



Von der Standardoptik zum kundenspezifischen Design

AUS STANDARDOPTIKEN ›VON DER STANGE‹ LASSEN SICH ZEIT- UND KOSTENGÜNSTIG INDIVIDUELLE, NACH KUNDENVORGABEN GEFERTIGTE OPTISCHE KOMPONENTEN ERSTELLEN

In der Optik erfordern selbst Standardkomponenten einen nicht unerheblichen Zeit- und Kostenaufwand, der bei kundenspezifischen Sonderanfertigungen in beiden Bereichen noch einmal deutlich höher ausfällt. Bei der traditionellen Herstellung kundenspezifischer Optiken wird jede Komponente von Grund auf neu gefertigt. Wenn dagegen die bereits in die Produktion von Standardkomponenten getätigten Investitionen genutzt werden können, spart dies eine Menge Zeit und Geld. Kann zudem auf Lagerware als Ausgangsbasis für die maßgeschneiderte Lösung zurückgegriffen werden, lassen sich die Lieferzeiten erheblich verkürzen.

ANDREW FISHER

Da die Optik in Wissenschaft und Technologie eine immer bedeutendere Rolle spielt, wird auch die Nachfrage nach kundenspezifischen optischen Komponenten weiter wachsen. Sonderanfertigungen nach Kundenvorgaben führen in jeder Branche meistens zu längeren Lieferzeiten – manchmal zu so langen, dass sie für den Kunden nicht mehr tragbar sind. Wenn ein Prototyp gebaut oder Spezialesysteme in kleinen Stückzahlen entwickelt werden, sind die Kunden darauf angewiesen, dass sie ihre Teile schnell bekommen. Um diese Kundenanforderungen zu erfüllen, müssen sich die Hersteller schnell und flexibel auf Sonderwünsche einstellen können.

Es gibt mehrere Methoden, mit denen Hersteller Standardoptiken rasch anpassen können, um ihre Leistungs- und Zeitvorgaben einzuhalten.

Traditionelle Fertigung

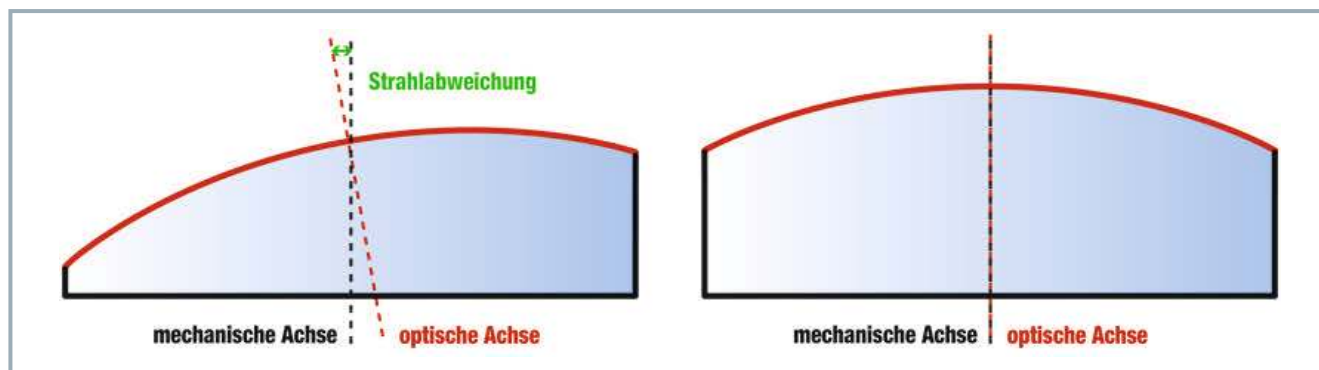
Lange Lieferzeiten hängen nicht davon ab, welchen Hersteller der Kunde wählt. Die Produktion hochwertiger optischer Komponenten braucht einfach Zeit. Die Fertigung einer Optikkomponente vom Anfang bis zum Ende ist keine Kleinigkeit, ganz gleich, ob man sich am einfacheren Ende des Spektrums (beispielsweise ein Fenster) befindet oder ob es sich um etwas so Komplexes wie eine doppelseitig-asphärische Linse handelt. Der Herstellungsprozess besteht

grundsätzlich aus drei Schritten – Schleifen, Polieren und Zentrieren –, die Techniken zu ihrer Ausführung können jedoch unterschiedlich sein.

Das unbearbeitete Glasmaterial liegt oft in Form eines Rohlings vor (ein Zylinder, der entweder in die gewünschte Form gepresst

KONTAKT

Edmund Optics Germany
76227 Karlsruhe, Deutschland
Tel. +49 721 62737-30
info@edmundoptics.de
www.edmundoptics.de
Control: Stand 7.7411
Optatec: Stand 3.G26




1 Erklärung der Strahlabweichung: Diese Grafik zeigt, wie die Strahlabweichung bei einer gekrümmten Oberfläche durch Abzentrieren korrigiert werden kann. Auf der linken Seite stimmen die optische und die mechanische Achse nicht miteinander überein. Durch Abzentrieren der Optik können diese Achsen wieder aufeinander ausgerichtet werden

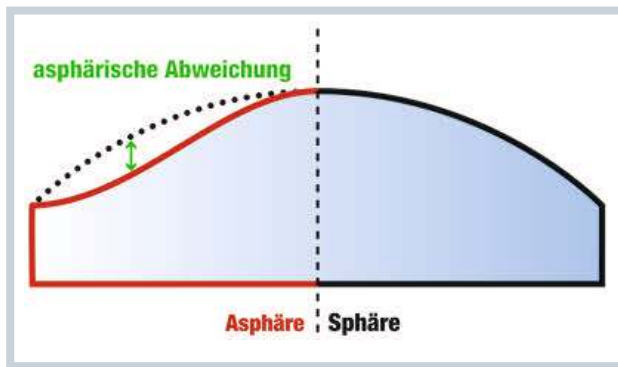
oder von einem längeren Stab abgeschnitten wird), der in Durchmesser und Dicke ungefähr der herzustellenden Optik entspricht. Der erste Schritt besteht darin, die Oberfläche grob zu formen, indem Material so lange abgeschliffen wird, bis sich die Oberfläche dem gewünschten Profil annähert. Der Rohling wird jeweils nur auf einer Seite geschliffen. Dafür werden mit Diamanten versetzte Schleifwerkzeuge verwendet, deren Körnung schrittweise immer feiner gewählt wird. Man beginnt mit dem größten Schleifwerkzeug, um rasch Material abzutragen und die ungefähre Form der gewünschten Oberfläche zu erhalten. Nacheinander kommen Schleifwerkzeuge mit immer feinerer Körnung zum Einsatz, um die Oberfläche immer mehr der durch die Konstruktion vorgegebenen Form anzunähern. Dabei muss genügend Material abgetragen werden, um die unter der Oberfläche liegenden Schäden des vorhergehenden Schritts

zu beseitigen. Die meisten Optiken durchlaufen zwei bis vier einzelne Schleifschritte, bis die Oberfläche mit der gewünschten Form und Rauigkeit erreicht ist.

Als Nächstes werden die Oberflächen poliert. Dazu werden üblicherweise lose in Suspension vorliegende Poliermittel verwendet (im Gegensatz zum Schleifen, wo die Schleifmittel gebunden sind), bei denen das Poliermittel als Polierschlamm zwischen dem Polierwerkzeug und dem Werkstück fließt. Ähnlich wie beim Schleifen wird auch beim Polieren das Glas mechanisch abgetragen, wobei beim Polieren auf der Oberfläche aber auch chemische Veränderungen stattfinden. Die Polierzeiten hängen im Wesentlichen von der Partikelgröße des Poliermittels sowie von der Unregelmäßigkeit und Rauigkeit der gewünschten Oberfläche ab. Eine kleinere Partikelgröße trägt das Material langsamer ab, erzielt aber eine glattere Oberfläche.

Meistens ist ein einziger Polierprozess ausreichend, doch ähnlich wie beim Schleifen ist je nach Anwendung für hochpräzise oder besonders glatte Oberflächen ein zweistufiger Prozess erforderlich.

Im letzten Schritt des Fertigungsprozesses, nachdem die Oberflächenbearbeitung abgeschlossen ist, wird die Optikkomponente zentriert, beziehungsweise an ihren Kanten bearbeitet. Dieser Prozess verleiht der Komponente ihren vorgesehenen Außendurchmesser und richtet bei gekrümmten Oberflächen die optischen Achsen jeder Oberfläche auf die mechanische Achse aus. Beim Zentrierschritt muss die optische Komponente zwischen der oberen oder unteren Oberfläche eingespannt oder auf eine Spindel montiert und mithilfe eines löslichen Klebstoffs in der korrekten Position gehalten werden. Danach wird der Außendurchmesser des Teils mit einer Schleifscheibe auf das vorgegebene 



2 Erklärung der asphärischen Abweichung: Die Grafik zeigt, wie die asphärische Abweichung üblicherweise definiert wird. Hierbei ist zu beachten, dass die Sphäre (schwarz) die am besten passende Sphäre (BFS) darstellt, da sie die Asphäre (rot) im Mittelpunkt und am Rand schneidet

Maß zugeschnitten. In diesem Schritt können auch Abschrägungen und Fasen angebracht oder die Ränder abgeflacht werden.

Ganz gleich, ob 1000 oder 10 Teile produziert werden, alle diese Schritte müssen in jedem Fall durchgeführt werden. Wenn jedoch zur Herstellung der kundenspezifischen Optik eine Standardoptik angepasst werden kann, fallen viele dieser Schritte weg. Vielleicht besteht die Anpassung ganz einfach darin, dass der Durchmesser eines vorhandenen Filters oder einer Linse verringert oder die Oberflächen Genauigkeit über den Wert von $\lambda/4$ der Standardoptik hinaus verbessert wird. Selbst bei der Herstellung kundenspezifischer asphärischer Linsen lässt sich Zeit und Geld sparen, wenn mit einer Linse mit einer ähnlichen sphärischen Oberfläche begonnen wird. Damit auf Lager vorrätige Teile einen nennenswerten Nutzen bringen, muss ein leichter Zugriff auf einen umfassenden Katalog an optischen Komponenten vorliegen sowie die entsprechende Erfahrung zur Verfügung stehen, um die jeweils erforderlichen Anpassungen vorzunehmen.

Um aus einer Standardkomponente ein kundenspezifisches optisches Design zu machen, bieten sich mehrere Anpassungs-

verfahren an. Das Ändern des Durchmessers einer Optik, auch als »Abzentrieren« bezeichnet, ist eine relativ unkomplizierte Anpassung. Weitere gängige Möglichkeiten sind die Verbesserung der Oberflächengüte oder die Änderung der Oberflächenformabweichung. Doch das ist keineswegs alles. Weitere Endbearbeitungsschritte wie das Verkitten, das Schwärzen der Kanten oder das Beschichten eröffnen nahezu unbegrenzte Möglichkeiten für die individuelle Anpassung innerhalb kurzer Lieferzeiten.

Abzentrieren

Eine der einfachsten Anpassungen, die an einer optischen Komponente vorgenommen werden kann, ist das sogenannte »Abzentrieren«, das heißt eine Verringerung ihres Außendurchmessers. Eine solche Veränderung erfordert keine Eingriffe an der optischen Oberfläche und kann daher mit minimalem Bearbeitungsaufwand durchgeführt werden. Bei planparallelen Optiken, also optischen Elementen ohne gekrümmte Oberflächen, ist das Abzentrieren eventuell schwieriger und zeitaufwendiger, wenn die Oberflächen beschichtet sind. Es ist auch möglich, dass sich die Schichten nach dem

Schneiden ablösen. Deshalb ist es sehr wichtig, dass für die optische Komponente eine geeignete Halterung gewählt wird, damit die beschichteten Oberflächen nicht beschädigt werden. Eine vorübergehend aufgetragene Schutzschicht kann die sensible Beschichtung zudem schonen.

Bei einer Optik mit gekrümmter Oberfläche, ganz gleich, ob auf einer oder auf beiden Seiten, muss zusätzlich die Strahlabweichung (Bild 1) berücksichtigt werden. Die Strahlabweichung ist der Winkel, um den die optische Achse einer optischen Komponente von ihrer mechanischen abweicht. Beim Abzentrieren gekrümmter optischer Komponenten werden diese Achsen vor der Ausführung des Schnitts so gut wie möglich aufeinander ausgerichtet. Nach dem Schnitt kann die endgültige Strahlabweichung gemessen werden.

Verbesserung der Oberfläche

Eine komplexere Art der Anpassung von Standardoptiken ist die Verbesserung einer bereits polierten Oberfläche mit Hightech-Methoden wie dem magnetorheologischen Polieren (»magnetorheological finishing«, MRF).

Beim MRF-Verfahren kommt eine CNC-Poliermaschine zum Einsatz, die mithilfe einer magnetischen Polierflüssigkeit sehr kleine Materialvolumina abträgt. In Kombination mit einer messtechnikgestützten Regelungsschleife, die die Bahn des Polierwerkzeugs an die Zielbereiche anpasst, in denen mehr oder auch weniger Abtrag erforderlich ist, stellt MRF ein äußerst leistungsfähiges Verfahren dar. Eine im Subaperturbereich arbeitende Poliermaschine ermöglicht es dem Hersteller, die Oberfläche von Sphären, Asphären oder sogar von

	Ausgangsmaterial (4-6 Wochen***)	Schleifen (1-2 Wochen***)	Polieren (1-2 Wochen***)	Abzentrieren (< 1 Wochen)	Beschichtung (1-2 Wochen***)	Geschätzte Kosten**
Traditionelle Fertigung	X	X	X	X	X*	€€€€€€
Oberflächenumformung		X	X	X	X*	€€€€
Oberflächenverbesserung			X	X	X*	€€€
Änderung der Abmessungen				X	X*	€€
Aufbringen einer Beschichtung					X*	€

* Optionaler Bearbeitungsschritt je nach anwendungsspezifischen Anforderungen.

** Basierend auf 1 bis 25 Teilen; die Anzahl der €-Zeichen symbolisiert die jeweils anfallenden Kosten.

*** Diese Zeiten sind Schätzungen basierend auf Losgröße 25 unter der Annahme einer normalen Kapazitätsauslastung.

A Herstellungsprozess optischer Komponenten: Gegenüberstellung von traditioneller Fertigung und Anpassung von Standardoptiken

nicht rotationssymmetrischen Teilen zu verbessern.

Auch hier ist die Ausgangskomponente ein fertiges Teil. Viele Optiken in handelsüblicher Qualität werden nicht auf engste Oberflächentoleranzen (in der Größenordnung von $\lambda/2$) poliert. Gerade bei Lasertechnik-Anwendungen (insbesondere im Hochleistungsbereich) entscheiden Genauigkeit und Rauigkeit der Oberfläche oft über den Erfolg eines Systems. Eine größere Oberflächenrauigkeit kann zu Streuung und Lichtverlusten oder sogar zur Beschädigung der Optik führen. Eine Nachbesserung der Oberfläche eines bereits vorhandenen Teils unter Einsatz der MRF-Technologie kann sowohl Unebenheiten als auch die Rauigkeit der Oberfläche mit überschaubarem Zeitaufwand verbessern. Oberflächenunebenheiten von $\lambda/10$ oder $\lambda/20$ und eine Oberflächenrauigkeit von weniger als 10 \AA sind bei Anwendung dieser Technik realisierbar.

Wenn hierfür eine auf Lager vorrätige Optik verwendet wird, entfällt das Schleifen, was die Lieferzeiten verkürzt.

Oberflächenumformung

Ein einzigartiger Weg, die Vorteile einer Standardoptik nutzen zu können, ist die Änderung der Oberflächenkrümmung. Ein Beispiel hierfür ist die Umformung einer sphärischen Oberfläche in eine asphärische. Dies kann ein anspruchsvolles Unterfangen sein, denn es ist unter Kostengesichtspunkten nicht sinnvoll, eine x-beliebige Kugeloberfläche in eine Asphäre zu verwandeln. Die bereits vorhandene Sphäre sollte vielmehr einen geeigneten Ausgangspunkt bieten.

Damit sich diese Anpassung lohnt, muss eine sphärische Optik ausgewählt werden, die mit der am besten passenden Sphäre (»best fit sphere«, BFS) der gewünschten kundenspezifischen Asphäre übereinstimmt oder ihr zumindest sehr nahe kommt. Die BFS entspricht dem Krümmungsradius, der sowohl durch den Mittelpunkt als auch durch den Rand der asphärischen Oberfläche verläuft. Die asphärische Abweichung ist definiert als der Abstand zwischen der asphärischen Oberfläche und derjenigen der BFS (**Bild 2**). Je größer die Abweichung, desto mehr Material muss abgetragen werden und desto länger dauert die Herstellung der optischen Komponente. Wenn eine Asphäre aus einem Rohling hergestellt wird, muss

sehr viel Material abgetragen werden. Wenn eine Asphäre dagegen ausgehend von einer bereits polierten sphärischen Optik hergestellt wird, können, je nach asphärischer Abweichung, bis zu 75 Prozent des üblichen Herstellungsverfahrens umgangen werden. Bei einer Asphäre mit größerer Abweichung, beispielsweise $0,1 \text{ mm}$, dauert die Herstellung natürlich länger als bei einer Asphäre mit nur sehr geringer Abweichung, beispielsweise $0,01 \text{ mm}$.

Diese Art der Anpassung eignet sich nicht nur für Asphären. Eine sphärische Oberfläche kann auch in eine sphärische Oberfläche mit anderem Radius abgeändert werden. Wie bei Asphären bestimmt auch hier die Pfeilhöhe die Bearbeitungszeit. Je nachdem, um wie viel die Pfeilhöhe der Standardoptik von der Pfeilhöhe des neuen Designs abweicht, ist mehr oder weniger Zeit zu veranschlagen, um aus einer sphärischen Optik »von der Stange« eine maßgefertigte sphärische Optik nach Kundenvorgaben zu machen.

Fazit

Innovatoren benötigen oft speziell nach ihren Vorgaben gefertigte Optiken, können sich aber keine langen Lieferzeiten erlauben. Das Angebot, Standardoptiken anzupassen, ermöglicht eine rasche Bearbeitung und entsprechend kürzere Lieferzeiten (Tabelle A). Je vielfältiger das Angebot an Standardoptiken ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein im Lager vorrätiges Teil nach den spezifischen Anforderungen eines Kunden angepasst werden kann. Zusätzlich zum Abzentrieren, Polieren und Verändern der Oberflächenformabweichung im Subaperturbereich eröffnen Optionen für Spezialbeschichtungen und das Verkitten von Linsenkombinationen nahezu unbegrenzte Möglichkeiten, nach Kundenvorgaben maßgefertigte optische Komponenten schneller zur Verfügung zu stellen.

AUTOR

ANDREW FISHER ist Manufacturing Engineer bei Edmund Optics und dort für die Prozessentwicklung neuer Fertigungsmethoden sowie für Forschung und Entwicklung in der Fertigungstechnik verantwortlich.

■ www.laser-photonik.de/LP110251