

Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Strahlformungskomponenten
 - 2.1 Übersicht der Strahlformungskomponenten
 - 2.2 Definition Strahlformungskomponenten
 - 2.2.1 Einzelfokus
 - 2.2.2 Adaptive Optiken
 - 2.2.3 Doppelfokus
 - 2.2.4 Multifokus
 - 2.2.5 Scanner
- 3 Anwendung der Strahlformungskomponenten beim Laserstrahlschweißen
- 4 Anwendungsbeispiele

1 Einleitung

Bei den für die Materialbearbeitung eingesetzten Lasertypen (z. B. CO₂-, Nd:YAG- und Diodenlaser) ist die Leistungsdichte für die direkte Materialbearbeitung, d. h. ohne vorherige Strahlformung in den meisten Fällen zu gering. Dies gilt ohne Einschränkung auch für die Anwendungsbereiche Bohren, Schneiden und Oberflächenbearbeitung.

Benötigt werden deshalb Optiken, mit denen die Leistungsdichte des Laserstrahls an die jeweiligen Erfordernisse der Anwendung angepasst werden kann. Die Strahlformung des Rohstrahls erfolgt hierbei durch Kollimieren, Fokussieren, Teilen oder Bewegen. Die Grundtechniken können innerhalb der Optiken auch kombiniert angewandt werden.

Auch innerhalb des Resonators, der Mikrooptiken des Diodenlasers (hier nicht näher betrachtet) und der Strahlführung kann der

2.1 Übersicht der Strahlformungskomponenten

Art der Strahlformung	Lasertyp Y: Nd:YAG C: CO ₂ -Laser D: Diodenlaser	Technischer Aufwand	Flexibilität	Investitionskosten	Hauptanwendungsbereiche
Einzelfokus					
Linse	Y, C, D	g	g	g	Schneiden, Bohren, Schweißen, Löten
Parabolspiegel	C	g	g	g	Schweißen, Schneiden, Löten
Adaptive Optiken	C	m	m	m	Schweißen, Schneiden, Bohren
Doppelfokus in der Ebene					
Dachspiegel	C	g	g	g	Schweißen
Bifokalspiegel	C	g	g	g	Schweißen
Keil	Y	g	m	g	Schweißen
Doppel-(Mehrfokus), LLK ¹⁾	Y	m	g	m	Schweißen

1) LLK: Laserlichtkabel. Das Laserlichtkabel entspricht einem konfektionierten Lichtwellenleiter mit Steckverbindern und einer integrierten Überwachung bezüglich Leistungsaustritt oder Bruch des Lichtwellenleiters.

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 DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Strahlschweißen“

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

DVS-Merkblätter und -Richtlinien - Stand 2008-12

Art der Strahlformung	Lasertyp Y: Nd:YAG C: CO ₂ D: Diodenlaser	Technischer Aufwand	Flexibilität	Investitionskosten	Hauptanwendungsbereiche
Multifokus					
Faserbündel	Y	m	m	m	Schweißen, Löten
Doppelkeil	Y	g		g	Schweißen
Scanner					
Scanner	Y, C	h	h	h	Schweißen, Härten, Umarmen

In den Spalten Technischer Aufwand, Flexibilität, Investitionskosten bedeutet: g = gering, m = mittel, h = hoch

2.2 Definition Strahlformungskomponenten

2.2.1 Einzelfokus

Durch eine Linse oder ein Objektiv wird die Leistungsdichte eines Laserstrahls erhöht. Dies ist für Anwendungen wie Schweißen oder Schneiden erforderlich. Linsen sind in vielen geometrischen Grundformen (z. B. konkav, konvex, plan-konvex, Meniskus) verfügbar. Aus Einzel- oder Mehrfachkomponenten lässt sich mit ihrer Hilfe der Rohstrahl fokussieren. Die Leistungsverteilung des Rohstrahls bleibt erhalten. Wenn die Laserstrahlung, wie beim Nd:YAG-Laser üblich, über ein LLK zum Bearbeitungsort transportiert wird, so bildet die Linse oder das Objektiv (typischerweise wird die austretende Strahlung durch eine Linse kollimiert (parallelisiert) und danach wieder fokussiert) die austretende Leistungsverteilung auf das Bauteil ab. Es lässt sich, abhängig von der Strahlqualität des Lasers bzw. dem verwendeten LLK beim Nd:YAG-Laser ein sehr kleiner Fokusbereich erreichen. Dieser kann in weiten Grenzen durch Defokussieren an die Erfordernisse der Schweißanwendung angepasst werden.

Für die meisten Schweißanwendungen mit Nd:YAG- und Diodenlasern ist die Strahlformung durch Linsen bzw. Linsensysteme Standard. Dies gilt auch bei cw-Leistungen im Multi-Kilowattbereich. Die Linsen können hier durch Schutzfenster vor Verschmutzung durch Rauch und Schweißspritzer geschützt werden. Mit steigender Laserleistung bei gleichzeitig hoher Strahlqualität treten zunehmende Probleme bezüglich der optischen Stabilität und Standzeit auf (gilt nur bei CO₂-Lasern). Aus diesem Grund werden bei CO₂-Lasern für Schweißanwendungen statt Linsen fast ausschließlich Parabolspiegel eingesetzt. Zudem stehen Schutzfenster für CO₂-Laser im Multi-Kilowatt-Bereich aus Mangel an geeigneten Werkstoffen nicht zur Verfügung. Bei der Auswahl des Linsen- bzw. Spiegeldurchmessers ist die freie Apertur zu beachten.

a) Linse

Die Linse oder das Objektiv wird auch Fokussieroptik genannt. Im Falle von CO₂-Lasern besteht die Fokussieroptik meist nur aus einer Linse aus Zinkselenid oder Galliumarsenid. Bei Nd:YAG-Lasern kommen Linsensysteme aus optischem Glas oder Quarzglas zum Einsatz.

Wichtige Größen:

- d₀: Taillendurchmesser („Fokusbereich“) (50 – 1000 µm)
- d: Rohstrahldurchmesser
- f: Brennweite (70 – 600 mm)
- D: Linsendurchmesser (20 – 75 mm)

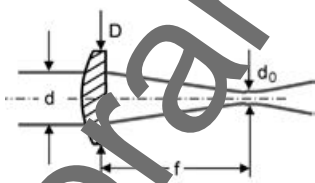


Bild 1. Linse

b) Parabolspiegel

Parabolspiegel werden aus Kupfer gefertigt und sind üblicherweise wassergekühlt.

Wichtige Größen:

- d: Rohstrahldurchmesser (10 – 50 mm) ⁽¹⁾
- d₀: Fokusbereich (10 – 600 µm)
- f: Brennweite (100 – 600 mm)
- D: Spiegeldurchmesser (25 – 100 mm)

⁽¹⁾ Angabe bezieht sich auf den 80%-Durchmesser

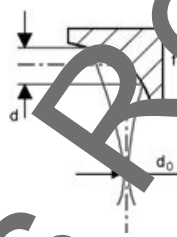


Bild 2. Parabolspiegel.

2.2.2 Adaptive Optiken

2.2.2.1 Zoom-Kollimator

Nach dem LLK tritt der Laserstrahl unter einem vorgegebenen Divergenzwinkel aus. Zur weiteren Strahlformung muß er kollimiert (parallelisiert) werden. Dazu kommen Kollimationsoptiken zum Einsatz, die entweder eine feste (1) oder variable Brennweite (2) besitzen. Durch Änderung der Kollimationsbrennweite kann der Durchmesser d des Laserstrahls auf der Bearbeitungsoptik eingestellt werden. Damit lässt sich der Fokusbereich d₀ gemäß

$$q^* = \frac{1}{4} \cdot d_0 \cdot \theta = \text{konstant}$$

an die verschiedenen Bearbeitungsaufgaben optimal anpassen. Der Strahldurchmesser des kollimierten Strahls ergibt sich zu

$$d = \theta \cdot f_k$$

Durch die Verschiebung eines optischen Elementes im Zoomkollimator kann bei einem nachgeschalteten Bearbeitungsobjektiv zusätzlich noch die Fokusebene verschoben werden.

Wichtige Größen:

- θ: Divergenz des Eingangsstrahls
- f_k: Kollimationsbrennweite (50 – 300 mm)
- d, d_{min}, d_{max}: Strahldurchmesser des Strahls am Ausgang (10 – 50 mm)
- d_{LLK}: Strahldurchmesser des Strahls am Eingang

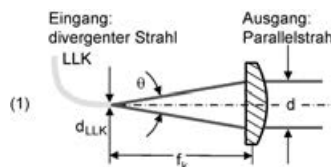


Bild 3a. Zoomkollimator (1).