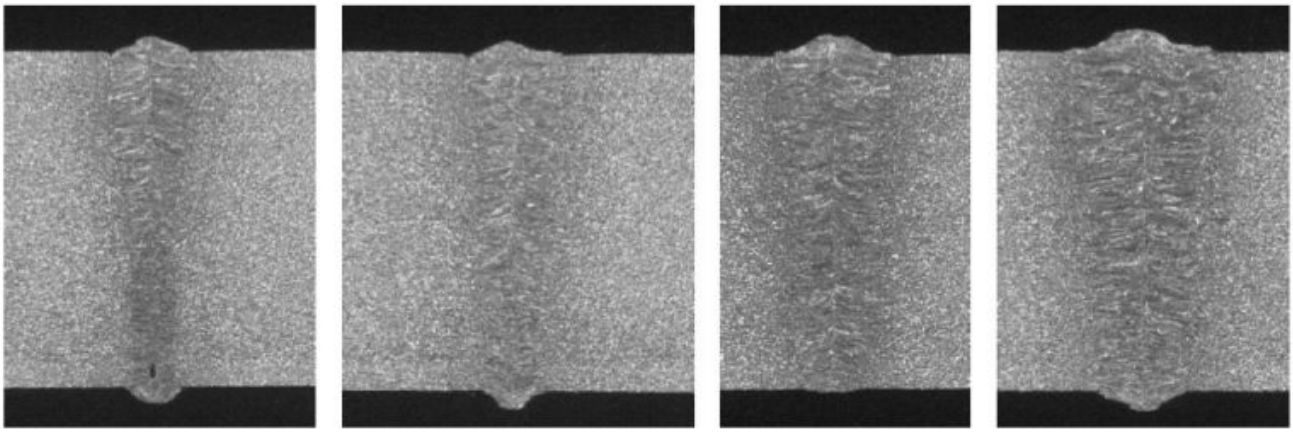
Potentiale der dynamischen Strahlformung

Beispiel: Schweißen mit verschiedenen Scanbreiten (Blindnähte, Blechdicke = 4,0 mm)
Lasertyp: CO_2
Laserleistung: 7500 W
Fokusdurchmesser: 0,2 mm



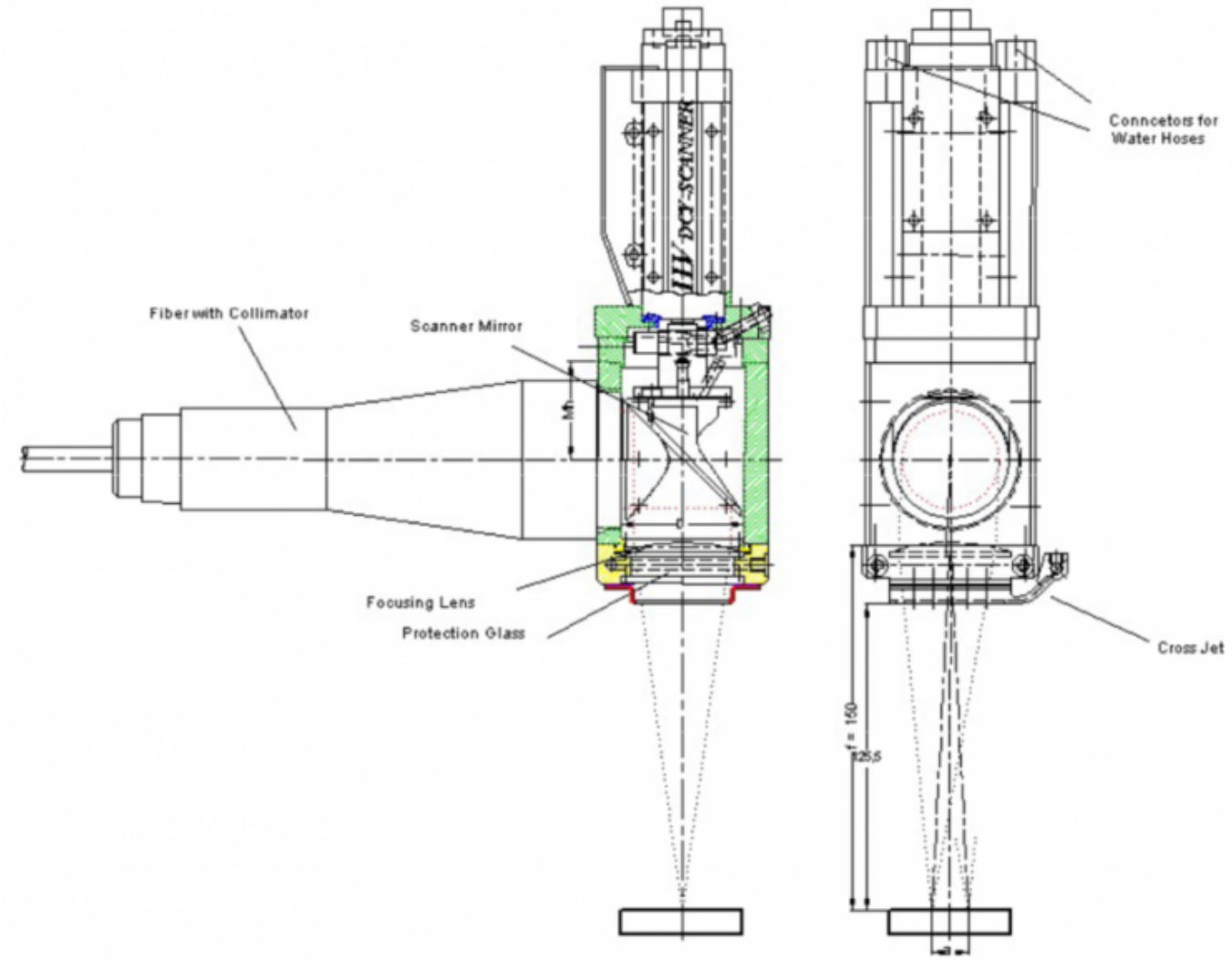
Scanbreite: 0,0 mm v = 5,0 m/min | Scanbreite: 0,1 mm v = 5,0 m/min | Scanbreite: 0,4 mm v = 5,0 m/min | Scanbreite: 1,0 mm v = 3,0 m/min

_ Beispiele für dynamische Strahlformung

Die Entwicklung von Lasern für die Materialbearbeitung hat in den letzten 10 Jahren zu einer stetigen (CO2-Laser) bzw. rasanten (Scheiben- und Faserlaser) Verbesserung der Strahlqualität geführt. Fokusdurchmesser von 150 µm und weniger - auch bei hohen Laserleistungen - sind heute Stand der Technik.

Eine hohe Strahlqualität hat nicht nur Vorteile!

Zum Beispiel: Für das Schweißen von Bauteilen mit Spalt- und Lagetoleranzen von 100 µm und mehr sind die meisten der aktuellen Laser ohne zusätzliche Maßnahmen im Bereich der Strahlformung nicht mehr einsetzbar.
Auch der flexible Einsatz einer Strahlquelle für die unterschiedlichsten Anwendungen ist ohne dynamische Strahlformung nur eingeschränkt möglich.



_ Linienscanner ILV

Ein Weg die erforderliche Flexibilität hinsichtlich Leistungsdichte und Spotgeometrie am Werkstück zu erreichen besteht darin, den Spot entlang einer Achse schnell hin- und her zu bewegen – zu scannen – statt das Strahlprofil des Lasers z.B. im Resonator oder über die Strahlführung zu ändernüber die Strahlführung zu ändern. Die Zeichnung zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Linienscanners für den Einsatz mit fasergeführten Hochleistungslasern.

Erfolgt die Scanbewegung mit ausreichend*) hoher Frequenz, wird der Strahl „geformt“ und die Laserenergie quasi-simultan auf das Bauteil übertragen. Übliche Scanrichtung: 90 Grad zum Optik-Vorschub. Damit lassen sich Frequenzen bis zu 1000 Hz und Scanbreiten bis 40 mm (f=200 mm & Frequenz ≤150 Hz) erreichen. Durch Verwendung direkt wassergekühlter Spiegel kann dieser Scannertyp auch noch bei sehr hohen cw-Leistungen eingesetzt werden (aktuelles Maximum: 30 kW).

Für spezielle Anwendungen – hier überwiegend zur Strahlführung – kann das Scannen auch zweidimensional erfolgen.

Leistungsfähige Steuerungen (siehe Abbildung) ermöglichen die Echtzeit-Modulation der Laserleistung entlang der Scanlinie und simultane Strahlformung und –führung.

**) Erfahrungen vom Elektronenstrahlschweißen, der Laseroberflächenbearbeitung und vom ILV bereits Mitte der 90iger Jahre durchgeführte Tests mit eigenen Linienscannern zeigten, dass hierzu Frequenzen ≥100 Hz notwendig sind.*
Bei geringeren Frequenzen wird der Strahl nicht mehr geformt sondern geführt.

Möglichkeiten der statischen Strahlformung

_ Steuerung Linienscanner

Die zunächst als am einfachsten erscheinende Methode den Spotdurchmesser durch Defokussierung zu vergrößern erweist sich in der Praxis meist als nicht zielführend. Da man sich hierbei außerhalb des Tiefenschärfenbereiches der Fokussieroptik befindend, führen bereits kleinere Abweichungen der Fokuslage zu deutlichen Änderungen der Leistungsdichte und damit zu Schwankungen der Schweißtiefe.

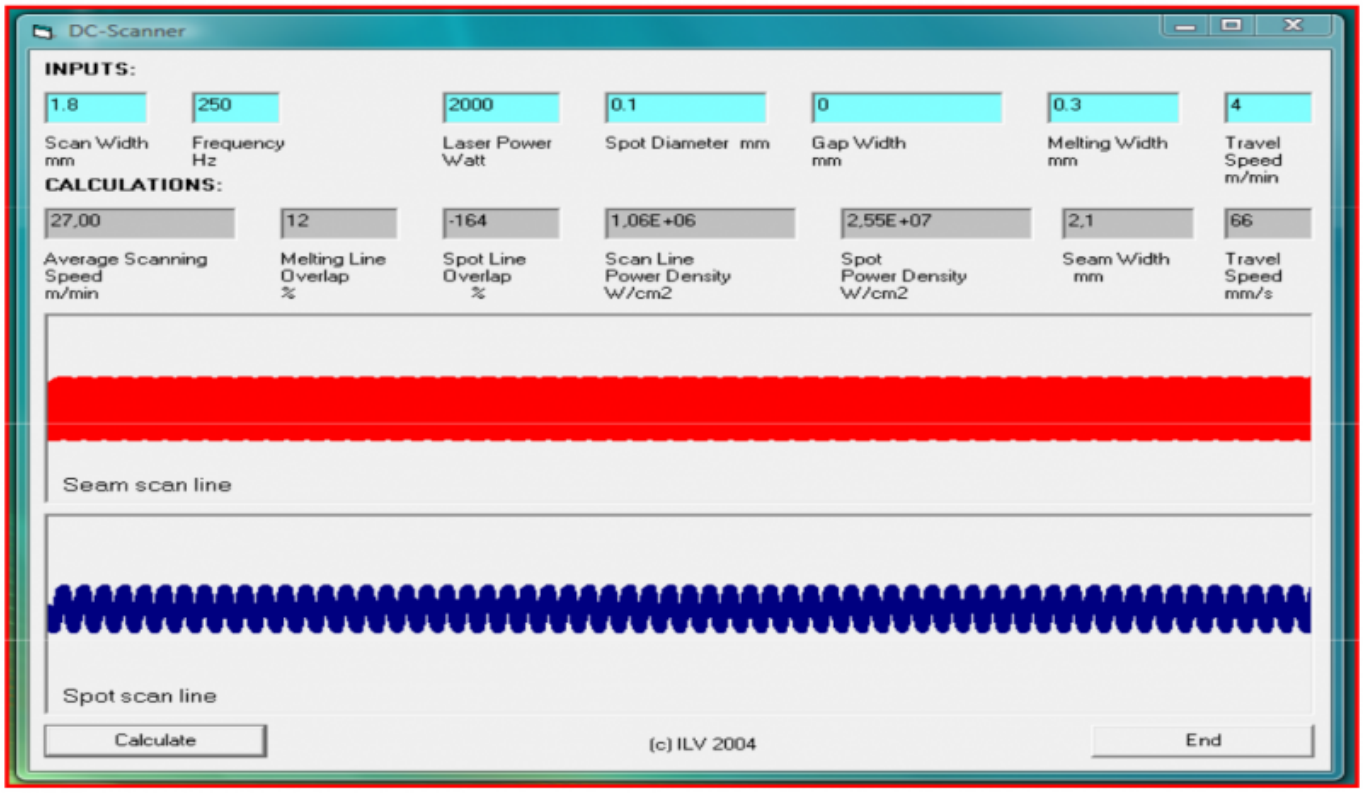
Auch sind die Möglichkeiten damit bei CO2-Lasern größere Nahtbreiten einzustellen sehr begrenzt. Bei einer Defokussierung auf einen Spotdurchmesser von 0,8 mm reichen auch 4000 W Laserleistung nicht mehr aus um eine ausreichende Leistungsdichte für die Tiefschweißung sicherzustellen.

Eine auch heute noch verbreitete Methode ist die Aufteilung des Laserrohstrahles in zwei oder mehr Teilstrahlen mit einer Doppel- oder Mehrfachfokusoptik. Sofern man mit einer konstanten Abbildung arbeiten kann ist diese Methode relativ einfach und damit preiswert. Für größere Flexibilität gibt es derartigen Optiken auch mit der Möglichkeit die räumliche Anordnung der meist zwei Spots zu verändern.

Bei Scheiben- und Faserlasern kann man den hochbrillianten Ausgangsstrahl in eine „Arbeitsfaser“ mit größerem Innendurchmesser führen und mit entsprechend angepasster Kollimation/Fokussierung einen für die jeweilige Anwendung geeigneten Spotdurchmesser einstellen.

Wichtige Nachteile dieser Lösungen sind bei Doppel- oder Mehrfachfokusoptik die damit verbundene hohe Absenkung der Leistungsdichte mit unmittelbarer Auswirkung auf Schweißgeschwindigkeit und Produktivität. Bei Einsatz einer „Arbeitsfaser“ kommt hinzu, dass das vorhandene Anwendungspotential nicht mehr voll genutzt werden kann.

Als - hinsichtlich des Produktivitäts- und Anwendungspotentials - zweifelhafte “Notlösung” sind Maßnahmen zur Strahlformung im Laserresonator (z.B. Donut- statt Gaussmode beim CO2-Laser) anzusehen.



_ Software Linienscanner ILV

Mit einem Linienscanner kann durch „Dynamische Strahlformung“ und/oder Strahlführung die Nahtbreite unabhängig vom Spotdurchmesser in weiten Grenzen variiert werden.

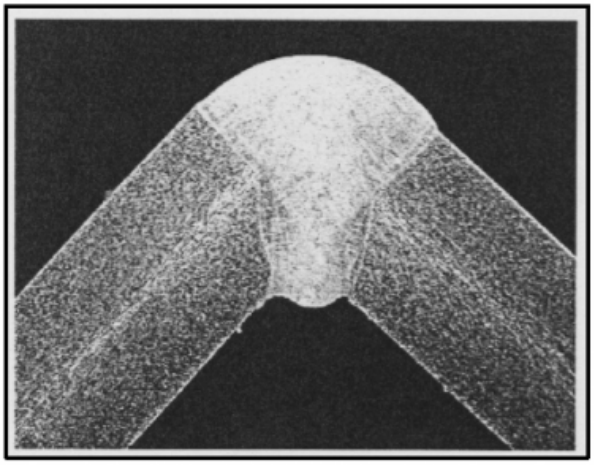
Je kleiner der Spotdurchmesser, desto größer die Flexibilität – selbst bei kleinen Laserleistungen.

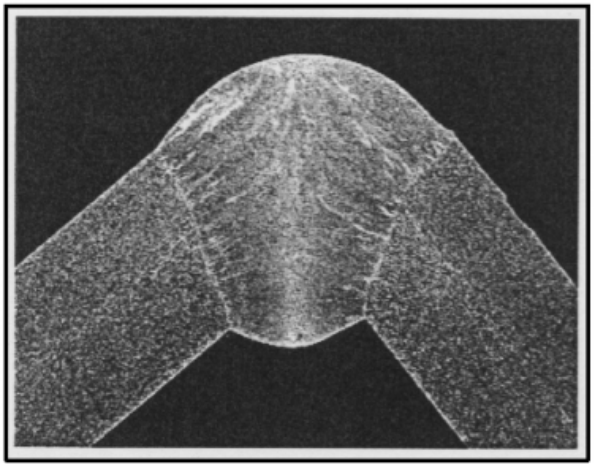
Die zugehörige Leistungsdichte wird aus den Eingabegrößen: Laserleistung, Spotdurchmesser und Scanbreite berechnet. Um die Homogenität der Schweißnaht sicherzustellen, müssen Scanfrequenz und Linearvorschub so aufeinander abgestimmt sein, dass eine ausreichende Überlappung der Schmelzlinie erreicht wird.
Bei Nutzung des Linienscanners zur Strahlformung muss die mittlere Leistungsdichte entsprechend der vorgesehenen Anwendung (Wärmeleitungsschweißungen, Tiefschweißung, etc.) eingestellt werden.

Beim Einsatz zur Strahlführung bestimmt die Leistungsdichte im Spot die Art der Wechselwirkung.

Anwendungsbeispiele ILV Scanner

-

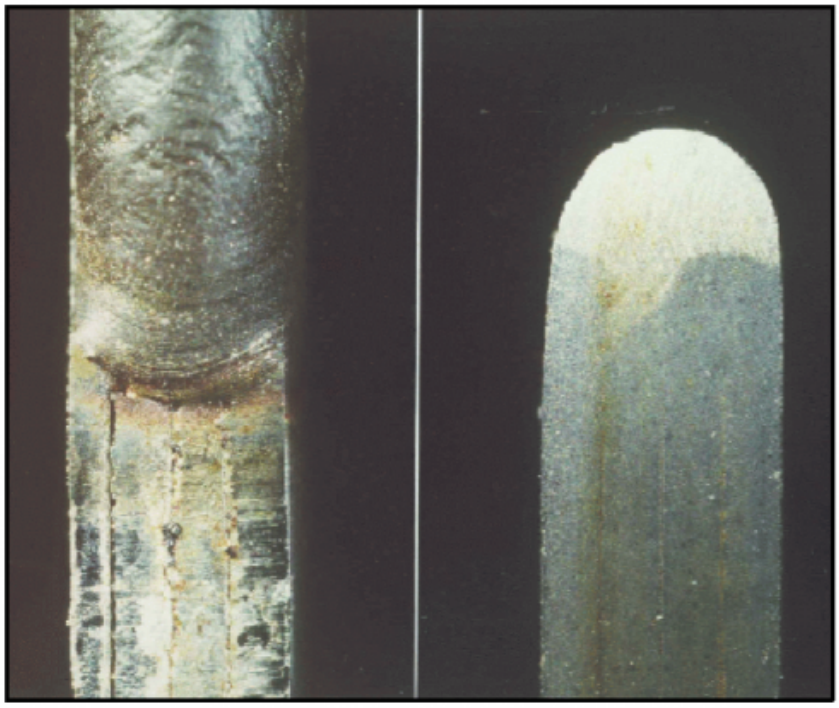




Schweißen von Vierkantrohr
(150 x 150 x 2,5 mm)
aus Werkstoff 1.4571

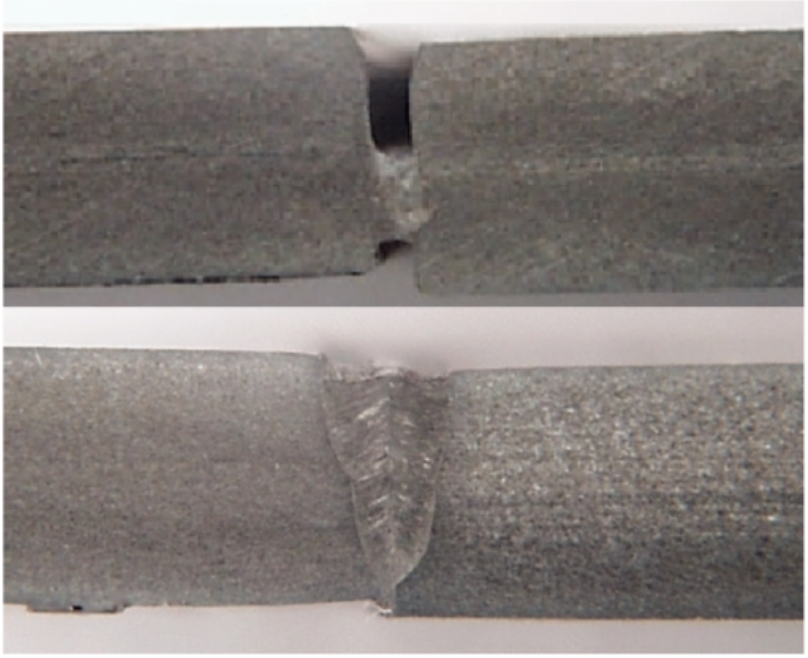
Laserleistung:	6000 W
Scanbreite:	1,0 mm
Scanfrequenz:	400 Hz
Vorschub:	2,0 m/min

Scanbreite:	4,0 mm
Scanfrequenz:	50 Hz
Vorschub:	1,0 m/min



Multi-Stumpfnaht an Blechstapel (4 x 0,8 mm)

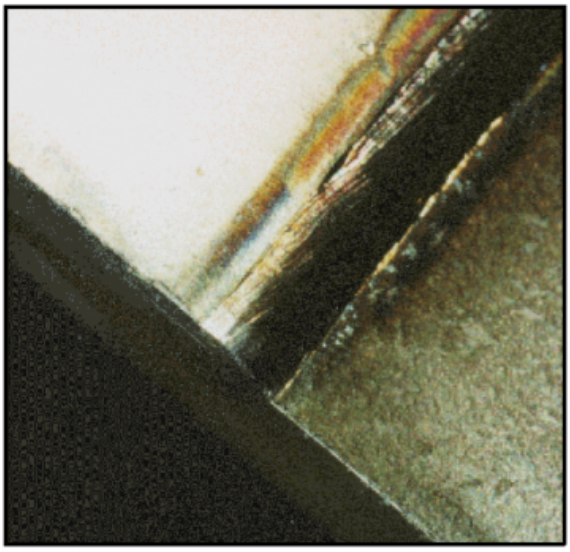
Laserleistung:	2,0 kW
Scanbreite:	3,2 mm
Scanfrequenz:	200 Hz

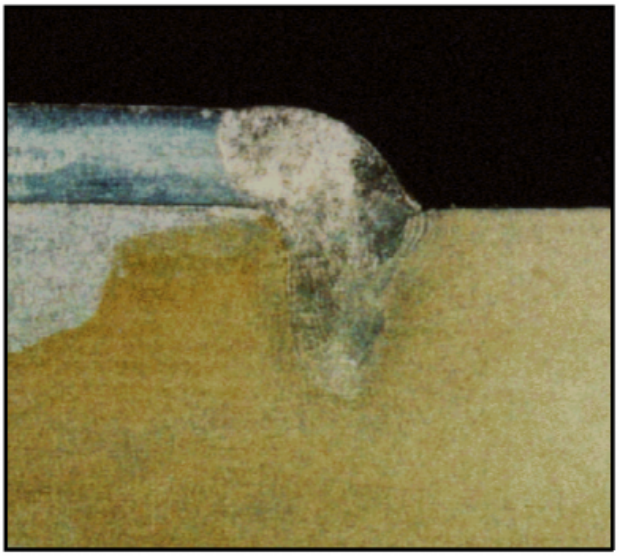


Stumpfnähte mit Kantenversatz
(ca. 0,2 mm)
und Spalt (ca. 0,5 mm)

(Oben ohne /
unten mit Scanner)

Blechdicke:	3,0 mm
Laserleistung:	5,5 kW
Scanbreite:	1,0 mm
Scanfrequenz:	200 Hz
Vorschub:	4,5 m/min





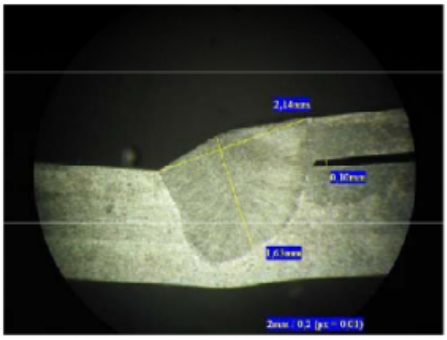
Kehlnaht
Draufsicht (links) und Querschliff (rechts)

Laserleistung:	2,5 kW
Scanbreite:	3,0 mm
Scanfrequenz:	100 Hz
Vorschub:	2,0 m/min

Anwendungsbeispiel
Rohr/Rohr-Verbindung

WIG

Laserschweißung, Scanbreite 1,8 mm



Laserschweißung im Querschliff