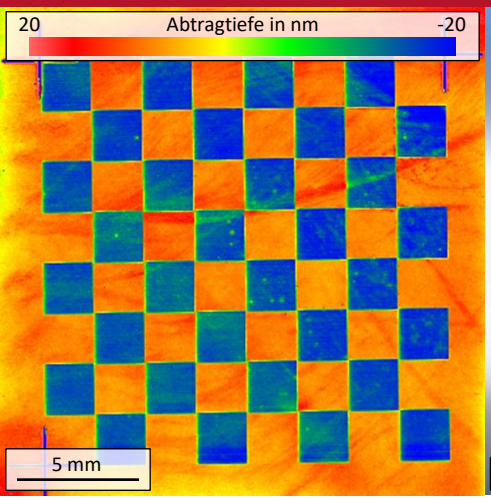
F.O.M. Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V.

IGF-Erfolgsnote

08.06.2026

Industrielle Gemeinschaftsforschung

F.O.M. 028



Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Entwicklung eines laserbasierten Korrektur-politurverfahrens für Asphären und Freiform-optiken aus Quarzglas und ULE®
(Laser Beam Figuring)

Die Herausforderung

Die Bearbeitung der Oberflächen optischer Komponenten erfolgt meist durch Schleifen und Polieren mit immer feiner spanendem Materialabtrag. Dieses die Oberflächenqualität bestimmende Vorgehen wird im Fall von Hochpräzisionsoptiken mit einem korrigierenden, zonal verfahrenden Polierschritt abgeschlossen. Die auf komplex geometrische Optiken (Asphären oder Freiformflächen) angewandte Korrekturpolitur erfordert mit konventionellen Fertigungsmethoden sehr lange Bearbeitungszeiten und verursacht hohe Prozesskosten.

Aktuelle Ansätze der laserbasierten Bearbeitung optischer Oberflächen versprechen hohe formunabhängige Prozessgeschwindigkeiten und Oberflächenqualitäten. Die Anwendbarkeit eines solchen, auf Materialablation beruhenden Verfahrens nahe der Verdampfungstemperatur zur Korrekturpolitur konnte bereits an planen Oberflächen demonstriert werden. Eine unzureichend zuverlässige Reproduzierbarkeit der Abtragtiefe limitierte den Einsatz des Verfahrens jedoch bisher.

Die Innovationsidee

Ziel des IGF-Projekts Laser Beam Figuring war die Entwicklung einer schnellen und kostengünstigen laserbasierten Korrekturpolitur für hochpräzise Asphären aus Quarzglas und extrem ausdehnungsarmem, Titan-haltigem Silikatglas (ULE). Um Formfehler, nieder- und mittelfrequente Fehler zu korrigieren, sollte ein gezielter lokaler Glasabtrag um weniger als 100 nm mit einer lateralen Auflösung von ca. 50 µm erreicht werden, ohne dabei eine wesentliche Erhöhung der Rauheit zu erzeugen. Die angestrebte quadratische Mittenrauheit der polierten Fläche sollte im Bereich 0,2–0,4 nm liegen. Erzielt werden sollte dies mithilfe einer stabilen modulierten CO_2-Laserstrahlung, die Bedingungen nahe der Verdampfungstemperatur des Materials erzeugt, und einer an den Prozess angepassten Anlagentechnik.

Dieser Prozess sollte auch auf Freiformflächen übertragen werden und durch die Entwicklung einer Software, die ein Skript zur Ansteuerung des Lasersystems erstellt, automatisiert werden, um optimale Oberflächenqualitäten zu erhalten.

Projektinformationen

IGF-Nr.:	21672 N
Laufzeit:	03/2021 - 02/2023
Fördersumme:	248.023 EUR
Industrieleistungen:	86.241 EUR

Forschungseinrichtungen

- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT Aachen

Projektbegleitender Ausschuss

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

- **Laserbasierte Korrekturpolitur für nieder- u. mittelfrequente Fehler**
- **Modulierte CO_2-Laserstrahlung für lokal begrenzbare Glasabträge**

Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

- Eine Master-Arbeit

Das Programm "Industrielle Gemeinschaftsforschung" (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMWK** fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projektimpulse.

2 IGF-**Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Ehrenamtliche **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten und bewerten die Anträge ganzjährig.

7 Das **BMWK** finanziert die Forschungskosten bis max. 275/525/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen mithilfe von je 10-20 Unternehmen projektbegleitender **Industrieausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis in die Branchen hinein sicher.

11 Die **Industrie** sorgt durch Bekundung ihrer Interessen für die Praxisrelevanz der Forschung, steuert Industrieexpertise bei und validiert die Ergebnisse.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.
Werderscher Markt 15, 10117 Berlin
030 4140 21-50
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de

AiF Mitglied

Die Ergebnisse

Mit dem entwickelten Versuchsaufbau konnte mithilfe der im geregelten Betrieb erzeugten hochstabilen, modulierten CO_2-Laserstrahlung reproduzierbare Abtragtiefen von weniger als 100 nm mit einer lateralen Auflösung von ca. 50 µm auf planen Quarzglas-Oberflächen erzielt werden. Eine steigende Pulsdauer erhöhte hierbei die Abtragtiefe. Mit einer Repetitionsrate von 8 kHz und einer Pulsdauer von 42 µs konnte eine Abtragsrate $\dot{V}$ bis zu 970 mm³/h erreicht werden, die die Rate konventioneller Verfahren (Ion beam figuring: $\dot{V}$ < 10 mm³/h, Magneto rheological finishing: $\dot{V}$ < 60 mm³/h) übersteigt.

Nieder- und mittelfrequente Fehler konnten mit dem erprobten Korrekturverfahren erfolgreich korrigiert werden, was mit konventionellen Verfahren nur unter erheblichem Aufwand möglich ist.

Für die laserbasierte Korrekturpolitur gekrümmter Oberflächen konnte der neigungswinkelabhängige Abtrag über die Pulsdauer kompensiert werden. Die Korrekturpolitur von Asphären ist somit prinzipiell möglich, konnte jedoch aufgrund fehlender geeigneter Proben bisher nicht nachgewiesen werden.

Bei der Korrekturpolitur von ULE kam es weit unterhalb der Verdampfungstemperatur aufgrund des Titangehalts zu ortsselektiver Ausdehnung des Probenmaterials. Eine laserbasierte Korrekturpolitur von ULE-Bauteilen ist aufgrund des exponentiellen Anstiegs der Abtragtiefe bei vergleichsweise geringer Ausdehnung dennoch grundsätzlich möglich.

Zudem gelang es, eine Software zu entwickeln, die ein automatisiertes Bearbeitungsprogramm zur Steuerung des Lasersystems für die Korrekturpolitur erstellt, um eine bestmögliche Oberflächengüte zu erhalten. Dies basiert auf dem Vergleich der interferometrischen Messwerte der IST-Oberfläche mit der Beschreibung der SOLL-Oberfläche. So konnte exemplarisch die quadratische Mittenrauheit einer Probe von 0,647 nm auf 0,388 nm reduziert werden.

Trotz höherer Anlagenanschaffungskosten können mit der laserbasierten Korrekturpolitur unter Berücksichtigung der geringeren Bearbeitungszeit und Personalkosten im Vergleich zu konventionellen Verfahren 90 % der Kosten eingespart werden.

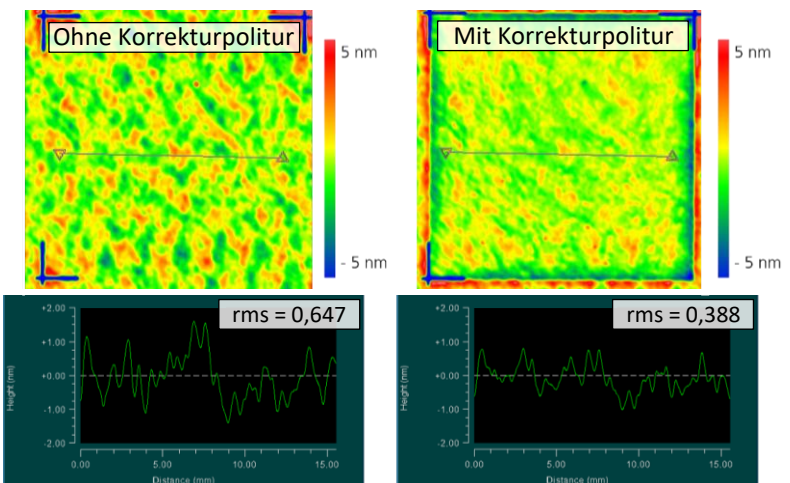
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Mit einer Etablierung der laserbasierten Korrekturpolitur in der mittelständisch geprägten Photonik-Industrie können bestehende Prozesse ergänzt und langfristig ersetzt werden, sodass die Bearbeitungsgeschwindigkeit erhöht und Kosten eingespart werden können. Zudem werden hierbei keine umweltschädlichen und kostenintensiv zu entsorgenden Poliermittel eingesetzt. Durch die Entwicklung einer effizienten Korrektur nieder- und mittelfrequenter Fehler können Linsen mit höheren Oberflächengüten angeboten werden, was die Position der Unternehmen am Weltmarkt stärkt. Perspektivisch können zudem Freiformoptiken laserbasiert korrekturpoliert werden und in der Anwendung mehrere sphärische Linsen ersetzen.

Umsetzung

Mit zwei Unternehmen wird bilateral an der laserbasierten Korrekturpolitur für Quarzlinsen mit einem Durchmesser ≥ 100 mm gearbeitet. In einem VIP+-Projekt soll mit einer weiter angepassten Anlagentechnik die Korrekturpolitur auf 3D-Formen übertragen werden.



Weißlichtinterferometer (WLI)-Messung (oben) und Oberflächenprofil entlang der in der WLI-Abbildung dargestellten Linie (unten) vor und nach der laserbasierten Korrekturpolitur einer planen Quarzglasprobe. Die quadratische Mittenrauheit (rms) konnte auf unter 0,5 nm gesenkt werden.