

Das Merkblatt enthält Anleitungen zur einheitlichen und vergleichbaren Prüfung von Parametern beim Laserstrahlschweißen. Eine Reihe dieser Parameter sind ausreichend definiert. Für die Prüfung anderer wichtiger Parameter werden Empfehlungen gegeben.

Die mit diesem Merkblatt gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse können mit verwertet werden bei einer späteren Normung von Abnahmeprüfungen für Laserstrahlschweißanlagen.

Das Merkblatt ist in Zusammenarbeit mit Herstellern und Anwendern von Laserstrahlschweißanlagen sowie Forschungsinstituten aufgestellt worden.

Inhalt:

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Kenngrößen und Maßeinheiten
- 3 Zweck der Prozeßsicherung
- 4 Voraussetzungen für einen überprüfbaren Anlagenbetrieb
- 5 Prüfen der wichtigsten Schweißparameter
- 6 Indirekte Überprüfung der Schweißparameter
- 7 Mitzubeachtende Vorschriften und Technische Regeln

Strahlkennzahl	K	—
Laserwellenlänge	λ	μm
(für CO ₂ -Laser: $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$)		
Fokussierzahl	$F = \frac{f}{d_s}$	—

1 Anwendungsbereich

Das Merkblatt gilt für das Prüfen von wichtigen Schweißparametern bei Anwendung des Schmelzschweißens von metallischen Werkstoffen mit CO₂-Lasern über 500 W mittlerer Leistung

Schweißparameter sind:

- Strahlleistung am Ort des Werkstücks (5.1)
- Durchmesser des fokussierten Laserstrahls (Fokusedurchmesser) (5.2)
- Fokustiefe des Laserstrahls (5.3)
- Strahlkennzahl der Laserstrahlschweißanlage (5.4)
- Strahlsymmetrie (Elliptizität) (5.5)
- Intensitätsverteilung (Leistungsflußdichte-Verteilung) in der Fokusebene und im Bereich der Fokustiefe (5.6)
- Polarisation der Strahlung (5.7)
- Schweißgeschwindigkeit (5.8)
- Positionierung des Fokuspunktes (5.9)
- Gasstrom zur Plasmapbeeinflussung (Arbeitsgas) (5.10)
- Schutzgas (5.11)

2 Kenngrößen und Maßeinheiten

Im folgenden werden die in diesem Merkblatt verwendeten Kenngrößen und Maßeinheiten genannt:

Strahlleistung	P	kW
Intensität	I	W/cm ²
Strahldurchmesser	d_s	mm
Fokusedurchmesser	d_f	mm
Fokusradius	r_f	mm
Fokustiefe	z_f	mm
Schweißgeschwindigkeit	v_s	mm/s
Strahldivergenz	Θ_s	mrad
Brennweite	f	mm (Zoll)
Strahlqualität	Q	—

3 Zweck der Prozeßsicherung

Die in Abschnitt 5 festgelegten Kenngrößen gehören zu den wichtigsten Schweißparametern beim Laserstrahlschweißen. Mit dem Prüfen der Schweißparameter ist nachzuweisen, ob die Schwankungen dieser Kenngrößen innerhalb zulässiger Grenzen liegen.

4 Voraussetzungen für einen überprüfbaren Anlagenbetrieb

Die Laserstrahlschweißanlage ist so aufzustellen und zu installieren, daß der Ablauf des Schweißvorganges durch äußere Einflüsse (zum Beispiel mechanische Schwingungen, Luftverunreinigungen) nicht gestört wird. Die Anschlußbedingungen bzw. Betriebsanleitungen der Anlagenhersteller sind einzuhalten.

5 Prüfen der wichtigsten Schweißparameter

Das Prüfen der Kenngrößen sollte am Ort des Werkstücks vorgenommen werden.

Die nachstehenden Prüfungen können sowohl zum Zeitpunkt der Abnahme der Laserstrahlschweißanlage als auch für Prozeßkontrollen dieser Anlage im Laufe der Fertigung durchgeführt werden.

5.1 Strahlleistung am Ort des Werkstücks

Die geforderte Leistungsstabilität ist abhängig von der Schweißgeschwindigkeit v_s und dem Fokusedurchmesser d_f . Für Zeiten $t > 5 d_f/v_s$ sollten die Schwankungen der Strahlleistung nicht mehr als $\pm 5\%$ betragen.

In Zeiten $t < 5 d_f/v_s$ sind in der Regel Schwankungen von $\pm 10\%$ der Strahlleistung im cw-Betrieb (Dauerstrichbetrieb) zulässig.

Ein industrietaugliches Gerät zum Messen der Kurzzeitstabilität der Strahlleistung P ist zur Zeit in der Entwicklung und in näherer Zukunft verfügbar.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e. V. und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Technischer Ausschuß, Arbeitsgruppe „Strahlschweißen und -sondervfahren“

Da die meisten Leistungsmeßgeräte nicht im fokussierten Strahl messen können, ist im hinreichenden Abstand vom Fokuspunkt unterhalb der Fokussieroptik zu messen.

5.2 Durchmesser des fokussierten Laserstrahls (Fokusedurchmesser)

Als Bezugsgröße für den Fokusedurchmesser sowie für den Strahldurchmesser an einem beliebigen Ort wird die Strahlquerschnittsfläche verwendet, in welcher 86% ($1 - \frac{1}{e^2} = 0,86$) der Strahlleistung enthalten sind. Bei nicht radialsymmetrischer Strahlgeometrie sind der minimale und maximale Strahldurchmesser im Fokus anzugeben.

Der Fokuspunkt ist der Ort (Fokuslage), an dem der Strahl die kleinste Strahlquerschnittsfläche hat.

Der Fokusedurchmesser sollte analog der Strahlleistung auf $\pm 5\%$ konstant bleiben. Kurzzeitfluktuationen können zur Zeit noch nicht erfaßt werden.

5.3 Fokustiefe des Laserstrahls

Die Fokustiefe z_f ist der Abstand zwischen den beiden Strahlquerschnittsflächen, die doppelt so groß sind wie die Strahlquerschnittsfläche im Fokuspunkt, Bild 1. Bei radialsymmetrischen Strahlverteilungen hat sich der Fokusedurchmesser an den Grenzen der Fokustiefe um den Faktor $\sqrt{2}$ vergrößert.

Die Fokustiefe ist besonders für die maximal mögliche Schweißtiefe (Schmelzzonentiefe) von Bedeutung.

Die Angabe einer zulässigen Schwankungsbreite für die Fokustiefe ist nicht erforderlich, da sich diese aus dem Fokusedurchmesser und der Fokuslage ergibt.

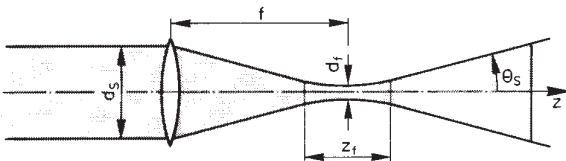


Bild 1. Darstellung der geometrischen Kenngrößen zur Fokussierung von Laserstrahlen.

5.4 Strahlkennzahl der Laserstrahlschweißanlage

Die einzelnen Strahlparameter sind voneinander nicht unabhängig wählbar.

Für den praktischen Gebrauch kann eine Strahlkennzahl K eingeführt werden.

Je größer diese Kennzahl K ist, desto größer ist die Strahlqualität. Der größtmögliche Wert ist 1 und wird bei einer Gaußschen Intensitätsverteilung (TEM₀₀) erreicht. Die Kennzahl steht in einem direkten Zusammenhang mit der Art der Strahlverteilung im Strahl. Da aus der Art der Strahlverteilung bei Hochleistungslasersystemen nur selten eine exakte Kennzahl angegeben werden kann, empfiehlt sich eine experimentelle Ermittlung. Hierzu müssen in der Regel nur zwei Größen gemessen werden (dies gilt insbesondere für rotationssymmetrische Intensitätsverteilungen):

- der Durchmesser des fokussierten Laserstrahls d_f ,
- der Durchmesser des unfokussierten Laserstrahles d_s am Ort der fokussierenden Optik:

$$K = \frac{4\lambda}{\pi} \cdot f \cdot \frac{1}{d_s d_f}$$

Die Größe $F = f/d_s$ wird als „F-Zahl“ = Fokussierzahl bezeichnet. Der Wert $1/F$ entspricht dem Öffnungsverhältnis.

Die Ermittlung der Strahlkennzahl K über die Messung der Fokustiefe ist ebenfalls möglich:

$$K = \frac{2\lambda \cdot z_f}{\pi d_f^2}$$

Während die Strahlkennzahl in Kombination mit der Strahlleistung die Möglichkeiten einer Laserstrahlschweißanlage beschreibt, wird das Bearbeitungsergebnis durch die Fokusparameter wie Fokusedurchmesser, Fokustiefe und Strahlleistung bestimmt.

Durch die Angabe der Strahlkennzahl K, der Fokussierzahl F und der Strahlleistung P sind die Laserstrahlparameter einer Schweißung eindeutig beschrieben (gilt für rotationssymmetrische Strahlen).

Je größer die Kennzahl und je größer die Strahlleistung ist, desto geeigneter ist die Laserstrahlanlage zum Schweißen.

5.5 Strahlsymmetrie (Elliptizität)

Bei elliptischer bzw. nicht rotationssymmetrischer Strahlverteilung ist die Lage von minimalem und maximalem Strahldurchmesser bezogen auf die Schweißrichtung eine das Schweißergebnis charakterisierende Kenngröße. Besonders beim Schweißen mit bewegten Optiken und beim Schweißen in unterschiedlichen Richtungen ist die Lage der Strahlverteilung an die momentane Schweißrichtung anzupassen.

5.6 Intensitätsverteilung (Leistungsflußdichte-Verteilung) in der Fokusebene und im Bereich der Fokustiefe

Die Intensitätsverteilung ist mit der Verteilung der Leistungsflußdichte identisch. Sie wird in W/cm² angegeben. Änderungen der maximalen Intensität sowie der Intensitätsverteilung in der Fokusebene als auch im Bereich der Fokustiefe können das Schweißergebnis beeinflussen. Ein Wert für zulässige Abweichungen kann zur Zeit nicht angegeben werden. Eine Änderung der Intensitätsverteilung hat in der Regel eine Änderung der Kennzahl zur Folge und wird somit über die Größen Fokusedurchmesser und Fokustiefe mit erfaßt.

5.7 Polarisation der Strahlung

Die Richtung der Strahlungspolarisation bezogen auf die Schweißrichtung kann besonders bei relativ geringen Strahlungsintensitäten und bei größeren Schweißgeschwindigkeiten die Schweißtiefe beeinflussen. Der Grad der Polarisation und die Polarisationsrichtung sind zu kennzeichnen und gegebenenfalls zu kontrollieren.

Beim Konturenschweißen empfiehlt es sich, mit zirkularpolarisierter Laserstrahlung zu arbeiten.

5.8 Schweißgeschwindigkeit

Die Schweißnaht wird durch die Schweißgeschwindigkeit in ähnlicher Weise wie durch die Strahlleistung beeinflusst. Sie sollte deshalb in reproduzierbarer Weise $\pm 2\%$ genau einstellbar sein.

5.9 Positionierung des Fokuspunktes

Die Positioniergenauigkeit ergibt sich aus der geforderten Konstanz des Fokusedurchmessers und der Fokuslage:

- quer zur Strahlachse etwa 1/4 der mittleren Nahtbreite,
- in Strahlachse etwa 1/10 der Fokustiefe.

Beeinflusst wird die Positioniergenauigkeit beispielsweise durch die Führungsgenauigkeit der Schweißanlage, die Richtungsstabilität des Laserstrahls, die Bahnsteuerung, die Bauteiltoleranz usw.

5.10 Gasstrom zur Plasmabeeinflussung (Arbeitsgas)

Das Arbeitsgas dient zur Beeinflussung der Plasmawolke über

dem Werkstück und kann die Strahlungseinkopplung in das Werkstück unterstützen. Hierbei sind zu beachten: Anströmwinkel und Auftreffpunkt des Gases, Gasströmung, Düsendurchmesser und verwendete Gasart. Weiterhin ist die Richtung der Gasströmung in Bezug auf die Schweißrichtung (schleppend oder stechend) zu berücksichtigen.

5.11 Schutzgas

Das Schutzgas hat die Funktion, die Schweißnaht vor der umgebenden Atmosphäre zu schützen. Die Bedeutung des Schutzgases ist beim Laserstrahlschweißen geringer als bei herkömmlichen Schweißverfahren, weil auf Grund der geringen Streckenenergie die Schweißzone verhältnismäßig rasch abkühlt.

6 Indirekte Überprüfung der Schweißparameter

Durch Auswerten der Nahtgeometrie anhand von Makroschliffen an Probeschweißungen kann von Zeit zu Zeit überprüft werden, ob sich die Schweißparameter geändert haben.

Einstellwerte, Grundwerkstoff und Werkstückgeometrie sind hierbei anwendungsbezogen zu wählen.

Die Meßwerte sind anwendungsbezogen zu beurteilen.

Eine näherungsweise Überprüfung der Laserstrahlparameter ist durch Plexiglaseinbrände möglich. Überprüft werden können:

- die Intensitätsverteilung des unfokussierten Strahles,
- der Strahldurchmesser und die Symmetrie des unfokussierten Strahles,
- die Lage des Fokuspunktes.

7 Mitzubeachtende Vorschriften und Technische Regeln

Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlen“ (VBG 93). Hauptverband der gewerblich Berufsgenossenschaft, St. Augustin.

DIN 32 511 „Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen; Begriffe für Verfahren und Geräte“.

DIN 1910 Teil 2 „Schweißen; Schweißen von Metallen, Verfahren“. Beuth-Verlag, Berlin/Köln.

Merkblatt DVS 3203 Teil 1 „Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten; Verfahren und Laserstrahlschweißanlagen“.

Merkblatt DVS 3203 Teil 3 „Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten; Laserstrahl-Schweißbeignung metallischer Werkstoffe“ (in Vorbereitung).

Merkblatt DVS 3203 Teil 4 „Qualitätssicherung von CO₂-Laserstrahl-Schweißarbeiten; Nahtvorbereitung und konstruktive Hinweise“.

DVS-Verlag, Düsseldorf.