung entstehen, entsprechend den Verfahren in 7.3 und 7.4.

Jedoch erfordert der Herstellungsbeginn eines neuen Produktes nicht die Vorbereitung und Qualifizierung einer neuen Schweißanweisung, wenn eine für eine Verbindung bestehende folgende Bedingungen erfüllt:

- gleiche oder höhere Schweißsicherheitsklasse;
- gleicher Werkstoff mit gleichem Gefügestand;
- identische Geometrie der Verbindung;
- gleiche Spannvorrichtung.

Die Qualifizierung wird vom zuständigen Fachbereich des Hersteller oder Lieferanten entschieden.

Die Konstruktionsabteilung darf nach freiem Ermessen ein zusätzliches Qualifizierungsverfahren veranlassen oder die Veranlassung fordern.

7.2.2 Beschreibung der Verbindung

Die Beschreibung der Verbindungen kann in einem Dokument, vorzugsweise in der Schweißanweisung, erfolgen.

Dies umfasst beispielsweise:

- Bezug auf dieses Dokument;
- Teile: Beschreibung der Schweißverbindung und des Herstellverfahrens;
- Beschreibung der Maschine und des Aufstellungsortes;
- Laserstrahlschweißverfahren: Gas- (CO_2); Festkörper- (YAG) oder Dioden- (Halbleiter);
- Schweißsicherheitsklasse;
- Kennzeichnung des Einzelteils:
 - Werkstoffe: Güteklasse, Herstellung des Produkts (gewalzt, geschmiedet, verformt usw.), Dicke oder Durchmesser der zu verbindenden Teile;
 - Gefügestand gekennzeichnet durch:
 - Wärmebehandlungen vor dem Schweißen oder;
 - Festigkeitseigenschaften, Härte, usw.
 - Beschreibung der Schweißstöße, sowie der Badstütze und der Einspannbereiche:
 - Übersicht mit der Festlegung des oben Aufgeführten (für andere Verbindungen als Stumpfnähte, sind in der geforderten Beschreibung die geometrischen Kennzeichen und die Vorbereitung der Kanten die Kantenvorbereitung jene der zu qualifizierenden Verbindung anzugeben).
 - Bedingungen der zu schweißenden Oberflächen, Oberflächenbehandlung:
 - mechanische oder chemische Vorbereitung;
 - Reinigen (Art und Anwendungsmethode der Reinigungsprodukte, einschließlich aller zeitlichen Begrenzungen vor dem Schweißen).
 - Bezug auf die Positionierung und die zu verwendende Schweißspannvorrichtung;
 - Betriebsparameter:
 - Bedingungen für das Vorheizen der Maschine, falls zutreffend;
 - Greif- und Spannvorrichtungen des Einzelteils;
 - Verwendung von Anlauf- und Auslaufstücken für Längsschweißungen;
 - Arbeitsabstand, Schweißkantenversatz und Strahlversatz in Bezug auf die Verbindungsfläche;
 - Schweißparameter (Fokusabstand, Laserleistung, Strahlimpuls, Brennweite, Schweißgeschwindigkeit, Fokusslage, Anzahl der Schweißlagen, Positionierung des Fokuspunktes, Slope up, Slope down, Strahlversatz, Düsendurchmesser, Arbeitsabstand, Art und Durchflussrate des Schutzgases für Ober- und Wurzelseite der Schweißnaht);
 - Schweißpositionen, siehe EN ISO 6947;
 - Zusatzwerkstoff (Güteklasse, Form (Draht oder Band), Abmessungen, Zuführgeschwindigkeit);
 - Heftlage, Schweißlage und/oder Glättungslage sowie Angaben über das zum Heftschiessen verwendete Schweißverfahren, sofern es sich nicht um Laserstrahlschweißen handelt.
 - Einzelheiten zur Wärmebehandlung nach dem Schweißen, einschließlich jeder zeitlichen Begrenzung nach dem Schweißen;
 - zulässige Formveränderung im Einspannbereich;