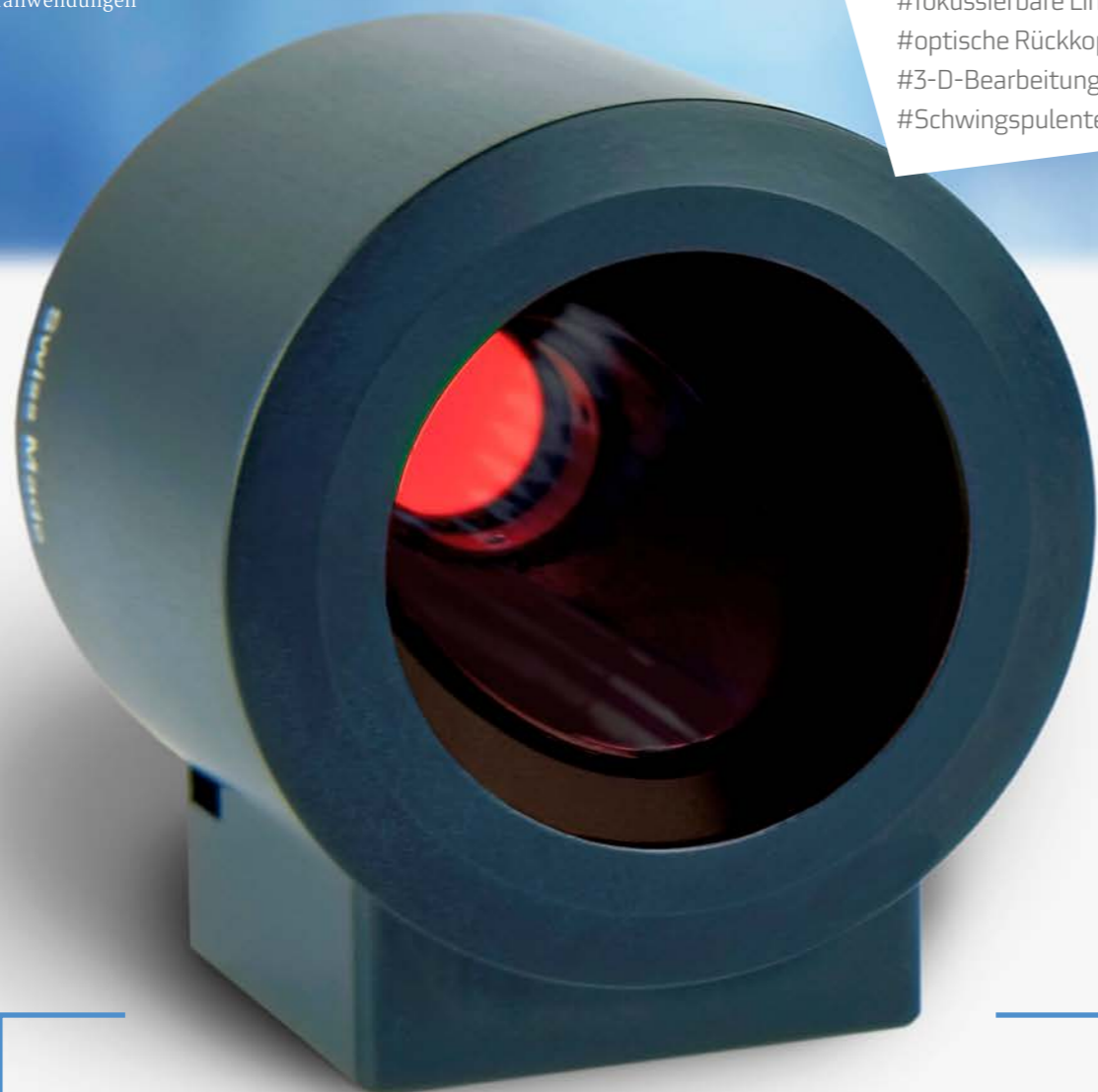


Die fokussierbare Linse von Optotune für 3-D-Laseranwendungen

#fokussierbare Linse
#optische Rückkopplung
#3-D-Bearbeitung
#Schwingspulentechnik



3-D-FOKUSSTEUERUNG MIT FLÜSSIGLINSEN

Eine neue Produktgeneration fokussierbarer Objektive für NIR- und grüne Wellenlängen ist mit einer integrierten optischen Rückkopplung ausgestattet. Sie soll die Entwicklung neuer Laseranwendungen für Industrie und Medizin vorantreiben.

AUTOR Branislav Timotijevic, PhD | Business Development Manager, Optotune

Möglichkeiten, den Fokus eines Laserstrahls in allen drei Achsen zu steuern, sind sehr gefragt: Vorschriften zur Rückverfolgbarkeit haben in vielen Branchen zu einem höheren Bedarf an Laserbeschriftungen geführt, von der Leiterplattengravur in der Unterhaltungselektronik bis zur Kennzeichnung medizinischer Implantate. Behandlungen mit Laserstrahlen sind in der Augenheilkunde und Dermatologie etabliert. Auch hier gilt es, das Laserlicht sorgfältig im dreidimensionalen Raum zu (de)fokussieren; ebenso in der Additiven Fertigung. Dieser Trend wird sich voraussichtlich fortsetzen: Laut einem aktuellen Bericht des japanischen Marktforschungsunternehmens Shibuya Data Count wird beispielsweise der Markt für Lasermarkierung bis 2030 mit einem jährlichen Wachstum von 4 bis 5 % wachsen.

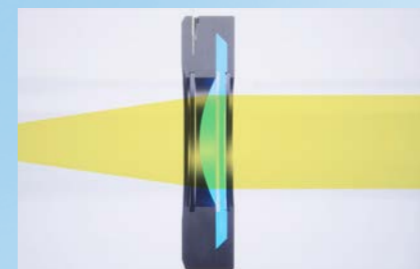
Eine übliche Problemstellung dieser Anwendungen ist die schnelle und präzise Steuerung des optischen Fokus. Dabei ist es notwendig, entweder auf bestimmte Objektebenen (2,5-D-Fokussierung) oder in einem beliebigen Volumen (3-D-Laseranwendungen) zu fokussieren. Natürlich kamen für derartige Aufgaben zunächst optische Standardkonfigurationen zum Einsatz: Galvanometrische Spiegel sorgten für die Strahlsteuerung in einer Ebene (x-y-Steuerung), während die z-Steuerung mithilfe von Translationsoptiken oder durch ein mechanisches Bewegen des Objekts erreicht wurde. Diese Lösungen funktionieren zwar, sind aber in Bezug auf Größe, Geschwindigkeit, begrenzten z-Bereich, Kosten und mechanische Abnutzung, die zu einer geringeren Lebensdauer führt, nicht ideal. Eine fortschrittliche Alternative sind adaptive optische Elementen, welche die räumliche Verschiebung durch die Änderung ihrer Form ersetzen.

Optische Rückkopplung inklusive

Die Entwicklungen bei Optotune folgen diesem Trend. Die Kernkompetenz des Schweizer Unternehmens liegt in der opto-

elektromechanischen Konstruktion dynamischer Lichtsteuerungskomponenten. Eine der Entwicklungen von Optotune beruht auf der bekannten Schwingspulentechnologie, die beispielsweise in Mikrofonen eingesetzt wird, um die Form einer mit optischer Flüssigkeit gefüllten Polymerlinse zu steuern.

Die erste Generation der einstellbaren Laserfokuslinse EL-10-42-OF von Optotune hat sich für viele Anwendungsgebiete, die höchste Anforderungen an die Größe des Laserspots und die Scangeschwindigkeit stellen, als geeignete Lösung erwiesen – insbesondere bei großen Stückzahlen. Zur Erklärung des Produktnamens: EL steht für elektrisch verstellbare Linsen, 10 für die freie Apertur und 42 für den Außendurchmesser des Gehäuses, jeweils in Millimetern, während OF das Optical Feedback bezeichnet. Diese fokussierbare Linse wurde für eine feste Wellenlänge von 1064 nm entwickelt, die in den meisten Laserbearbeitungsanwendungen und für Laser mit niedriger bis mittlerer Leistung (etwa 50 W) zum Einsatz kommt. Bei Lasern dieses Leistungs-niveaus ist



es sehr wahrscheinlich, dass thermische Effekte die Stabilität und Genauigkeit der optischen Eigenschaften des Objektivs beeinflussen. Aus diesem Grund haben die Optotune-Entwickler in die erste Version des EL-10-42-OF-Objektivs eine interne optische Rückkopplung integriert, die dieses Problem löst. Sie ist während des Be-

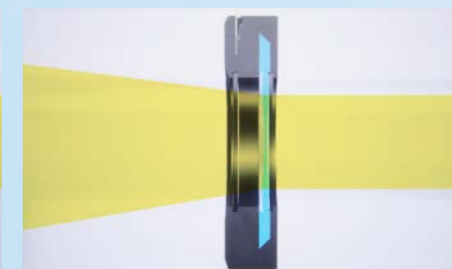
>>>

LASERSTRAHLMANIPULATION MIT FLÜSSIGKEITSLINSEN

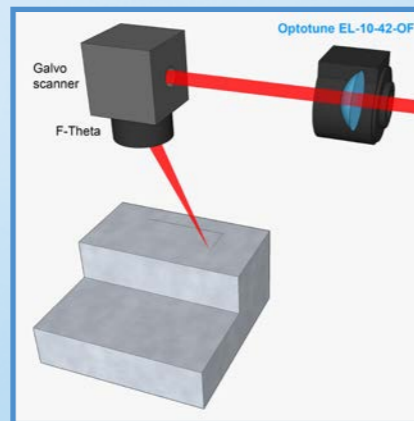
Die fokussierbaren Objektive von Optotune sind formveränderliche Linsen, die auf einer Kombination aus optischen Flüssigkeiten und einer Polymermembran basieren. Das Kernelement besteht aus einem Behälter, der mit einer optischen Flüssigkeit gefüllt und mit einer dünnen, elastischen Polymermembran verschlossen ist. Ein Metallring, der auf die Kanten der Membran drückt, formt die fokussierbare Linse, wenn ein elektromagnetisches Feld anliegt.

Diese Technologie weist mehrere Vorteile gegenüber herkömmlichen Optiken auf. Eine Änderung des Linsenradius um einige Mikrometer kann die gleiche optische Wirkung haben wie eine Verschiebung der gesamten Linse um einige Zentimeter. Fokussierbare Objektive erlauben es daher, optische Systeme wesentlich kompakter und ohne komplexe Mechanik zu konstruieren. Sie arbeiten mit kurzen Reaktionszeiten von nur wenigen Millisekunden. Darüber hinaus garantiert das Prinzip der Flüssiglinse einen zuverlässigen und langlebigen Betrieb mit Milliarden von Zyklen ohne mechanischen Verschleiß. Die Systeme sind robuster, da sie vollständig geschlossen werden können, sodass kein Staub eindringt.

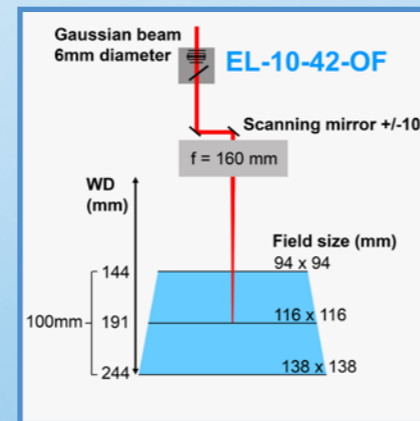
Ein weiterer Vorteil zeigt sich in der Produktion: Die Tatsache, dass weniger optische Teile bewegt werden, kombiniert mit der Ansteuerbarkeit des Radius im Betrieb, führt zu einer geringeren Toleranzempfindlichkeit und damit zu einer höheren Wirtschaftlichkeit.



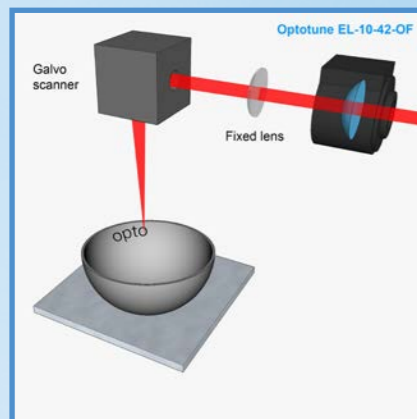
Funktionsprinzip einer fokussierbaren Flüssiglinse mit daraus resultierenden Änderungen des Strahlenfokus



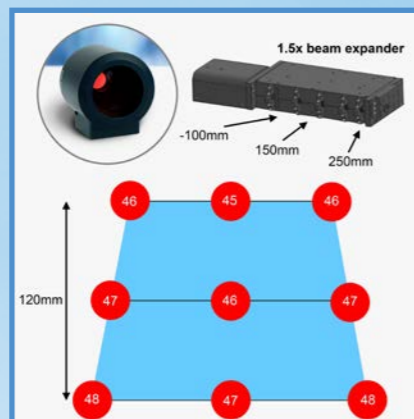
EL-10-42-OF-Flüssiglins in einer Konfiguration für die 2,5-D-Lasermarkierung



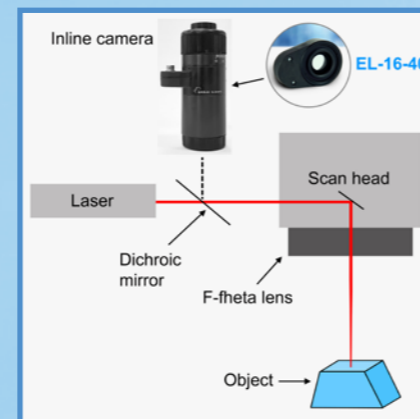
Markierungsfeld und z-Bereiche sind typische Werte bei Verwendung eines 160-mm-F-Theta-Objektivs



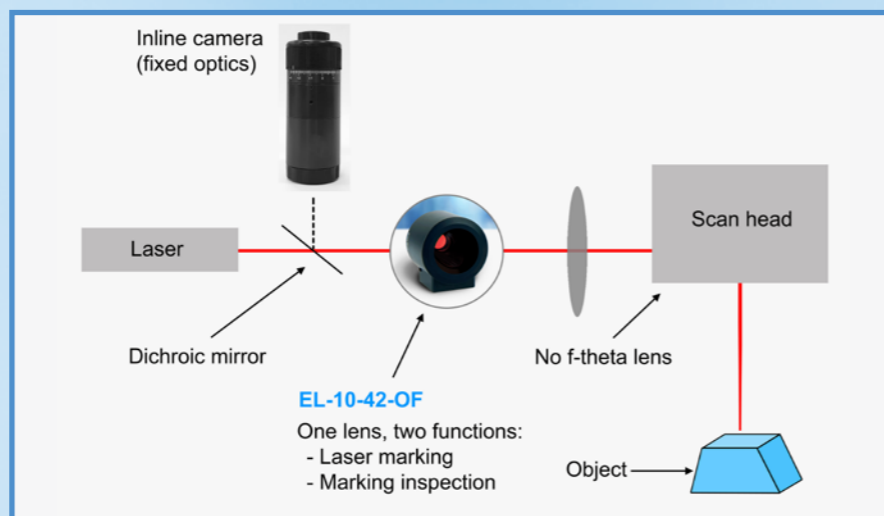
3-D-Lasermarkierkonfigurationen mit EL-10-42-OF benötigen kein F-Theta-Objektiv mehr



Die Größe der Laserspots (in Mikrometern) bleibt im gesamten Markiervolumen gleichmäßig, was die Genauigkeit der Markierungen verbessert



Anordnung zur Inline-Inspektion mit dem fokussierbaren Objektiv EL-16-40



Anordnung zur Inline-Inspektion mit dem fokussierbaren Objektiv EL-10-42-OF

triebs des Objektivs ständig aktiv, um dessen optische Leistung zu stabilisieren und eine Wiederholgenauigkeit von nur 0,02 Dioptrien im gesamten Bereich der Fokuseinstellung zwischen -2,0 und +2,0 Dioptrien zu ermöglichen. Auch wenn die Wiederholbarkeit nicht immer von Bedeutung ist, bleibt die optische Rückkopplung eine wichtige Spezifikation beispielsweise in der Ophthalmologie, wo sie aufgrund gesetzlicher Vorschriften zwingend erforderlich ist.

Ausweitung auf NIR- und sichtbares Licht

Mit der zweiten Generation des EL-10-42-OF haben die Schweizer Entwickler eine Version vorgestellt, die einen viel weiteren Wellenlängenbereich im Nahen Infrarot abdeckt, der von 950 bis 1100 nm reicht. Dies ist für alle Anwendungen mit NIR-Lasern nützlich, die nicht bei 1064 nm Wellenlänge arbeiten. Zudem stellt Optotune eine grüne Version der fokussierbaren Linse für Laser mit 532 nm und mit bis zu 20 W vor, die vor allem Kunden in der Augenheilkunde anspricht.

Die Erweiterung des Wellenlängenbereichs geht mit einigen Anpassungen des Designs einher: etwa optimierten optischen Komponenten wie Deckgläsern und Filtern, die dazu beitragen, die Stabilität der Linse zu verbessern und ihre thermische Empfindlichkeit zu verringern. Optotune hat auch die an der optischen Rückkopplung beteiligten Komponenten überarbeitet, um die Wiederholbarkeit des Systems beim Einschalten des Lasers oder beim Einsatz des Objektivs am Rande des Dioptrienbereichs weiter zu verbessern. Fortschritte bei den Fertigungsprozessen und zusätzliche Qualitätskontrollen erhöhen zudem die Zuverlässigkeit.

In der Materialbearbeitung besonders nützlich

Die industrielle Laserbearbeitung ist ein Anwendungsfeld, in dem sich bereits die erste Generation des fokussierbaren Objektivs EL-10-42-OF als besonders nützlich erwiesen hat. Das hat mehrere Gründe:

Erstens arbeitet sie sowohl im nahen Infrarot als auch bei sichtbaren Wellenlängen und eignet sich daher für verschiedene Materialien. Zweitens müssen viele Markier- und Gravierlasersysteme gelegentliche Sprünge auf eine andere Höhe zulassen, um 2,5-D-Prozesse zu ermöglichen. Anwender wollen jedoch sperrige und teure Translationsoptiken vermeiden. Das kompakte EL-10-42-OF kann einfach zwischen Laser und Scankopf in ein System eingebaut werden und ist perfekt zu den vorinstallierten F-Theta-Objektiven kompatibel, die üblicherweise zur optischen Feldabflachung verwendet werden. Der angepasste Aufbau ermöglicht eine schnelle und flexible Einstellung des Arbeitsabstands über einen weiten z-Bereich, ohne dass mechanische Komponenten erforderlich sind. Ein F-Theta-Objektiv mit einer Blendenöffnung von $f = 160$ mm kann beispielsweise einen z-Bereich von 100 mm abdecken. Da die Geschwindigkeit nicht so entscheidend ist, wird das EL-10-42-OF für 2,5-D-Anwendungen typischerweise in einer Analogsignalanordnung realisiert, bei der die Analogplatine die optische Leistung des Objektivs mittels Überwachung der optischen Rückkopplung und der Temperatur steuert. Damit kann der Fokus innerhalb von Millisekunden weit entlang der z-Achse variieren.

Drittens stellt die echte 3-D-Laserbearbeitung in der Industrie eine besondere Herausforderung dar, da entweder die Geschwindigkeit, der z-Bereich oder die Gleichmäßigkeit des Lichtpunkts beeinträchtigt werden. Konfigurationen mit dem EL-10-42-OF, die typischerweise von einer digitalen Steuerung mit dem XY2-100-Protokoll unterstützt werden, lösen all diese Herausforderungen. Sie bieten sowohl Geschwindigkeiten bis 6 m/s als auch einen weiten Arbeits- und z-Bereich von bis zu 1000 mm x 1000 mm sowie eine konstante Spotgröße im gesamten

Arbeitsbereich. Außerdem sind für eine derartige Konfiguration keine F-Theta-Objektive erforderlich, da das EL-10-42-OF die Verzerrungskorrektur am Rand selbst vornimmt. Es werden nur Standardoptiken benötigt, um einen Anfangsarbeitsabstand zu definieren.

Inline-Sichtprüfung mit fokussierbaren Flüssiglinsen

Auch in der Laserindustrie nimmt die Nachfrage nach Inspektionslösungen mit Lasern zu, da es häufig notwendig ist, die Qualität in Echtzeit zu überwachen. Ein weiterer wichtiger Grund ist der wachsende Bedarf an Automatisierung. Externe Kameras können diesen teilweise decken, aber visuelle Inline-Lösungen mit einem koaxialen Aufbau von Inspektionsweg und Laserstrahlengang, getrennt durch einen Strahlteiler, sind aus Gründen der Integration und Auflösung die bevorzugte Wahl.

Optotune begegnet diesem Problem auf zwei Wegen. In der ersten Konfiguration wird ein fokussierbares Objektiv EL-16-40, ein Schwesterprodukt des EL-10-42-OF, zu einer Standardkamera hinzugefügt, um eine automatische Fokussierung für die Inspektion vorzunehmen. Darüber hinaus kann es die Objektentfernung mithilfe des Autofokus-Algorithmus von Optotune zuverlässig messen. Dies kann genutzt werden, um den Laserfokus neu auf die richtige Ebene zu fokussieren. Da das EL-16-40-Objektiv außerhalb des Laserstrahlengangs liegt, lässt es sich unabhängig von der Laserleistungsklasse integrieren. Der bestehende Aufbau wird nur minimal beeinflusst, da nur ein einfacher dichroitischer Spiegel hinzuzufügen ist. Systeme mit Laserleistungen bis 50 W können von einer Konfiguration profitieren, bei der das EL-

10-42-OF-Objektiv gleichzeitig für die Laserbearbeitung und für die Inline-Inspektion verwendet wird. Die Inline-Kamera benötigt in diesem Fall nur eine Standard-Kameraoptik, und der Sensor muss nicht mit einem F-Theta-Objektiv ausgestattet werden. Dieser Ansatz führt zu Lasermarkiersystemen mit verbesserter Genauigkeit, da er im gesamten Markiervolumen konstante Laserspots und eine konstante Bildauflösung liefert. Hinzu kommt, dass das Markiervolumen im Vergleich zu einem Aufbau mit F-Theta-Objektiv sogar noch vergrößert wird. Darüber hinaus profitieren die Anwender von einer wesentlich kompakteren Bauweise und geringeren Gesamtkosten.

Fazit: Kompakte und präzise Fokuskontrolle

Die neue Generation fokussierbarer Objektive von Optotune für Laserstrahlen im NIR- und sichtbaren Bereich bietet Anwendern neue Möglichkeiten, kompakte und präzise Systeme für die 3-D-Fokuskontrolle und die Überwachung von Laserprozessen zu entwickeln. Diese können zu geringeren Gesamtkosten in neu entstehenden 2,5-D- und 3-D-Laseranwendungen wie Lasermarkieren und -schneiden sowie in der Augenheilkunde, der Mikrobearbeitung oder der Additiven Fertigung eingesetzt werden. ■

 www.optotune.com