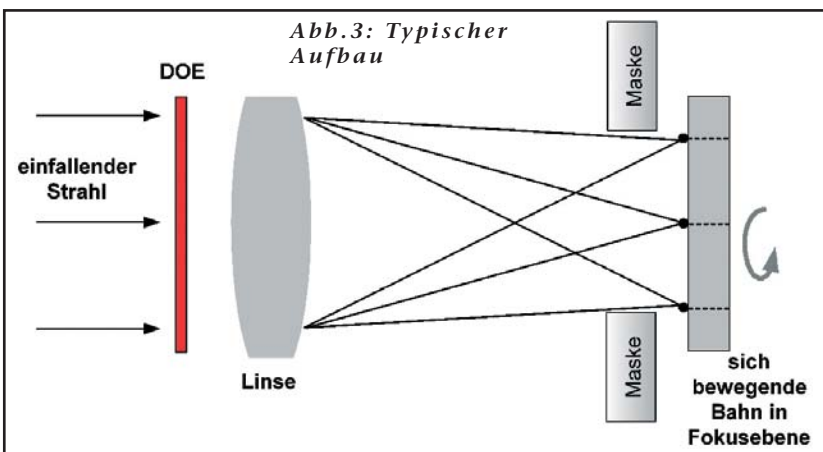
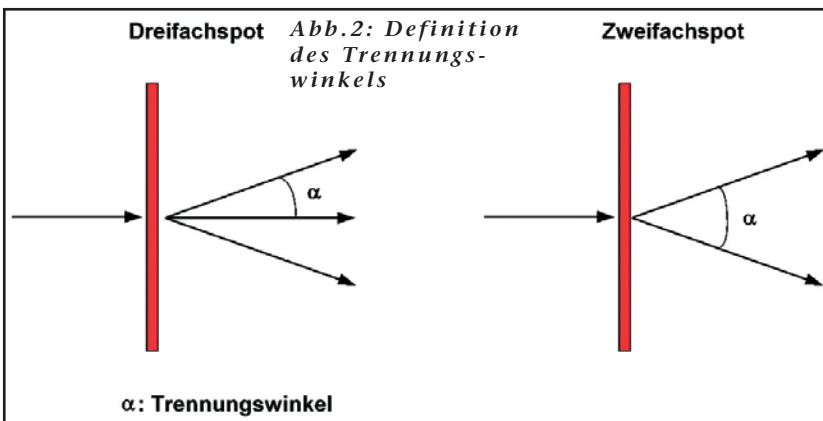
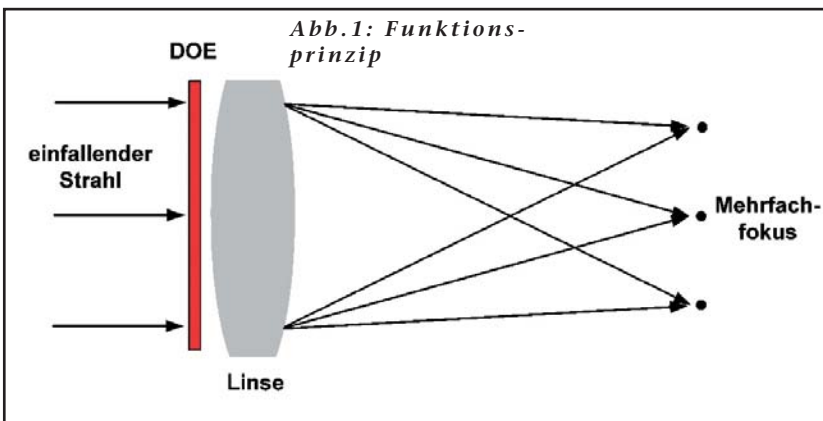


Für hohen Durchsatz

Laser-Perforation mittels diffraktivem Strahlteiler

Laser-Perforationssysteme müssen einen hohen Durchsatz schaffen, gleichzeitig aber sehr genau arbeiten. Im Ergebnis kommt es auf akkurate und saubere Löcher mit exakt definiertem Abstand an. Durch den Einsatz eines einzelnen diffraktiven Elements lässt sich die Leistung eines Perforationssystems steigern. Dies trifft vor allem auf jene Anwendungen zu, bei denen eine große Anzahl von Löchern in dünne Schichten gebrannt werden muss. Dieser Bericht soll Projektmanagern helfen, die Vorteile diffraktiver Strahlteiler zu verstehen sowie gewisse Designüberlegungen zu verinnerlichen. Neben einer breiten Palette an Standard-Strahlteilern sind bei Laser Components Sonderanfertigungen verfügbar, die auch sehr eng definierte Kundenvorgaben berücksichtigen. Diese diffraktiven Elemente sind für Wellenlängen von 193 bis 10.600 nm verfügbar.



Diffraktive Strahlteiler teilen einen Hauptstrahl in eine gewünschte Anzahl von Strahlen, wobei diese in einem ein- oder zweidimensionalen Array unter genau definierten Winkeln angeordnet sind. Der Eingangsstrahl gleicht jedem duplizierten Ausgangsstrahl im Durchmesser und der Intensitätsverteilung. (Abb. 1)

Der Strahlteiler erlaubt die simultane Erzeugung mehrerer Löcher im gleichen Werkstück mit extrem gleichmäßigem Abstand zwischen den einzelnen Spots. Die Lage der Spots ist relativ zueinander angeordnet, deshalb ermöglichen die preiswerten diffraktiven Elemente einen höheren Durchsatz, mehr Geschwindigkeit und eine bessere Ausrichtung. Oft entfällt sogar die Notwendigkeit eines X-Y-Tisches. Der Hersteller Holo-Or fertigt Bauteile mit 1x2, 1x3, 1x9, 1x15, 1x20, 1x27 usw. Verwendung finden dabei Zinkselenid (ZnSe), Quarzglas sowie andere Materialien. Entsprechend der Anwendung können die Strahlteiler für verschiedene Winkel, Wellenlängen und Spotzahlen angepasst werden.

Diffraktive Elemente benötigen einen kollimierten Eingangsstrahl unter senkrechtem Einfallswinkel und erzeugen daraus unter verschiedenen Austrittswinkeln ebenfalls kollimierte Strahlen. Diese können mit Hilfe einer Fokuslinse zu Spots gebündelt werden. Wird die Linse nah am diffraktiven Element angebracht, geschieht dies für alle Strahlen. Der Trennungswinkel für Doppel- und Dreifachstrahlteiler ist in der Abbildung 2 definiert.

Ein typischer Aufbau beinhaltet einen gepulsten Laser, einen diffraktiven Strahlteiler (DOE), eine Fokuslinse, eine optionale Maske sowie eine sich bewegende Arbeitsfläche (Abb. 3). Der gepulste Laser arbeitet mit konstanter Repetitionsrate. Der Strahl-

teiler erzeugt eine genau festgelegte Anzahl an Strahlen mit hoher Intensität. Die Linse fokussiert die Strahlen zu Spots in ihrer Fokusebene. Eine rotierende Bahn transportiert das zu bearbeitende Material, welches pro Laserpuls an spezifischen Stellen perforiert wird. Optional können die Nebenstrahlen bzw. -spots mit geringer Intensität mittels eines Strahlblockers ausmaskiert werden, um die Kanten des Bearbeitungsmaterials sauber zu halten.

Die Eigenschaften diffraktiver Strahlteiler sind im Folgenden aufgelistet:

- **Akkurate Winkeltrennung:** Sie ermöglicht genaue Abstände von Loch zu Loch.
- **Intrinsische Ausrichtung:** Die gesamte Arbeit wird von einem diffraktiven Muster auf nur einer Oberfläche eines einzelnen optischen Elements erledigt. Deswegen ist die Winkeltrennung unabhängig von der Ausrichtung zweier oder mehrerer diskreter Bauteile. Sie ist ebenfalls unempfindlich gegenüber Vibrationen, welche einen typischen X-Y-Z-Versatz erzeugen.
- **Hohe Zerstörschwelle:** Die typischen Elemente bestehen aus purem Quarzglas oder Zinkselenid (ZnSe) mit hoher Zerstörschwelle.
- **Leistungsverteilung:** Die Homogenität zwischen den Spots kann sehr gut sein, zum Beispiel +/- 1 % für 1x2 und 2x2 Strahlteiler; für andere Designs jedoch auch deutlich mehr. Beim Hersteller sind Informationen erhältlich, welches Design welche Homogenität erwarten lässt.
- **Optionale Ar/Ar-Beschichtung:** Die optionale Ar/Ar-Beschichtung reduziert die Rückreflexion und erhöht die Effizienz.
- **Unempfindlich gegenüber X-Y-Z-Versatz:** Die Spots behalten ihre Position sogar, wenn der Strahlteiler seine X-Y-Z-Position verändert.
- **Rotation:** Die Spots rotieren zusammen mit dem Bauteil.

Beim Aufbau des Gesamtsystems gibt es Folgendes zu berücksichtigen. Abhängig vom Design können bis zu 20 Prozent der Energie in mehrere genau definierte Positionen mit geringer Intensität fließen. Jede dieser Positionen kann fünf bis zehn Prozent der Energie eines starken Spots erhalten. Der genaue Wert hängt vom Design des diffraktiven Elements ab. Es ist empfehlenswert, mit dem Hersteller die zu erwartende Homogenität des jeweiligen Designs zu besprechen.

Der Einsatz einer Metallmaske, die den Strahl blockt, bevor er klar definierte Punkte wie in Abbildung 3 trifft, kann etwaige negative Auswirkungen der Niedrigenergie-Spots verhindern. Qualitätshersteller liefern

Tabelle 1: Eigenschaften ausgewählter Typen

Element-Typ	Gesamtenergie in allen gewünschten Strahlen	Winkelgenauigkeit in mRad	Homogenität zwischen Strahlen	Energie im Originalstrahl (0. Ordnung)	Energie im stärksten unerwünschten Winkel
2 Spots	79 %	0,02	+/- 0,5 %	< 1 %	4,5 %
3 Spots	84 %	0,02	+/- 5,0 %	28 % (angestrebt)	3,2 %
9 Spots	75 %	0,02	~ +/- 50,0 %	11 % (angestrebt)	4,0 %
15 Spots	85 %	0,02	~ +/- 25,0 %	6 % (angestrebt)	1,0 %

Informationen darüber, wo sich solche Positionen bei den einzelnen Designs befinden. Zusätzlich sind "Low Zero Order"-Strahlteiler verfügbar, die sich durch besonders wenig Energie (zum Beispiel < 0,5 %, abhängig vom Design) in der ungewollten nullten Ordnung in der Mitte auszeichnen.

Strahlteiler senden abhängig vom Design ungefähr 20 Prozent der Energie außerhalb der Spots zu genau definierten Positionen. Diese Energie kann zur Erwärmung des Systems führen. Der Brechungsindex eines Materials verändert sich mit steigender Temperatur ein wenig, und die Fokusslänge der Optiken ändert sich entsprechend. Normalerweise spielt dieser Effekt erst dann eine Rolle, wenn die Temperatur der optischen Elemente auf über 80°C steigt. Solche Hitzegrade werden jedoch für gewöhnlich nur mit leistungsstarken Lasern bei gleichzeitig ungenügender Lüftung der Linsen erreicht. Es gibt zwei leicht zu implementierende Lösungen, um diesem Problem Herr zu werden. Die erste ist, die Lüftung der Linsen zu verbessern. Die zweite ist, die Optiken so auszulegen, dass sie gut bei der höheren Betriebstemperatur arbeiten.

Die Strahlteiler sind unempfindlich gegenüber X-Y-Z-Versatz, nicht jedoch gegenüber der Rotation. Normalerweise werden die Bauteile zuerst grob justiert. Dann erfolgt ein erster Test auf Thermopapier. Ist das Element noch nicht korrekt an seinem Platz, wird es weiter rotiert und fein justiert. Eine elegantere Methode ist es, ein Bauteil mit innerlich gut ausgerichteten 1x1 mm-Kerben zu bestellen. Diese lassen sich mit einer Exaktheit von 0,1 Grad der Rotationsachse herstellen. Für Anwendungen, bei denen sowohl das Gewicht als auch die Größe des Systems eine entscheidende Rolle spielen, gibt es Einzelelemente, die zugleich Fokusslinse und Strahlteiler sind.

Zusätzlich zur Energie in den Hauptstrahlen wird ein kleiner Teil der Energie über genau definierte Winkel abgelenkt. Homogenität und Effizienz hängen vom Design ab. Für ausgewählte Designs werden die typischen Leistungen in unten stehender Tabelle aufgeführt.

Autoren: Rainer Franke, Laser Components GmbH und Moshe Brill, Holo-Or Ltd.

www.lasercomponents.com
www.holoor.co.il

Tabelle 2: Ausgewählte Standardteiler

Teilenummer von Holo-Or	Typ	Refraktive Substrate		Parameter des einfallenden Strahls		Spot-Entfernung bei Benutzung mit	
		Material	Dm.	Wellenlänge	Winkeltrennung	f=50mm	f=100mm
			Inch	in μm	in Grad	in mm	
DS-002	Doppelpot	ZnSe	1,1"	10,6	2,7	2,36	4,72
TS-004	Dreifachspot	ZnSe	1,1"	10,6	1,35	1,18	2,36
DS-006	Doppelpot	Quarzglas	1,0"	1,064	2,53	2,21	4,42
TS-3053	Dreifachspot	Quarzglas	1,0"	0,532	2,5	2,18	4,37
MS-022	Strahlteiler 15-fach	Quarzglas	1,0"	1,55	0,041	0,04	0,07