

Projektplan

Laser Beam Figuring: Entwicklung eines laserbasierten Korrekturpoliturverfahrens für Asphären und Freiformoptiken aus Quarzglas und ULE (21672 N)

Forschungsziel

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Laser Beam Figuring“ soll der gleichnamige Prozess, welcher bereits unter Laborbedingungen demonstriert wurde, zu einem industrietauglichen, wirtschaftlichen Korrekturverfahren für Asphären und Freiformoptiken entwickelt werden. Hierfür soll insbesondere die Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit durch Verwendung einer kommerziell erhältlichen hochstabilen Laserstrahlquelle gesteigert werden. Zusätzlich steht der Übertrag des Verfahrens von Flachproben auf die 2.5D-Bearbeitung von Sphären, Asphären und Freiformflächen im Fokus des Projektes. Daneben soll das Projekt grundlegende Erkenntnisse im Aufbau der durchgängigen Prozesskette aus Vermessen der Oberfläche und LBF-Bearbeitung (inkl. evtl. Iterationen) erarbeiten und in eigens entwickelten Algorithmen festhalten.

Arbeitsdiagramm

Arbeitspaket	Zeitraum																								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
AP 1: Entwicklung des Laser Beam Figuring für 2D-Flächen													◆ MS 2												
AP 2: Entwicklung des Laser Beam Figuring für 3D-Flächen																									
AP 3: Entwicklung der Prozesssoftware													◆ MS 3												
AP 4: Technische und wirtschaftliche Bewertung des LBF																									
AP 5: Risiko- und Projektmanagement / Ergebnistransfer																									
Meilensteine				◆ MS1																					MS4 ◆

M1= Schwankung der Laserleistung am Bearbeitungspunkt auf $\pm 1\%$

M2= Erfolgreicher Bearbeitung von Planproben mit einem 2x2 Stitch

M3= Notwendigen Algorithmen implementiert und die Oberflächenkorrektur mit berechneten Bearbeitungsprogrammen ist möglich

M4= Fertigstellung der Demonstratoren

Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Bei dem neuen Fertigungsverfahren, dem sogenannten Laser Beam Figuring (LBF), wird mittels modulierter CO₂-Laserstrahlung mit Pulsdauern im Bereich von 10 bis 100 µs und Pulsleistungen von 25 bis 100 W ein lokaler Glasabtrag in Schichten von ein- bis zweistelligen Nanometern mit einer lateralen Auflösung von ≈ 50 µm erzielt. Durch die individuelle Steuerung der Dauer jedes einzelnen Laserpulses kann die lokale Abtragtiefe orts aufgelöst eingestellt werden. Somit können Formfehler, LSFR aber auch mid-spatial-frequency errors (MSFE) mit Ortswellenlängen von ≥100 µm korrigiert werden. In ersten Vorversuchen konnte gezeigt werden, dass das LBF im Vergleich zu konventionellen Korrekturpoliturverfahren hohe Flächenraten von bis zu 0,4 mm²/s erreicht. Durch Verbesserungen der Anlagentechnik und der Bearbeitungsstrategie ist anzunehmen, dass die Flächenrate weiter gesteigert werden kann.

Um die Anforderungen an Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit erfüllen zu können, wird im geplanten Projekt zunächst ein Versuchsaufbau mit einer Laserstrahlquelle mit aktiver Leistungsstabilisierung grundlegend charakterisiert. Hierbei wird insbesondere die Prozessumgebung, Prozessmedien (z.B. Kühlwasser) und der Betriebspunkt der Laserstrahlquelle angepasst, um eine möglichst geringe Variation der Ausgangsleistung zu erzielen. Ziel ist eine Schwankung der Ausgangsleistung von ±1 % oder weniger (Messzeit 10 Minuten). Zusätzlich wird die Schwankung der Kraterform und Abtragtiefe der Materialien Quarzglas und ULE untersucht. Durch Verwendung eines Power Attenuators sollen der Betriebspunkt der Laserstrahlquelle und der Prozesspunkt aufeinander abgestimmt werden, um insgesamt eine höchstmögliche Prozessstabilität zu gewährleisten.

Im weiteren Vorgehen soll durch systematisches Anheben der Pulsfrequenz von 1 kHz auf bis zu 10 kHz die Flächenrate des Prozesses gesteigert werden. Limitierender Faktor ist hierbei vermutlich die wechselseitige thermische Beeinflussung der einzelnen Pulse. Daher soll diese systematisch erfasst und in der Bahnplanung berücksichtigt werden.

Der so stabilisierte und beschleunigte Prozess wird anschließend systematisch an die Bearbeitung von Freiformflächen herangeführt. Hierfür wird in einem ersten Schritt die vollflächige Bearbeitung flacher Proben erarbeitet. Hierbei muss eine Bearbeitungsstrategie für das Zusammensetzen mehrere Bearbeitungsfelder (Stitching) erarbeitet werden. Für den Übertrag auf 2.5D-Oberflächen erfolgt anschließend sowohl eine Erarbeitung einer Bearbeitungsstrategie für besonders hohe Abtragstiefen (Iterative Bearbeitung mit und ohne Zwischenvermessung), sowie die systematische Untersuchung des Einflusses des Einfallswinkels auf die Abtragtiefe und Kraterform. Mit diesen Informationen wird anschließend schrittweise die Bearbeitung sphärischer und asphärischer Flächen sowie schlussendlich von Freiformoptiken erarbeitet. Insbesondere für Freiformflächen soll ein weiterer Fokus auf die

Korrektur von Geometrien gelegt werden, welche bisher nicht oder nur begrenzt korrekturpoliert werden können (z.B. konkave Strukturen mit Radien < 10 mm).

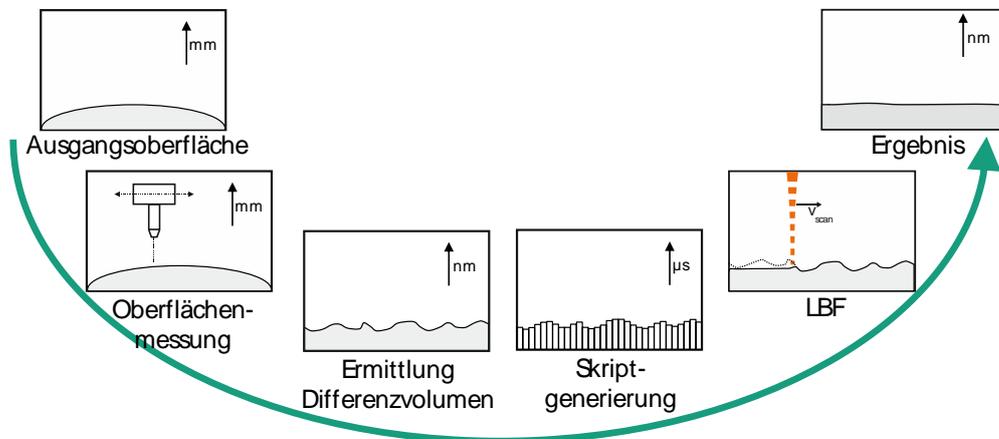


Abbildung 1: Schematische Darstellung der einfachen, iterationsfreien Prozesskette zum Laser Beam Figuring (LBF)

Parallel zur Prozessentwicklung wird am Fraunhofer ILT eine Algorithmenbibliothek entwickelt, welche es ermöglicht aus Messdateien der Soll- und Ist-Oberfläche automatisiert eine Bearbeitungsstrategie zu berechnen. Hierzu wird eine Parameterdatenbank mit den Ergebnissen aus den Arbeitspakete gefüllt.

Der so entwickelte Prozess und die zugehörige Software werden abschließend anhand von Demonstratoroptiken erprobt und wirtschaftlich und technisch qualifiziert. Hierbei soll der Fokus auf der Fertigung von Asphären und Freiformflächen liegen. Zusätzlich gilt es im Laufe des Projektes mögliche Einflüsse auf die chemischen und optischen Eigenschaften des Materials zu erfassen. Alle Ergebnisse des Projektes werden abschließend in einem Anwendungskatalog zusammengefasst.

Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Hochpräzise Asphären und Freiformoptiken gewinnen vor dem Hintergrund neuer Herausforderungen an die Abbildungsqualität und die Baugröße optischer Systeme zunehmend an Bedeutung. Die Fertigung dieser optischen Komponenten ist jedoch mit hohen Anforderungen an die Fertigungsmethoden verbunden, weshalb ein wirtschaftlicher Einsatz dieser Komponenten bisher auf den High-End-Bereich beschränkt ist.

Ein signifikanter Kostentreiber in der konventionellen Fertigungskette hochpräziser nicht-sphärischer Optiken sind die Korrekturpoliturverfahren. Hierbei wird mit zonalem Werkzeugeingriff poliert. Auf Basis einer vorausgegangenen Formmessung der zu bearbeitenden Optik werden über eine Verweilzeitsteuerung die Form und auch low-spatial-frequency errors (LSFE) korrigiert. Hierbei werden

höchste Anforderungen an die Prozessgenauigkeit, Stabilität und Wiederholbarkeit gestellt, um die optischen Komponenten auf die finalen Spezifikationen zu bringen. Gängige Verfahren sind u.a. das Ion-Beam Figuring (IBF) und das Magnetorheologische Finishing (MRF).

Die hohen Investitionskosten in entsprechende Hochpräzisionsmaschinen sowie besonders die hohen Prozesszeiten pro Bauteil stellen kleine und mittelständische Unternehmen vor große Herausforderungen. Aus diesem Grund ist die Erforschung neuer Fertigungsprozesse mit potenziell geringeren Investitionskosten sowie insbesondere kürzeren Prozesszeiten ein wichtiger Schritt, um die Marktposition der mittelständisch geprägten deutschen Optikindustrie im globalen Markt zu festigen. Ein solches potenzielles neues Fertigungsverfahren ist der Feinstabtrag im Nanometerbereich mittels modulierter CO₂-Laserstrahlung, das sogenannten Laser Beam Figuring (LBF).

Bei erfolgreicher Projektdurchführung lässt das Laser Beam Figuring einen signifikanten Technologiesprung in der Fertigungstechnik für Optiken erwarten. Die hohe Geometriefreiheit, die hohe laterale Auflösung, das verschleißfreie Werkzeug Laserstrahlung und die hohe Automatisierung des Laser Beam Figuring führen zu einer Reduzierung der Prozesszeiten und Herstellungskosten von hochpräzisen nicht-sphärischen optischen Elementen. Dadurch können diese Optiken kundenspezifisch in kleiner und mittlerer Stückzahl kosteneffizient gefertigt werden.

Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
asphericon GmbH <small>KMU</small>
Carl Zeiss SMT GmbH
Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG
Innolite GmbH <small>KMU</small>
JENOPTIK Optical Systems GmbH
Karl H. Arnold Maschinenfabrik GmbH & Co. KG <small>KMU</small>
LAYERTEC GmbH <small>KMU</small>
Leica Microsystems CMS GmbH
LightFab GmbH <small>KMU</small>
SwissOptic AG

Das IGF-Vorhaben Nr. 21672 N der Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.