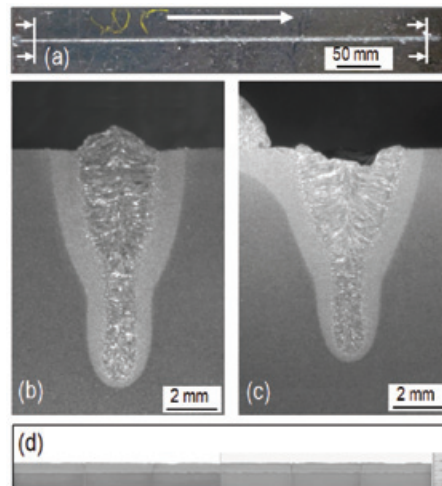


# Laserinduzierter Fokus Shift beim Schweißen mit Hochleistungs-Faserlasern

Moderne Hochleistungs-Faser- und Scheibenlaser bieten eine Kombination aus hoher Laserleistung und hoher Strahlqualität. Beim Laserstrahlschweißen wird der Laserstrahl dieser diodengepumpten Festkörperlaser üblicherweise über eine Lichtleitfaser zur Bearbeitungsstation transportiert und hier durch das Linsensystem des Bearbeitungskopfes auf dem zu bearbeitenden Werkstück fokussiert. Dabei ist die Position der Fokusebene relativ zum Werkstück ein wichtiger Prozessparameter, da durch diese Fokusslage die Intensitätsverteilung des Laserstrahls am Werkstück beeinflusst werden kann.

Die genannte Kombination aus hoher Laserleistung und Strahlqualität ermöglicht eine hohe Leistungsdichte am Werkstück, eine Eigenschaft, die diese Laser insbesondere für das Dickblechschweißen attraktiv macht. Die hohe Strahlintensität liegt aber andererseits auch an den Durchlichtoptiken des Bearbeitungskopfes. Hier kommen üblicherweise Quarzoptiken höchster Glasgüte zum Einsatz, welche aber dennoch einen geringen Anteil des durch die optischen Elemente tretenden Laserstrahls absorbieren können. Aufgrund der hohen Leistungsdichte des Strahls kann aber schon ein geringer Absorptionsanteil zu einer ungewollten Erwärmung der Optiken führen. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit ihrer optischen Eigenschaften führt diese Erwärmung der optischen Elemente zu einer Beeinflussung des Abbildungsverhaltens des Bearbeitungskopfes. Dies macht sich durch eine Verschiebung der Fokusebene bemerkbar, die wiederum zu einer Prozessbeeinflussung führen kann.

Dieser Einfluss wurde beispielsweise bei Untersuchungen zum Dickblechschweißen festgestellt: Es wurde eine Naht in einen 28 mm dicken X70 Rohrstahl mit einer Laserleistung von 8 kW und einer Vorschubgeschwindigkeit von 1 m/min geschweißt. Dabei nimmt die Breite der Oberraupe im Laufe der



▲ Fokus Shift beim Dickblechschweißen  
a) Nahtoberraupe, Querschliffe am Anfang (b) und Ende (c) der Naht, Längsschliff (d)

geschweißten Naht zu, zum Ende hin bilden sich Spritzer. Die weitere Untersuchung anhand von Querschliffen zeigt, dass zu Beginn der Naht eine Einschweißtiefe von 9,3 mm erreicht wurde, am Ende der Naht betrug diese lediglich 8,0 mm, die Naht wurde ebenfalls breiter. Im Längsschliff zeigte sich zudem, dass die Einschweißtiefe im Laufe der 500 mm langen Naht ungleichmäßiger wird, was auf einen instabiler werdenden Prozess hinweist.

Um den Fokus Shift weitergehend zu untersuchen, wurden mit einem fabrikneuen Bearbeitungskopf und einem Strahlanalysegerät Kaustik-

messungen durchgeführt. Der Bearbeitungskopf mit einer Fokussier-Brennweite von 400 mm wurde direkt an der Feeding Fiber eines 8 kW Multimode Faserlasers angeschlossen. Mit seiner Vergrößerung von 2,5:1 beträgt der nominelle Fokussdurchmesser 250  $\mu\text{m}$ . Bei diesen Strahldaten erlaubt das Strahlanalysegerät Messungen bei bis zu 7 kW Laserleistung und damit eine leistungsabhängige Bestimmung der Lage der Fokusebene und des Fokussdurchmessers.

Beim Laserstrahlschweißen wird die Fokusslage üblicherweise vor dem Schweißen bei niedriger Leistung bestimmt und dann während des Prozesses konstant gehalten. Analog dazu wurde für die Untersuchung des zeitlichen Verhaltens zunächst die Fokusebene bei niedriger Leistung bestimmt. In dieser Ebene wurde dann der zeitliche Verlauf des Strahldurchmessers in Abhängigkeit von der Laserleistung gemessen. Hier zeigte sich, dass sich bei einer Laserleistung von 1 kW der Spotdurchmesser zeitlich nicht ändert. Somit tritt bei dem verwendeten Aufbau bei dieser Leistung kein Fokus Shift auf. Bei höheren Leistungen steigt der Strahldurchmesser in der ursprünglichen Fokusebene unmittelbar nach dem Einschalten des Laserstrahls an und erreicht nach einer gewissen Zeit einen stabilen Maximalwert. Dieser Maximalwert nimmt mit zunehmender Leistung zu. Bei dem verwendeten Aufbau war, unabhängig von der Laserleistung, der maximale Durchmesser nach etwa 50 s erreicht.

Der Fokus bewegt sich dabei hin zum Bearbeitungskopf, es kommt zu einer Verkürzung der effektiven Brennweite, die mit zunehmender Laserleistung stärker wird. Bei einer Laserleistung

# S & R Optic GmbH

kompetent – qualitätsbewusst – flexibel

## Welcome to the World of Mica

Jahrzehntelange Erfahrung in der Fertigung von Kristalloptiken

Schwerpunkt Glimmverzögerungsplatten

OEM- Hersteller für Klein- bis Großserien

Glimmverzögerungsplatten verkittet für Tageslicht – 550nm

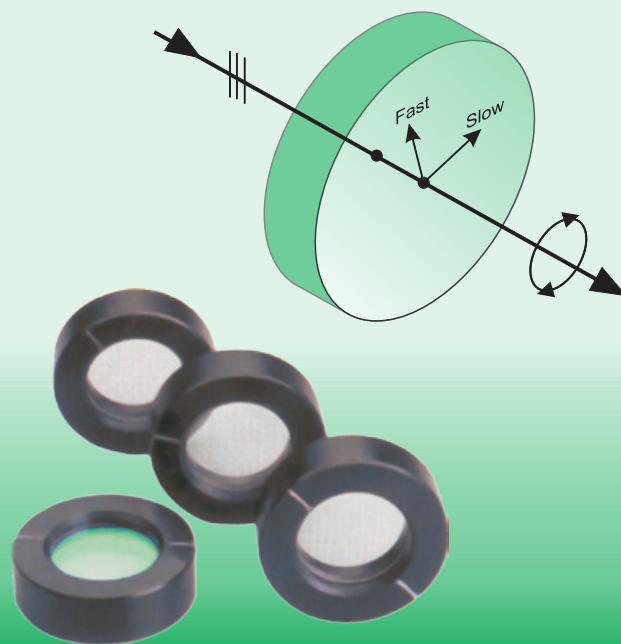
Glimmverzögerungsplatten verkittet für Spektralbereich 400-2500nm

Glimmverzögerungsplatten unverkittet für Spektralbereich 350-3500nm

Antireflexbeschichtung für alle Typen lieferbar

Fassungen für alle Typen lieferbar

zusätzlich OEM-Sonderoptiken aus Quarz und Kalkspat

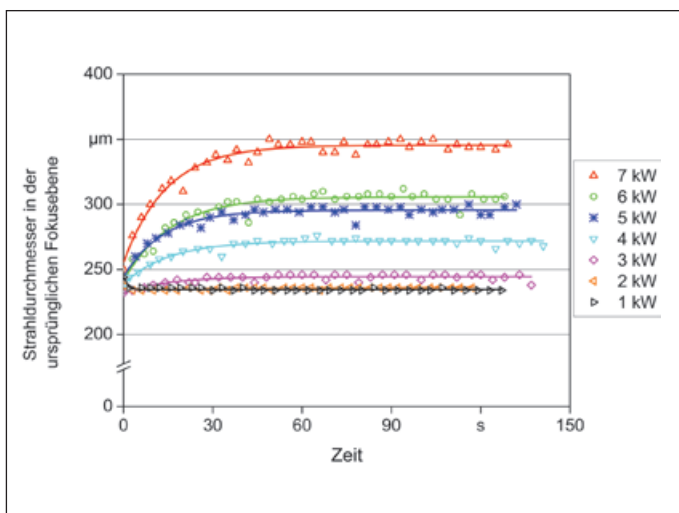


Sind Sie auf der Suche nach einem erfahrenen und kostenbewussten Lieferanten?

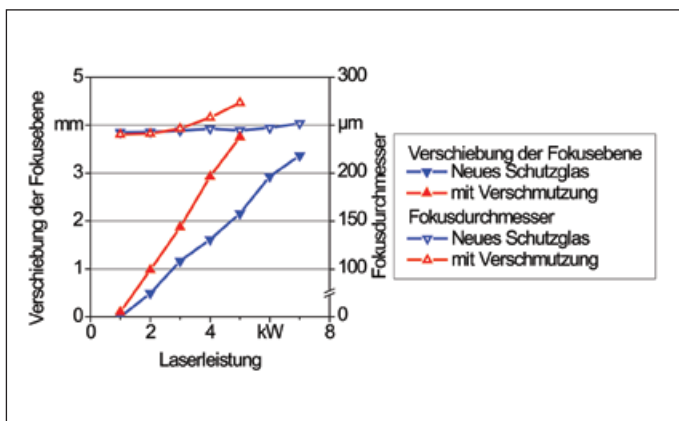
## Sprechen Sie uns an!

S & R Optic GmbH  
Ludwig-Rinn-Str. 14  
D-35452 Heuchelheim

Tel.: (06 41) 9 60 76 18  
Fax: (06 41) 9 60 79 43  
e-mail: info@sr-optic.com



▲ Zeitliches Verhalten des Strahldurchmessers in der ursprünglichen Fokusebene)



▲ Leistungsabhängigkeit von Fokusbildung und -durchmesser, mit und ohne Verschmutzung des Schutzglases

von 7 kW wurde eine Verschiebung der Fokusebene um 3,4 mm gemessen. Dies entspricht etwa 84 % der Rayleighlänge des Strahls. Der Durchmesser des verschobenen Fokus blieb dabei nahezu konstant. Zeitgleich zu diesen Messungen wurde die Temperatur auf der Schutzglasoberfläche berührungslos gemessen, in der Mitte der Fläche stieg die Temperatur um maximal 5 K bei 7 kW Laserleistung an. Die vorgestellten Untersuchungen wurden mit einem fabrikneuen Bearbeitungskopf mit einem sauberen Schutzglas durchgeführt. In der Praxis kommt es hingegen regelmäßig zu einer Schutzglasverschmutzung: Das Schutzglas befindet sich im Strahlengang des Lasers, zwischen der Fokussierung und dem Prozess. Die Funktion des Glases ist es, Schmauch und Spritzer aus dem Schweißprozess von den hochwertigen Linsen des Bearbeitungskopfes fern zu halten. Eine Verschmutzung des Schutzglases kann somit vorzugsweise während des Prozesses auftreten. Das führt zu einer erhöhten Laserabsorption. Um den daraus resultierenden Einfluss auf das Abbildungsverhalten des Bearbeitungskopfes zu untersuchen, wurde das

Schutzglas mit einem Fingerabdruck versehen. Diese exemplarische Verschmutzung war mit dem bloßen Auge kaum zu erkennen. Dennoch zeigte die Temperaturmessung bei 5 kW Laserleistung nach 60 s bereits einen Anstieg um 170 K. Zeitgleiche Kaustikmessungen zeigten einen deutlichen Einfluss auf das Abbildungsverhalten: Die Fokusverschiebung steigt bei 5 kW auf 3,7 mm an. Der Durchmesser des verschobenen Fokus steigt nun auch deutlich an, bei 5 kW betrug dieser 274 µm. In der ursprünglichen Fokusebene bedeutet das ein Strahldurchmesser von 360 µm und eine entsprechende Abnahme der Leistungsdichte.

Für den Anwender lässt sich aus diesen Untersuchungen ableiten, dass bei der Bestimmung der Fokuslage die für das Schweißen vorgesehene Laserleistung berücksichtigt werden sollte, da der Fokus Shift zu einer leistungsabhängigen Verschiebung der Fokusebene führen kann. Der Fokus Shift unterliegt einem zeitlichen Verlauf, der zu einer Durchmesseränderung des Strahls in der Fokusebene führt. Daraus können sich sowohl bei vergleichsweise kurzen Schweißzyklen als auch bei längeren Prozesszeiten Abweichungen in der Nahtform ergeben. Darüber hinaus ist insbeson-

dere bei Prozessen, die Fokuslagen-sensibel sind, auf ein sauberes Schutzglas zu achten. Bereits ein kaum sichtbarer Fingerabdruck führte zu einem deutlichen Anstieg der Fokuslagenverschiebung und einer Aufweitung des Strahls.

Im Tagungsband der fünften WLT Konferenz Lasers in Manufacturing 2009 in München wurde eine umfangreichere Darstellung der hier berichteten Untersuchungen veröffentlicht.

*Die Autoren danken dem BMBF (13N-9096) für die Finanzierung dieser Untersuchungen sowie dem VDI-TZ für die Unterstützung.*

#### ■ INFO

##### Autoren:

- Daniel Reitemeyer, Thomas Seefeld, Prof. Dr.-Ing. Frank Vollertsen  
BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH
- Dr. Jean Pierre Bergman  
Jenoptik Automatisierungstechnik GmbH

##### Kontakt:

Daniel Reitemeyer  
BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH  
Klagenfurter Str. 2  
28359 Bremen  
Tel.: 0421 218-5046  
E-Mail: reitemeyer@bias.de  
www.bias.de

#### Abstract

### Laser-induced Focus Shift in High Power Fiber Laser Welding

The occurrence of focus shift has been observed in high power fiber laser welding. The penetration depth of a bead on plate welding process with 8 kW laser power and a welding speed of 1 m/min decreased in the course of the seam from 9.3 mm to 8.0 mm. The focus position of the processing head shifted along the beam axis which led to a shortening of the effective focal length of the head. The absolute shift at 7 kW was 3.1 mm which is 84% of the Rayleigh length of the optical set-up. Focus shift led to an increasing spot diameter in the original focal plane of the laser beam. Using clean optical elements, the deterioration of the beam properties was mainly a focus shift while the minimum beam diameter remained eventually constant. This behaviour changed with contaminations on the cover glass. The focus shift against power increased and the diameter of the focus increased as well. In a welding task, this combination can lead to an even more increasing spot diameter in the processing zone, a possible cause for process instabilities.