

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Projektinformationen

IGF-Nr.:	20308 N
Laufzeit:	11/2018 - 04/2021
Fördersumme:	434.530 EUR
Industrieleistungen:	98.350 EUR

### Forschungseinrichtungen

- Institut für Präzisionsbearbeitung und Hochfrequenztechnik, Technische Hochschule Deggendorf
- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

### Projektbegleitender Ausschuss

- ASA Astrosysteme GmbH <sup>KMU</sup>
- asphericon GmbH <sup>KMU</sup>
- Berliner Glas GmbH
- Carl Zeiss Jena GmbH
- GFH GmbH <sup>KMU</sup>
- Jenoptik Optical Systems GmbH
- LASER COMPONENTS <sup>KMU</sup>
- LAYERTEC GmbH <sup>KMU</sup>
- Leica Camera AG
- Leica Microsystems GmbH
- Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG
- Sill Optics GmbH & Co. KG <sup>KMU</sup>
- SPECTARIS e. V.

- Oberflächenfunktionalisierung
- Prozessketten

## Hybridfertigung optischer Oberflächen (HyoptO)

### Die Herausforderung

Die Bearbeitung optischer Oberflächen mit komplexen Geometrien (Asphären und Freiformflächen) wird konventionell im Punktkontakt mit immer feiner werdender Abstufung der Schleif- und Polierprozesse durchgeführt. Diese Abstufung der Prozessschritte ist notwendig, um eine defektfreie glatte Oberfläche zu erhalten, führt jedoch zu langen Bearbeitungszeiten und hohen Prozesskosten. Alternative Verfahren wie das Präzisionsblankpressen sind bisher auf hohe Stückzahlen, pressbare Formen und wenige pressbare Materialien beschränkt. Entwicklungen von Laseranwendungen in der Optikfertigung zeigen großes Potential im Hinblick auf Prozessgeschwindigkeiten und -ergebnisse. So kann beim sogenannten Laserpolieren das Glasmaterial an der Oberfläche aufgeschmolzen und durch die Oberflächenspannung abtragfrei geglättet werden. Hierbei werden geometrieunabhängig Bearbeitungszeiten von nur 1 bis 5 s/cm<sup>2</sup> erreicht. Die erreichbare Mikrorauheit ( $\lambda < 80 \mu\text{m}$ ) liegt dabei bereits unter der einer konventionellen mechanischen Politur. Der reine Laserpoliturprozess ist jedoch

durch eine unzureichende Glättung mittelfrequenter Rauheiten ( $\lambda > 100 \mu\text{m}$ ) und Beeinträchtigung der Formgenauigkeit behaftet, sodass die Vorteile der Laserpolitur bisher nicht genutzt werden.

### Die Innovationsidee

Ziel des IGF-Vorhabens HyoptO war die Entwicklung einer hybriden Prozesskette, um die geforderten Qualitäten optischer Oberflächen in deutlich verkürzten Bearbeitungszeiten zu erreichen. Durch die Kombination konventioneller Fertigungsschritte und der Laserpolitur sollten die Vorteile der Laserpolitur (Ausheilung von Tiefenschädigungen, Geometrieunabhängigkeit, hohe Prozessgeschwindigkeit) genutzt und die Nachteile (unzureichende Glättung mittelfrequenter Fehler (MSFE), thermischer Formverzug) umgangen werden können. Hierfür sollten zunächst geeignete Schnittstellen der zu kombinierenden Verfahrenstechniken ermittelt und die Bearbeitungsparameter beider Verfahren optimiert werden. Schließlich sollte die Hybrid-Prozesskette auf die erzielbaren Oberflächenqualitäten und die Wirtschaftlichkeit hin untersucht werden.

## Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

[Master] Philipp Beer (2021)

[Master] Luxuan Cai (2021)

[Bachelor] Luxuan Cai (2020)

## 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 **BMW**i fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

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

2 **AiF-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 Die **Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen** (AiF) lässt die Anträge durch **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten.

7 Das **BMW**i 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 hinein in die Branchen 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



## Die Ergebnisse

Zunächst wurden die Schnittstellen der Prozesskette untersucht und die einzelnen Prozessschritte aufeinander abgestimmt. Die Auswirkungen der Laserpolitur auf das Substrat hinsichtlich optischer Eigenschaften und Eliminierung der Schädigungen aus der vorausgegangenen Schleifbearbeitung wurde anhand der Glassorten Quarzglas, N-BK7, N-SF6 und S-FPL53 untersucht. Darauf aufbauend konnte eine Hybrid-Prozesskette, bestehend aus (1) mechanischem Schleifen, (2) Laserpolieren und (3) mechanischer Korrekturpolitur, für die Fertigung von Optiken entwickelt werden.

Mit der Laserpolitur konnten die beim Schleifen von Glas entstehenden Oberflächenfehler (SSD) auch in Tiefen bis zu mehreren 100 µm zuverlässig ausgeheilt und die Rauheit der Flächen gleichzeitig deutlich reduziert werden. Dadurch erübrigen sich langwierige konventionelle Politurschritte zum Abtrag SSD-durchgesetzter Oberflächenschichten.

Allerdings ergaben sich bei der Laserpolitur auch ungewollte Begleiterscheinungen: Beim Schleifen entstandene mittelfrequente Oberflächenfehler (MSFE) auf Quarzglas können mithilfe der Laserpolitur nicht vollständig geglättet werden und sind in einem zusätzlichen Glätteschritt vor der Korrekturpolitur zu beseitigen. Für andere Glassorten (z. B. N-BK7, N-SF6) konnte hingegen ein Prozessfenster identifiziert werden, in dem MSFE während der Laserpolitur vollständig geglättet werden.

Eine weitere mögliche Begleiterscheinung des Laserpolierens ist ein Verzug der Bauteile durch die Wärmeeinwirkung. Während für Quarzglas dieser Formverzug in der Größenordnung des Fehlers nach dem Schleifen liegt, kann in

anderen Glassorten ein viel größerer Formfehler entstehen, der einen erheblichen Aufwand bei der Korrekturpolitur verursachen kann. Durch optimierte Schleifparameter kann der Formfehler jedoch vorgehalten und so der Korrekturaufwand signifikant reduziert werden.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigte, dass die Hybrid-Prozesskette konventionelle Fertigungstechniken für Planflächen oder Sphären nicht ersetzen kann. Bei der Fertigung von Asphären oder Freiformflächen ergibt sich jedoch ein wirtschaftlicher Vorteil, der mit zunehmender Optikgröße, Komplexität der Geometrie und Individualisierung wächst.

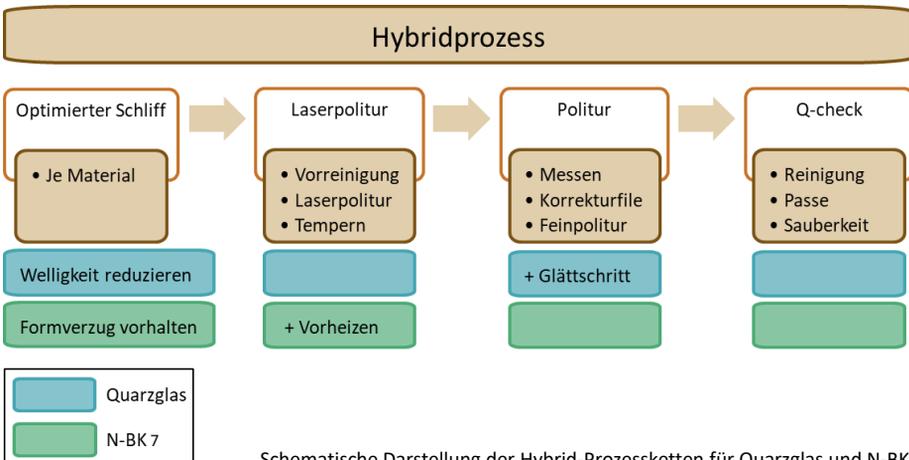
## Die Verwertung

### KMU-Nutzen

Die in HyoptO erarbeiteten Ergebnisse zeigen die wirtschaftliche Integrierbarkeit der Laserpolitur in die Optikfertigung. Insbesondere für komplexe Optikgeometrien können hierdurch Durchlaufzeiten und Fertigungskosten verringert werden. Durch weitere Entwicklungen, z. B. bei der Reduktion von MSFE in Quarzglas vor und nach der Laserpolitur, kann der wirtschaftliche Vorteil des Hybrid-Prozesses weiter gesteigert werden. Weiteres Potential liegt in der Erweiterung der Anwendbarkeit der Laserpolitur auf großdimensionale Optiken ( $\varnothing > 100$  mm) und bedient so ein wichtiges Nischensegment der mittelständisch geprägten deutschen Optikbranche.

### Umsetzung

Mit mehreren Unternehmen wird seit Projektende bilateral an der Reduktion der durch die Laserpolitur induzierten Welligkeit gearbeitet. Aufgrund des großen Interesses der projektbegleitenden Industrie an der SSD-Ausheilung wird ein IGF-Antrag zur Laserpolitur technischer Oberflächen vorbereitet.



Schematische Darstellung der Hybrid-Prozessketten für Quarzglas und N-BK7.