



LT ULTRA

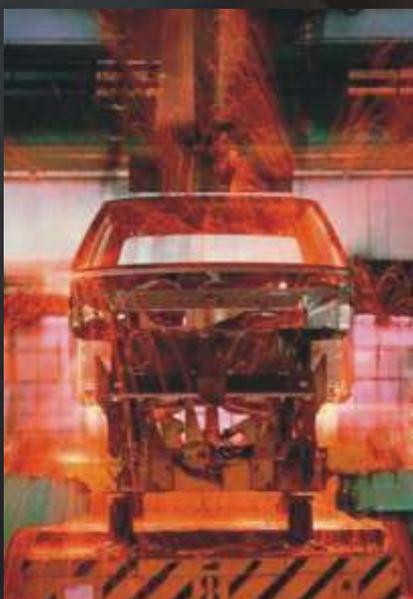
**Strahldurchmesser und  
Fokusslage konstant  
über den gesamten  
Bearbeitungsbereich**

Bei Laseranwendungen  
mit sich verändernden  
Strahlweglängen

LT ULTRA

## Kontrolle der Strahlqualität über den gesamten Arbeitsbereich

- flexible Regelung des Fokusbereichs
- flexible Verschiebung der Fokusbahn
- Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeiten
- Vergrößerung der Bandbreite der Bearbeitungsmöglichkeiten der Lasermaschine



Optimal geeignet für die Kontrolle von CO<sub>2</sub>-Lasern in der 2-D und 3-D Materialbearbeitung im Leistungsbereich bis 3 kW

Mehr Wettbewerbsvorteil für Hersteller von Laserstrahlquellen, Laserbearbeitungsmaschinen, Anwender von Laserstrahlquellen und Laserbearbeitungsmaschinen

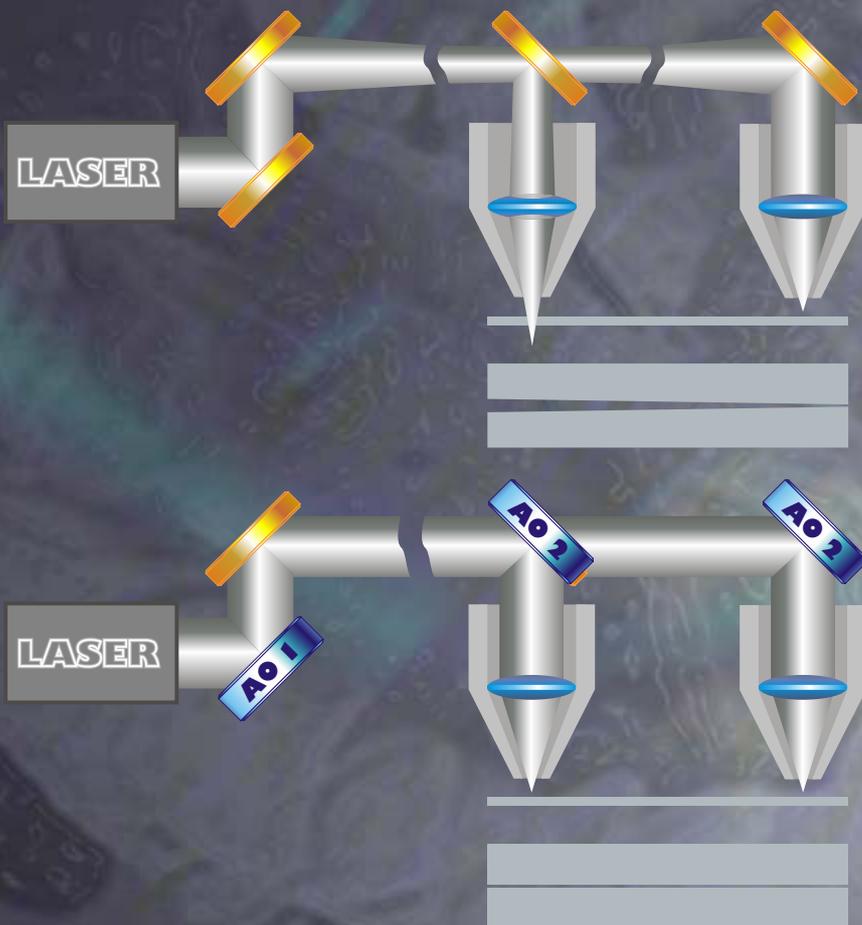
LT Ultra-Precision Technology GmbH  
Wiesenstrasse 9, Aftholderberg  
88634 Herdwangen-Schönach  
Germany  
Tel. + 49 (0) 7552 / 40599-0  
Fax + 49 (0) 7552 / 40599-50  
info@lt-ultra.com  
www.lt-ultra.com

CO  
PT  
PR  
AD  
A

# Kontrolle der Strahlqualität über den gesamten Arbeitsbereich

- flexible Regelung des Fokusbereichs
- flexible Verschiebung der Fokuslage
- Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeiten
- Vergrößerung der Bandbreite der Bearbeitungsmöglichkeiten der Lasermaschine

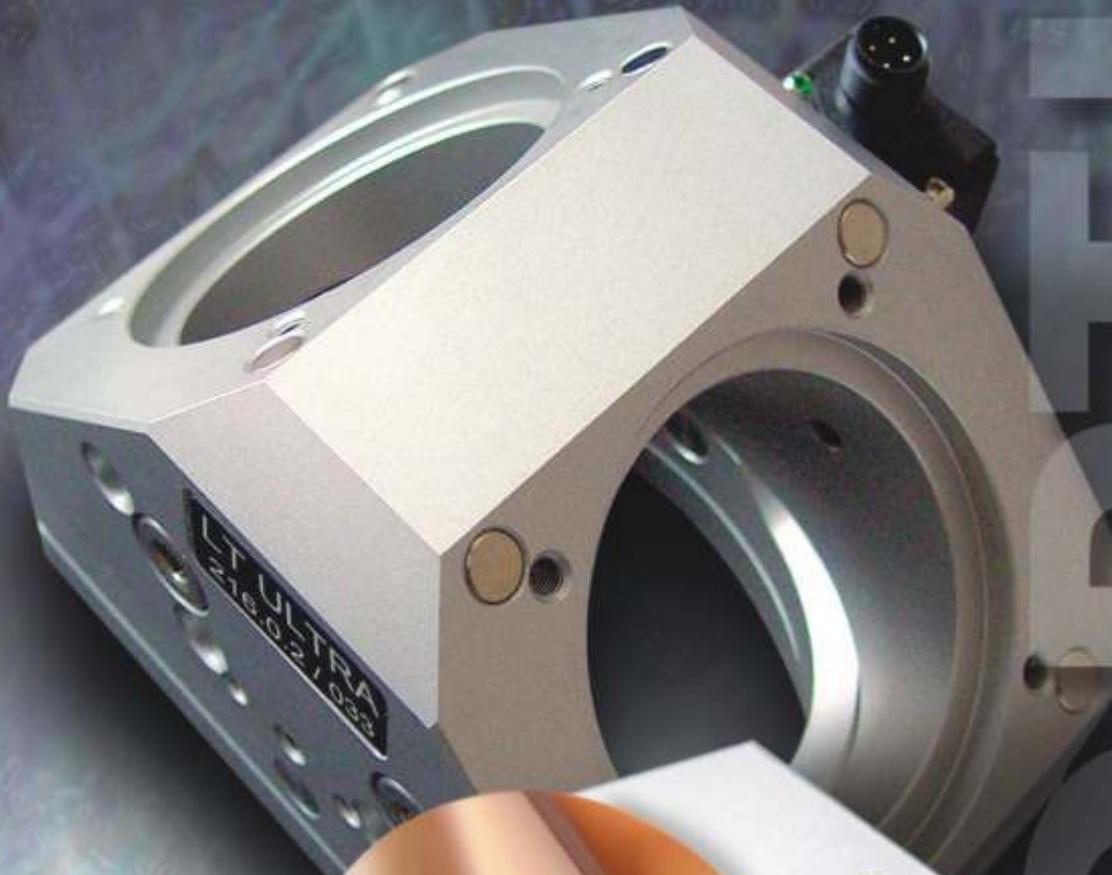
In Laseranlagen, deren Strahlweglängen variieren (Flying Optics), verändern sich permanent Strahldurchmesser und Phasenfrontkrümmung entlang des Strahlengangs. In der Folge verändert sich ein Fokusbereich reziprok zur Veränderung des Rohstrahldurchmessers. Eine Veränderung der Phasenfrontkrümmung, verursacht durch eine Veränderung des konvergenten- / bzw. divergenten Rohstrahls, führt zu Verschiebungen der Fokuslage.



Die optimale technische Lösung zur Kompensation dieser generellen Problematik ist die adaptive Optik. Hierzu wird in der Nähe des Resonators eine erste verstellbare Optik in den Strahlengang geschaltet. Diese Optik hält den Strahldurchmesser über den gesamten Bearbeitungsbereich auf der Fokussieroptik konstant. Dadurch lässt sich der Fokusbereich konstant halten. Eine zweite verstellbare Optik, vorzugsweise in kurzem Abstand vor der Fokussieroptik platziert, kompensiert sämtliche Veränderungen der Phasenfrontkrümmung und hält damit auch die Fokuslage konstant. Das Zusammenspiel beider verstellbarer Optiken ermöglicht die Konstanz des Strahlparameterproduktes und somit ein maximales Schnittergebnis.



LT ULTRA



Optimal geeignet  
für die Kontrolle  
von CO<sub>2</sub>-Lasern  
in der 2-D und 3-D  
Materialbearbeitung

Mehr Wettbewerbsvorteil  
für Hersteller von Laserstrahlquellen  
und Laserbearbeitungsmaschinen  
Anwender von Laserstrahlquellen  
und Laserbearbeitungsmaschinen

CO  
FF  
RF  
OD  
A

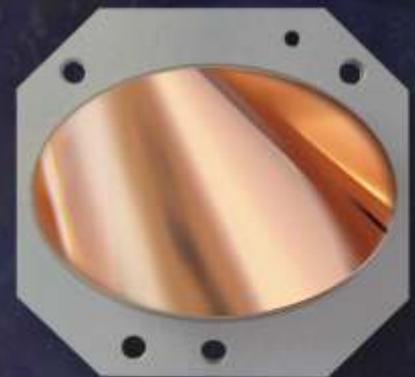
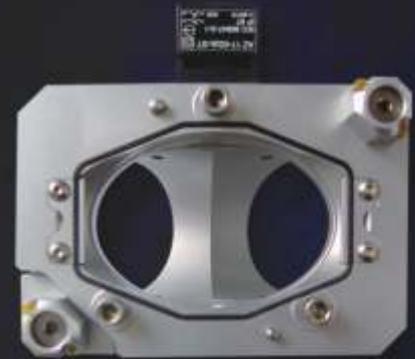
## Runde Form

In der Vergangenheit wurden vorwiegend runde adaptive Optiken zur Kompensation verwendet. Allerdings sind diese Optiken prinzipiell nicht unter AOI 45° einsetzbar. Durch die symmetrische Grundform lassen sich allerdings nahezu beliebig wählbare, sphärische Spiegeloberflächen herstellen.



## Elliptische Form

Die Deformation der Spiegelmembrane ist bei senkrechter Betrachtung elliptisch, bei Betrachtung unter 45° nahezu exakt sphärisch. Damit lässt sich eine 90°-Umlenkung direkt umsetzen.



Unabhängig von den beschriebenen laserphysikalischen Aspekten der Auslegung eines Strahlführungssystems, deren Auswirkung mit Hilfe von adaptiven Spiegeln eliminiert werden kann, gibt es eine weitere Klasse von Einflußfaktoren, die in Folge der Strahlbelastung der verwendeten optischen Komponenten (inkl. der Luft im Strahlführungssystem) die Ergebnisse der Maschine beeinflussen können. So z.B. verformen sich Planspiegel unter der thermischen Belastung eines Laserstrahles zu leicht divergierenden Spiegel. Oder die Luft erwärmt sich ungleichmäßig und bildet eine "thermische Linse". Durch die Erfassung der Strahlparameter und deren Änderung im Zeitbereich kann eine zeitabhängige kompensierende Ansteuerung der adaptiven Spiegel ermittelt und der wegababhängigen Ansteuerung überlagert werden.

Besonders vorteilhaft erweist sich die flexible Fokusslagenverstellung über eine regelbare Optik bei 3-D Applikationen. Beispielhaft aufzuführen ist z.B. das Laserschweißen von 3-D-Bauteilen, bei denen ein Plasmasensor die Fokusslage nachführt.

## FUNKTION UND VARIANTEN

Ansteuerbare, adaptive Optiken basieren im Normalfall auf einer reversiblen Deformation (konvexe oder konkave Krümmung) einer im Normalfall flachen Spiegeloberfläche. Bei runden Spiegelausführungen erfolgt die Deformation dieser Spiegelmembrane bei senkrechter Betrachtung vorwiegend sphärisch. Bei der Umlenkung von Laserstrahlung auf einer sphärischen Oberfläche von  $>20^\circ$  Gesamtwinkel entsteht eine Verzerrung der Wellenfront, die zu einer Verschlechterung der Strahlqualität und damit zu Astigmatismus führt. Ein sich hinter einer Fokussieroptik bildender Fokus wird hiermit nicht mehr exakt rund sein und richtungsabhängig unterschiedliche Schnittqualitäten erzeugen. Ergo können runde adaptive Optiken nur in Kombination mit einem weiteren planen Umlenkspiegel qualitativ hochwertig eine  $90^\circ$ -Umlenkung ermöglichen. Aus diesem Grunde bietet LT ULTRA alternativ eine elliptische adaptive Optik an. Die Deformation dieser Spiegelmembrane ist bei senkrechter Betrachtung elliptisch, bei Betrachtung unter  $45^\circ$  nahezu exakt sphärisch. Damit lässt sich eine  $90^\circ$ -Umlenkung direkt umsetzen.

Die Spiegelmembrane wird bei allen gefertigten Varianten direkt wassergekühlt ausgeführt. Die Wasserkühlung ist vom Deformationsmedium vollständig getrennt und unabhängig, um eine hohe Linearität der Auslenkung sowie eine lange Lebensdauer zu erreichen. Der Kühlwasserdurchfluß bleibt also bei Veränderung des Regeldruckes immer konstant. Für thermische Stabilität unter Last ist mit einem Kühlwasserdurchfluß von 5 l/min bei 5 bar Wasserdruck ausreichend gesorgt. Die Kühlstruktur wurde ebenfalls auf minimalste thermische Deformation unter Last optimiert. Bis zu einer Laserleistung von 3 kW sind aus Gründen der thermischen Deformation unbeschichtete Spiegel einsetzbar, über 3 kW empfehlen wir Spiegel mit einer reflektionserhöhenden Beschichtung.

Die Deformation der Spiegelmembrane erfolgt durch Druckbeaufschlagung der Membranrückseite. Die Druckbeaufschlagung erfolgt pneumatisch oder als

Sonderausführung hydraulisch. Als pneumatisches Druckmedium eignet sich gereinigte Pressluft oder fast immer zum Schneiden vorhandener Stickstoff. Alle adaptiven Optiken durchlaufen während ihrer Herstellung unterschiedlichen Belastungstests. Um z.B. Veränderungen der Formgenauigkeit der Spiegeloberflächen im Alltagseinsatz möglichst auszuschließen, erfolgt die Dokumentation jeder auszuliefernden Optik erst nach 40.000 Hüben unter Vollast.

Die Ansteuerung der adaptiven Optiken erfolgt über ein Präzisions-Proportionalventil. Die Ansteuerung des Ventils selbst erfolgt durch die Maschinen-CNC. Die Steuerventile sind sowohl als 0-10V-Version oder alternativ als 4-20mA-Version erhältlich.

Zur Rückmeldung des tatsächlich in der adaptiven Optik anstehenden Regeldruckes empfehlen wir den Einsatz des optional erhältlichen Drucksensors. Dieser ist direkt in der adaptiven Optik eingebaut und bietet der CNC ein Kontrollsignal an. Eine Störung des Ventils, der Druckleitung zwischen Regelventil und adaptiver Optik als auch der Steuerleitung zum Ventil wird somit überwacht.

LT ULTRA bietet standardmäßig ein Spektrum unterschiedlicher adaptiver Optiken an. Prinzipiell erhältlich sind adaptive Optiken in elliptischer Form ( $90^\circ$ -Umlenkung) in zwei Größen. Weiterhin erhältlich sind zwei runde adaptive Optiken (empfohlen max.  $20^\circ$ -Umlenkung), ebenfalls in zwei Größen.

Des weiteren bieten wir dem OEM, aus Kostengründen ab einem Mindestbedarf von 20 Einheiten/Jahr, die Entwicklung und Fertigung von kundenspezifischen ADOPTIKEN an. Im Besonderen bietet sich bei einem runden Spiegel die Fertigung einer nahezu beliebig wählbaren, sphärischen Grundform an.

Zur Auswahl der geeigneten Variante wird abhängig vom jeweils erreichbaren Deformationsbereich prinzipiell unterschieden in:

	Strahlkollimation (Einbauort anstelle eines bestehenden Plan-Umlenkens in Nähe der Strahlquelle)
	elliptischer, adaptiver Spiegel
	runder, adaptiver Spiegel als Teil einer Z-Faltung
	Fokusverschiebung ( Einbauort 0,5 - 1,5 Meter vor Fokussieroptik, z.B. anstelle eines bestehenden Plan-Umlenkens in die Z-Achse )
	elliptischer, adaptiver Spiegel
	runder, adaptiver Spiegel in Kombination mit weiterem Planspiegel zur $90^\circ$ -Umlenkung

Justagehilfen:

Zur optimalen Funktion der ADOPTIK ist es wichtig, dass Strahlachse und Spiegelmittelpunkt möglichst exakt übereinstimmen. Weiterhin wichtig ist die Anordnung der Spiegeloberfläche der ADOPTIK im entsprechenden Winkel. LT ULTRA bietet optional aus diesem Grund zugehörige Justagehilfsmittel in Form von Fadenkreuzen und Rückreflexspiegeln an.

## Lebensdauer:

Die beweglichen Teile der adaptiven Optik sind rein funktionell beschränkt auf die Spiegelmembrane. Bei mittlerer Belastung ist eine Lebensdauer von ca. 500.000 Hubzyklen oder ca. 1 Jahr anzusetzen.

LT ULTRA bietet, um Kosten des Anwenders niedrig zu halten, generell eine Überarbeitung der Optik im Austausch an. Hierbei wird ausschließlich die Spiegelmembrane ausgetauscht, alle weiteren statischen Bauteile werden gereinigt, auf Funktionalität überprüft und wiederverwendet.

Identisch hierzu bieten wir auf Wunsch des Kunden eine Überarbeitung des Steuerventils an. In diesem Fall werden dann ebenfalls die beweglichen Präzisionsteile ausgetauscht, kalibriert und auf Funktionalität getestet.

## Dokumentation:

Bei Erwerb eines kompletten Systems werden sämtliche Komponenten des Pakets auf einem Prüfstand getestet. Dies beinhaltet die Funktionalität des Steuerventils, des optional erhältlichen und sich in der Optik befindlichen Drucksensors sowie der Dichtigkeitsprüfung aller Anschlüsse. Die Funktionskontrolle erstreckt sich über 1000 Schaltzyklen per System.

Sie erhalten damit immer ein geprüftes und somit perfekt funktionierendes Gesamtpaket.

Die Kontrolle der Spiegeloberfläche erfolgt mittels eines ZYGO - Interferometers. Gemessen werden Formfehler der Spiegeloberfläche in 3-D. Es erfolgen insgesamt 3 Messungen im Bereich des Herstelldruckes sowie der beiden Endlagen des Stellbereiches. Diese Messergebnisse werden bei LT ULTRA archiviert und werden dem Kunden auf Wunsch übermittelt.

## Vertrieb:

### Bezugsquellen für adaptive Systeme:

#### Frankreich:

Kirchheim Optique SARL Les Ulis Cedex  
kirchheim.optique@wanadoo.fr

#### Italien:

Laser Point SRL Vimodrone  
laserpoint@tin.it

#### USA+NAFTA:

LT Ultra-Precision Optics Wixom  
ltultra@yahoo.com

#### Alle anderen Länder:

LT Ultra-Precision Technology GmbH, Germany

Die hauptsächlichliche Verwendung von adaptiven Optiken befindet sich in der Kontrolle von CO<sub>2</sub>- Laserstrahlung bei der Laser-Materialbearbeitung. Dies gilt vorwiegend beim Laserschneiden für den Bereich der 2-D-Bearbeitung (Flachbett-Betrieb) als im Besonderen im Bereich der 3-D-Bearbeitung.

In Laseranlagen, deren Strahlweglängen variieren (Flying Optics) verändern sich permanent Strahldurchmesser und Phasenfrontkrümmung entlang des Strahlengangs. In der Folge verändert sich ein Fokusbereich reziprok zur Veränderung des Rohstrahldurchmessers. Eine Veränderung der Phasenfrontkrümmung, verursacht durch eine Veränderung des konvergenten / bzw. divergenten Rohstrahls führt zu Verschiebungen der Fokusslage.

Eine Verbesserung der Strahlqualität über den gesamten Arbeitsbereich wird in der Regel durch den Einsatz eines Teleskops erreicht. Das Teleskop wird in der Nähe des Resonators in den Strahlengang zwischengeschaltet. Der Laserstrahl wird durch das Teleskop etwas aufgeweitet und theoretisch ins Unendliche fokussiert. Praktisch wird dadurch eine Strahltaile im mittleren Bereich des Strahlengangs erzeugt. Strahldurchmesser am Anfang und am Ende des Arbeitsfeldes sind bei optimaler Auslegung der Optiken dann identisch. Allerdings verjüngt sich der Laserstrahl zur Taile hin und weitet sich wieder zum Ende des Strahlengangs. Alle dann noch existierenden Veränderungen der Laserstrahleigenschaften und der daraus resultierenden Veränderungen von Fokusslage und Fokusbereich führen zu Variationen im Bearbeitungsergebnis.

Eine optimale technische Lösung zur Kompensation dieser generellen Problematik kann die adaptive Optik übernehmen. Hierzu wird in der Nähe des Resonators eine erste verstellbare Optik in den Strahlengang geschaltet. Diese Optik hält den Strahldurchmesser über den gesamten Bearbeitungsbereich auf der Fokussieroptik konstant. Somit lässt sich in der Praxis der Fokusbereich hierdurch konstant halten und bildet eine interessante Alternative zu koaxial motorisch verfahrenen Linsen, die klassisch im Leistungsbereich bis 3 kW eingesetzt werden. Allerdings immer noch behaftet mit Fokusslagenverschiebungen, verursacht durch die natürliche Strahlcharakteristik und die Kompensation der verstellbaren Optik. Eine zweite verstellbare Optik, vorzugsweise in kurzem Abstand vor der Fokussieroptik platziert, kompensiert sämtliche Veränderungen der Phasenfrontkrümmung und hält damit auch die Fokusslage konstant.

Erst das Zusammenspiel beider verstellbaren Optiken ermöglicht die Konstanz des sogenannten Strahlparameterproduktes und somit ein maximales Schnittergebnis. Selbstverständlich sind ebenso weitere gezielte Beeinflussungen der Parameter Fokusbereich und Strahltaile möglich. Beispielhaft aufzuführen sind z. B. die Verkleinerung des Rohstrahles zur Vergrößerung des Fokus um dickere Bleche mit größerem Schnittpalt zu schneiden. Oder dünnere Bleche mit vergrößertem Rohstrahl und damit kleinerem Fokus schneller zu schneiden. Maximierte Parameter für unterschiedlichste Materialien können ermittelt, in der Maschinen-CNC abgelegt und wieder abgerufen werden.