

Polieren optischer Präzisionsoberflächen mit Laserstrahlung

Annika Richmann*, Edgar Willenborg**, Konrad Wissenbach**

*Institut für Technologie optischer Systeme, RWTH Aachen University

**Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen

<mailto:annika.richmann@ilt.fraunhofer.de>

Ein neuer Prozess zum Polieren von optischen Komponenten aus Glas und Kunststoffen mit CO₂-Laserstrahlung wird im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes PoliLas am Lehrstuhl für Technologie optischer Systeme in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt. Auf Flachproben kann die Rauheit von z.B. Quarzglas von Ra ≈ 100 nm auf Ra < 5 nm reduziert werden. Die Flächenraten liegen mit bis zu 1 cm²/s für Quarzglas und 10 cm²/s für Kunststoffe um bis zu einem Faktor 10 über den Flächenraten konventioneller Polierverfahren.

1 Einführung

In optischen Systemen werden zunehmend Asphären und Freiformoptiken eingesetzt, da sie Abbildungsfehler minimieren und Gewichtsvorteile bieten. Konventionelle Verfahren zum Polieren dieser Geometrien sind zeitaufwendig und kostenintensiv. Das Polieren von optischen Komponenten aus Glas und Brillengläser aus Kunststoffen mit CO₂-Laserstrahlung bietet Vorteile hinsichtlich der Prozesszeiten und der Flexibilität des Verfahrens z.B. zum Polieren von Freiformoberflächen. Die Verfahrensentwicklung konzentriert sich zunächst auf die Werkstoffe Quarzglas und Polycarbonat.

2 Verfahrensprinzip

Für das Verfahren wird ein CO₂ Laser mit einer maximalen Ausgangsleistung von 1500 W eingesetzt. Die CO₂-Laserstrahlung wird mit einem Laserscanner mit Geschwindigkeiten von bis zu 10 m/s über die Oberfläche geführt. Durch diese hohen Scangeschwindigkeit wird ein Linienfokus gebildet. Die Proben werden in einem Aluminiumaufbau, der eine homogene Temperaturverteilung gewährleistet, vorgeheizt (Abb. 1). Durch die Vorheizung werden thermischen Spannungen, die bei der Bearbeitung entstehen und zur Zerstörung besonders bei Glasproben führen können, vermieden.

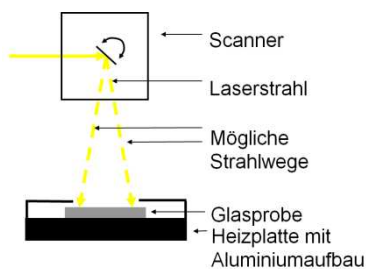


Abb. 1 Experimenteller Aufbau zum Laserpolieren von Glas und Kunststoff.

Die CO₂-Laserstrahlung wird in einer Schicht von wenigen 10 µm Tiefe nahezu vollständig absorbiert. Dies führt zu einer Erwärmung dieser dünnen Schicht und das Material kann aufgrund der verringerten Viskosität fließen. Infolge der Oberflächenspannung wird der Poliereffekt erreicht. Die Oberflächen werden mittels Weißlichtinterferometrie vermessen und anschließend die Rauheit Ra abhängig von der Ortswellenlänge berechnet [1].

3 Ergebnisse

Zum Laserpolieren von Quarzglas und Polycarbonat wurden umfangreiche Parameterstudien durchgeführt. Der Einfluss der Prozessparameter wie z.B. Vorheiztemperatur, Intensität, Intensitätsverteilung und Abmessungen des Linienfokus wurde ermittelt und eine Optimierung der Prozessparameter durchgeführt [2].

Quarzglas: In Abb. 2 sind die erreichten Rauheiten in Abhängigkeit von der Wellenlänge für eine laserpolierte und eine konventionell polierte Quarzglasprobe gezeigt.

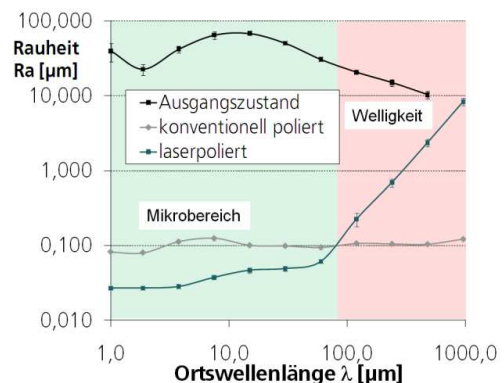


Abb. 2 Rauheitsspektrum einer laserpolierten und einer konventionell polierten Quarzglasprobe.

Die erreichten Rauheiten bei der Laserpolitur im Wellenlängenbereich $\lambda < 80 \mu\text{m}$ entsprechen bereits optischer Qualität. Die Laserpolitur erreicht in diesem Bereich im Vergleich zu der konventionellen Politur geringere Rauheiten. Allerdings wird durch den Prozess eine Welligkeit in die Probe eingebracht. Diese Welligkeit entsteht zum einen durch das Einbrennen von Partikeln in die Oberfläche. Diese Partikel wurden bei genaueren Untersuchungen mittels energiedispersiver Röntgenspektrometrie als Staubpartikel identifiziert. Ein weiterer Grund für die Welligkeit ist die ungenügende Vorheizung. Die hier gezeigten Ergebnisse wurden mit einer Vorheizung auf eine Probertemperatur von 280°C erreicht. Die hier gezeigten Ergebnisse sind mit Flächenraten von ca. $0,2 \text{ cm}^2/\text{s}$ erreicht worden.

Um andere Geometrien zu Polieren muss die Energieeinbringung an die Geometrie der Oberfläche aufgrund des nicht senkrechten Strahleinfalls angepasst werden. Erste Linsen aus BK7 wurden laserpoliert. Die Oberflächenqualität ist für eine optische Anwendung allerdings noch nicht ausreichend. Die polierten Linsen sind in Abb. 3 gezeigt.



Abb. 3 Laserpolierte BK7 Linsen.

Polycarbonat: In Abb. 4 sind die Rauheitsspektren für eine laserpolierte und eine konventionell polierte Polycarbonatprobe gezeigt.

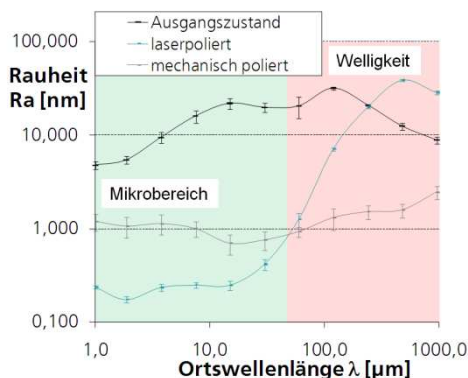


Abb. 4 Rauheitsspektrum von laserpolierten und konventionell polierten Polycarbonatproben.

Die erreichten Rauheiten für den Wellenlängenbereich $\lambda < 50 \mu\text{m}$ entsprechen bereits optischer Qualität. Wiederum zeigt sich eine Verbesserung der Mikrodefekte wie bei der Laserpolitur von Quarzglas. Die entstandene Welligkeit auf der

laserpolierten Probe kann zum einen mit denselben Effekten wie bei der Laserpolitur von Quarzglas erklärt werden. Zum anderen wird eine Struktur durch die Bearbeitung in die Oberfläche eingebracht. Diese Struktur führt im Wellenlängenbereich von $200 - 1000 \mu\text{m}$ zu einer Erhöhung der Rauheit im Vergleich zum Ausgangszustand. Diese Struktur ist in den Weißlichtinterferometeraufnahmen sichtbar und muss in der weiteren Verfahrensentwicklung vermieden werden. Dieses Problem kann z.B. durch eine modifizierte Bearbeitungsstrategie gelöst werden. Die hier dargestellten Ergebnisse wurden mit Flächenraten von ca. $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ erreicht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die erreichten Prozesszeiten beim Laserpolieren von Quarzglas und Polycarbonat liegen um einen Faktor 10 unter den Prozesszeiten der konventionellen Polierverfahren. Durch eine Erhöhung der Intensität kann eine weitere Steigerung der Prozessgeschwindigkeit bewirkt werden. Bei Quarzglas sind Flächenraten von ca. $1 \text{ cm}^2/\text{s}$ und bei Polycarbonat Flächenraten von bis zu $50 \text{ cm}^2/\text{s}$ möglich.

Beim Laserpolieren von Quarzglas kann eine Rauheit von $R_a < 5 \text{ nm}$ auf geschliffenen Flachproben mit einer Ausgangsrauheit von $R_a \approx 100 \text{ nm}$ erreicht werden. Erste Linsen aus BK7 konnten durch Energieanpassung an die Probengeometrie laserpoliert werden. Nähere Untersuchungen zum Laserpolieren von sphärischen Quarzglaslinsen laufen bereits.

Beim Laserpolieren von Polycarbonat kann eine Rauheit von $R_a < 10 \text{ nm}$ für den Wellenlängenbereich $\lambda < 200 \mu\text{m}$ bei einem Ausgangszustand von $R_a \approx 100 \text{ nm}$ erreicht werden. Ziel ist es die in die Oberfläche eingearbeitete Struktur durch eine homogenere Intensitätsverteilung zu vermeiden.

Die wesentlichen zukünftigen Arbeitspunkte bei beiden Verfahren sind die Reduzierung der Welligkeit bzw. des Verzugs. Hierzu werden mehrere Ansätze verfolgt: Schaffung einer reinen Umgebung, Erhöhung der Vorheiztemperatur, Modifizierung der Bearbeitungsstrategie.

Literatur

- [1] E. Willenborg, "Polieren von Werkzeugstählen mit Laserstrahlung." RWTH Aachen, 2006.
- [2] Richmann A., E. Willenborg, and Wissenbach K., "Laser polishing of fused silica," 2009.