

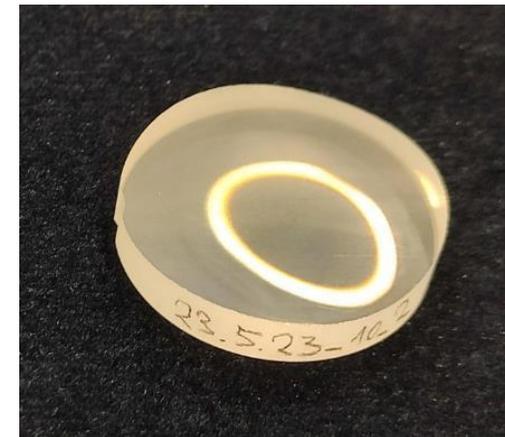
„CM-Polierverfahren für optische Freiformflächen mit gezielter Minimierung von SSD-Strukturen“

Jens Bliedtner¹, Sebastian Henkel¹, Christian Schulze¹, Samson Frank¹
Oliver Fähnle²
Sebastian Stoebenau, Lars Schönemann, Stefan Seifried

¹Ernst-Abbe University of Applied Sciences Jena, Germany

²Pandao GmbH, Switzerland

³OptoTech Optikmaschinen GmbH, Wettenberg



Gliederung

1

Motivation für neue Technologien und Kinematiken

2

Gewähltes Freiformdesign und Prozesskette

3

Erzeugung von polierfähigen Flächen

4

Messen von SSD-Strukturen

5

CM-Polierprozess

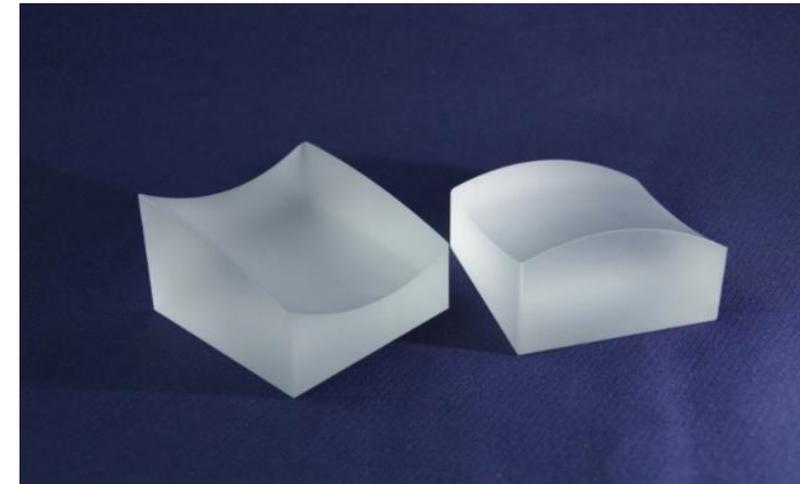
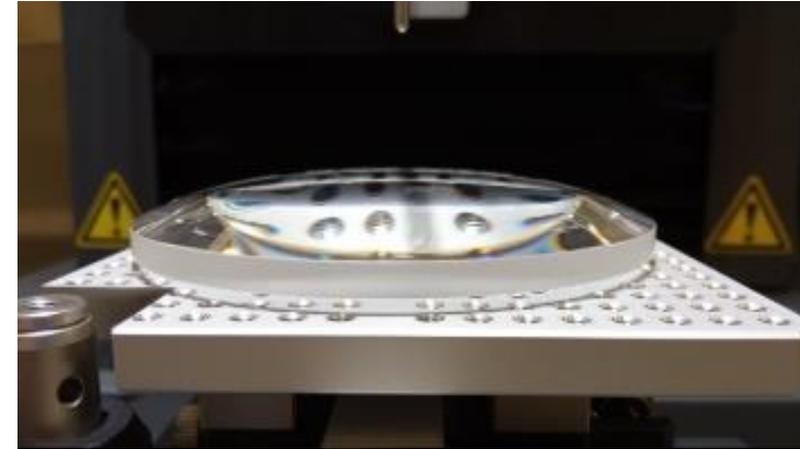
6

Zusammenfassung

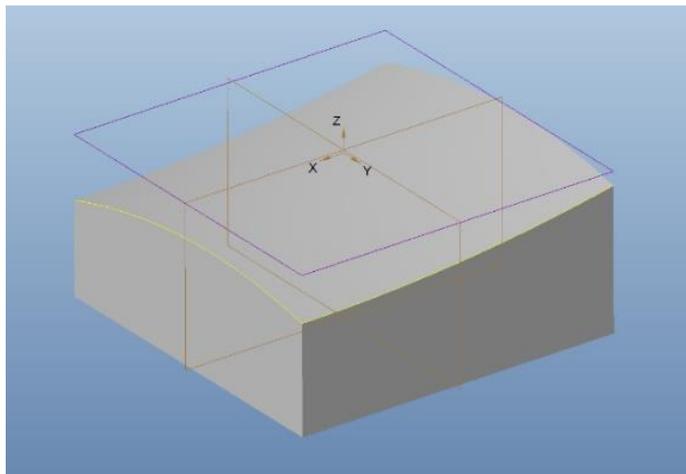
- ➔ Freiformoptiken erfordern spezielle kinematische Wirkprinzipien

Vorteil und Nachteile

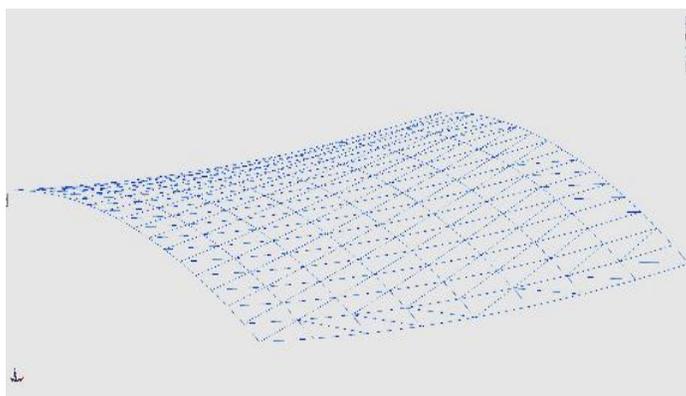
- ➔ Große Gestaltungsfreiheiten im Design
- ➔ Kompakte monolithische Systeme
- ➔ Multifunktionale optische Systeme
- ➔ Höhere Anforderung an den Fertigungsprozess
- ➔ Erreichbare Genauigkeiten + Prozesszeit



Freiformflächendesign für die gewählte Prozesskette



3D-Volumenmodell mit Bezugskordinatensystem



Unterschiedliche Beschreibungsformen: Gitternetz, NURBS, Triangulierte Fläche

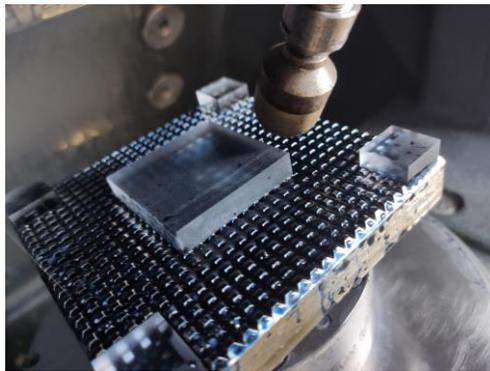
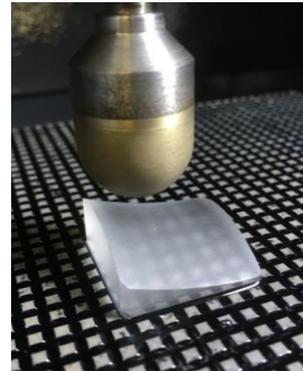
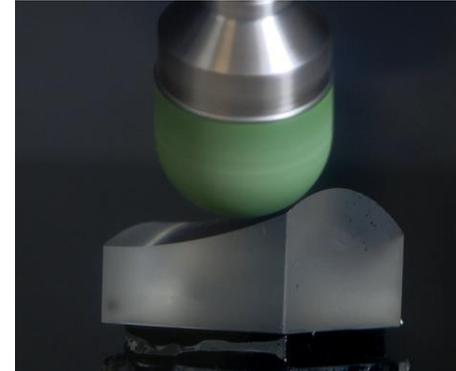
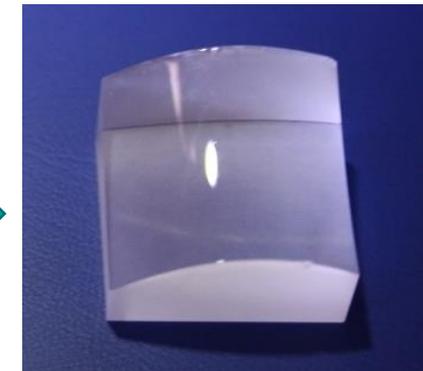
Mathematische Funktion der Freiformfläche

$$z(x, y) = \frac{1}{1000} \cdot (2x - 25)^2 - \frac{1}{380} \cdot (2y - 5)^2 - 2,5$$

Pfeilhöhentabelle

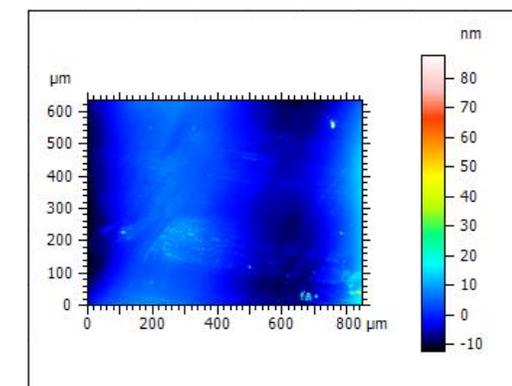
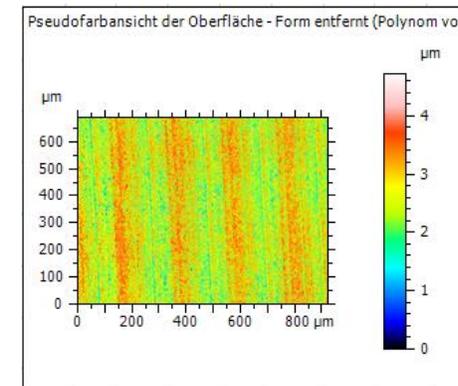
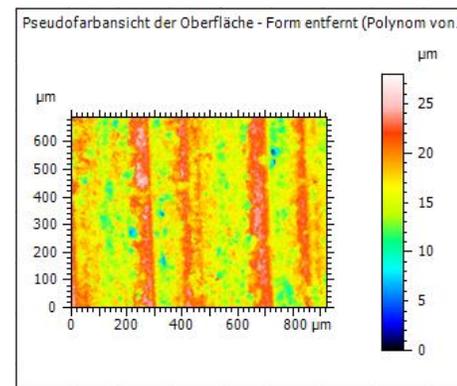
X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
0	0	-1,9408
-12,5	-12,5	-2,3684
-12,5	12,5	-1,0526
12,5	-12,5	-4,8684
12,5	12,5	-3,5526
-12,5	0	-0,0658
-12,5	2,5	0

- Gewählte Prozesskette für die Freiformoptik
- Zonale Werkzeuge mit kleinem Footprint erforderlich

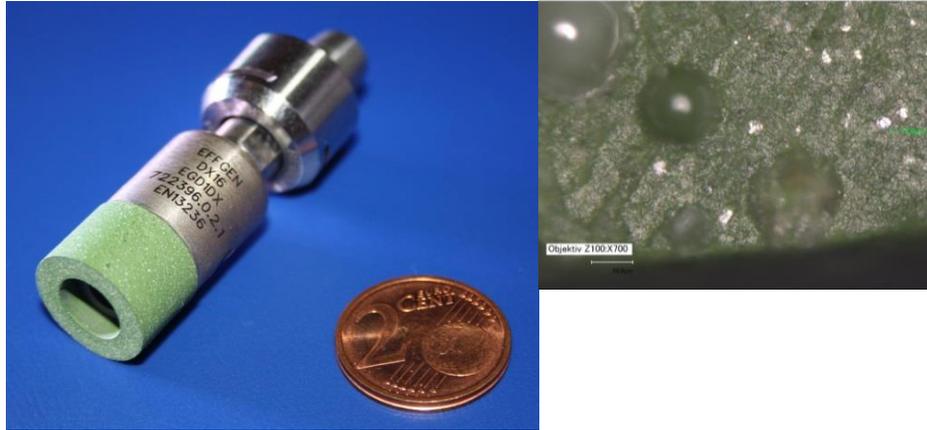

Vorschleifen

Feinschleifen

Feinstschleifen

A-WPT - Polieren

Durchschnittliche Werte

$R_q = 5 - 10 \mu\text{m}$



Feinstschleifen mit kunstharzgebundenen Werkzeugen (Firma Effgen)



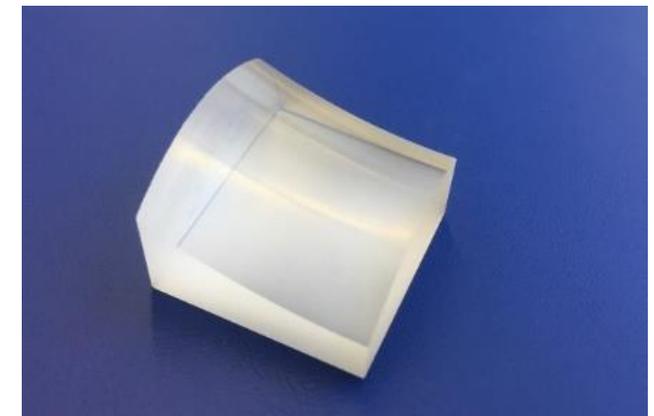
- Diamantkörner (D16, D10 oder kleiner)
- spezielle Kunstharzbindung „EGD1D“
- Hochporös relativ hart
- sprödharte mechanische Eigenschaften
- es ist davon auszugehen, dass die Elastizität des Bindungsmaterials ähnliche Auswirkungen wie bei Polierpads hat

Stirnseitiges Werkzeuge mit Kunstharzbindung

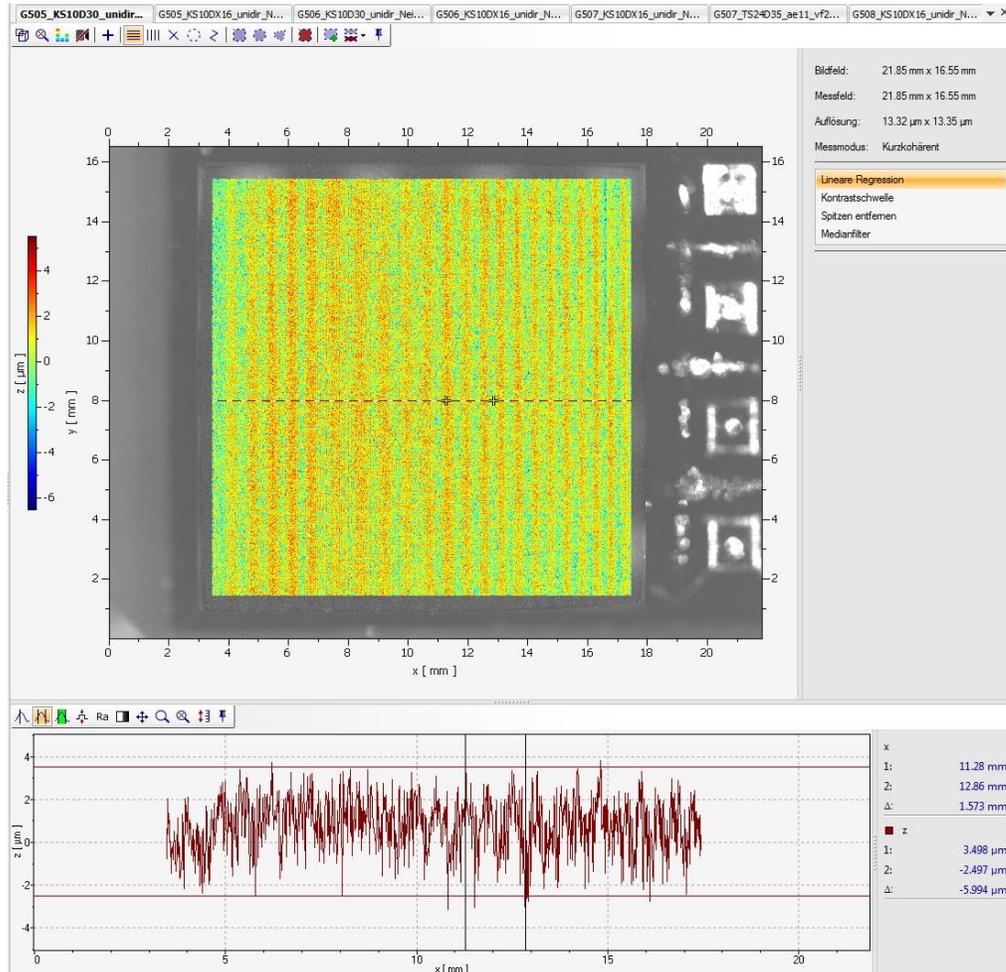


Verschiedene Werkzeugformen für die Freiformflächenbearbeitung

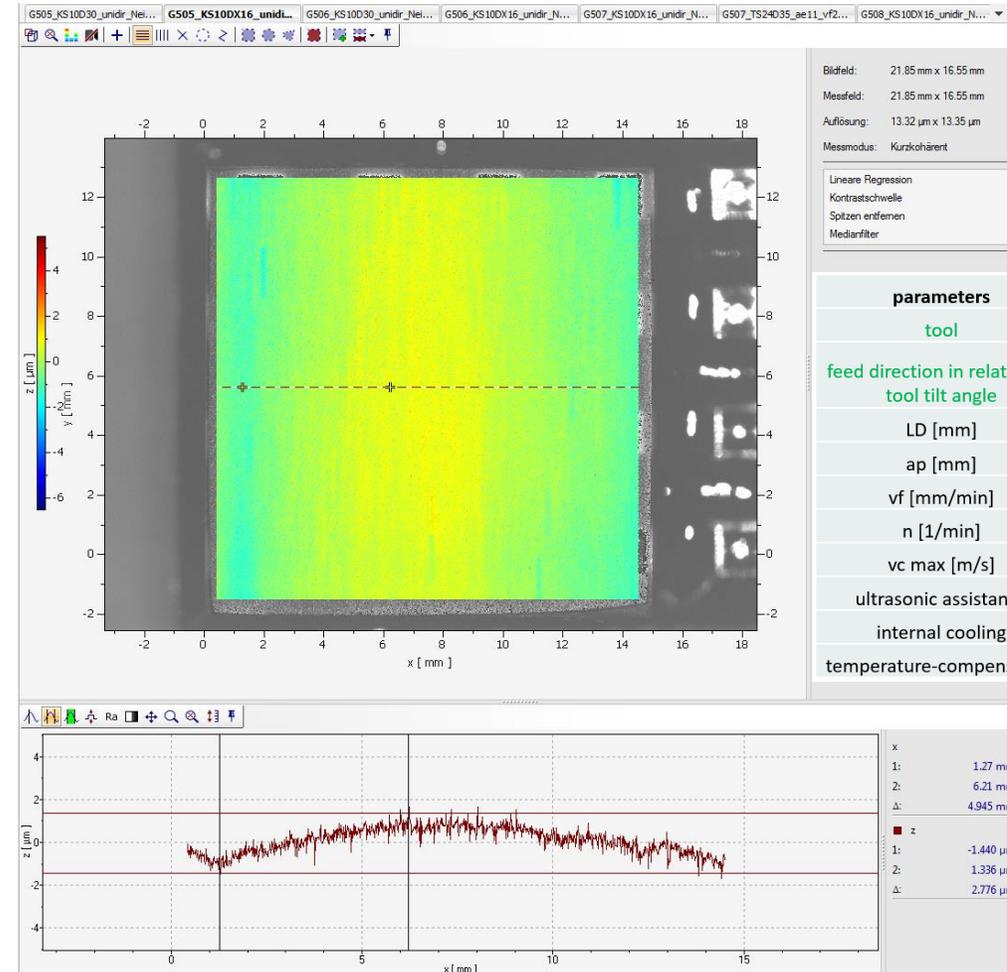
**Feinstgeschliffene
halbtransparente
Oberflächen**



Qualitative Unterschiede in den Ergebnissen nach Feinschleifen und Feinstschleifen



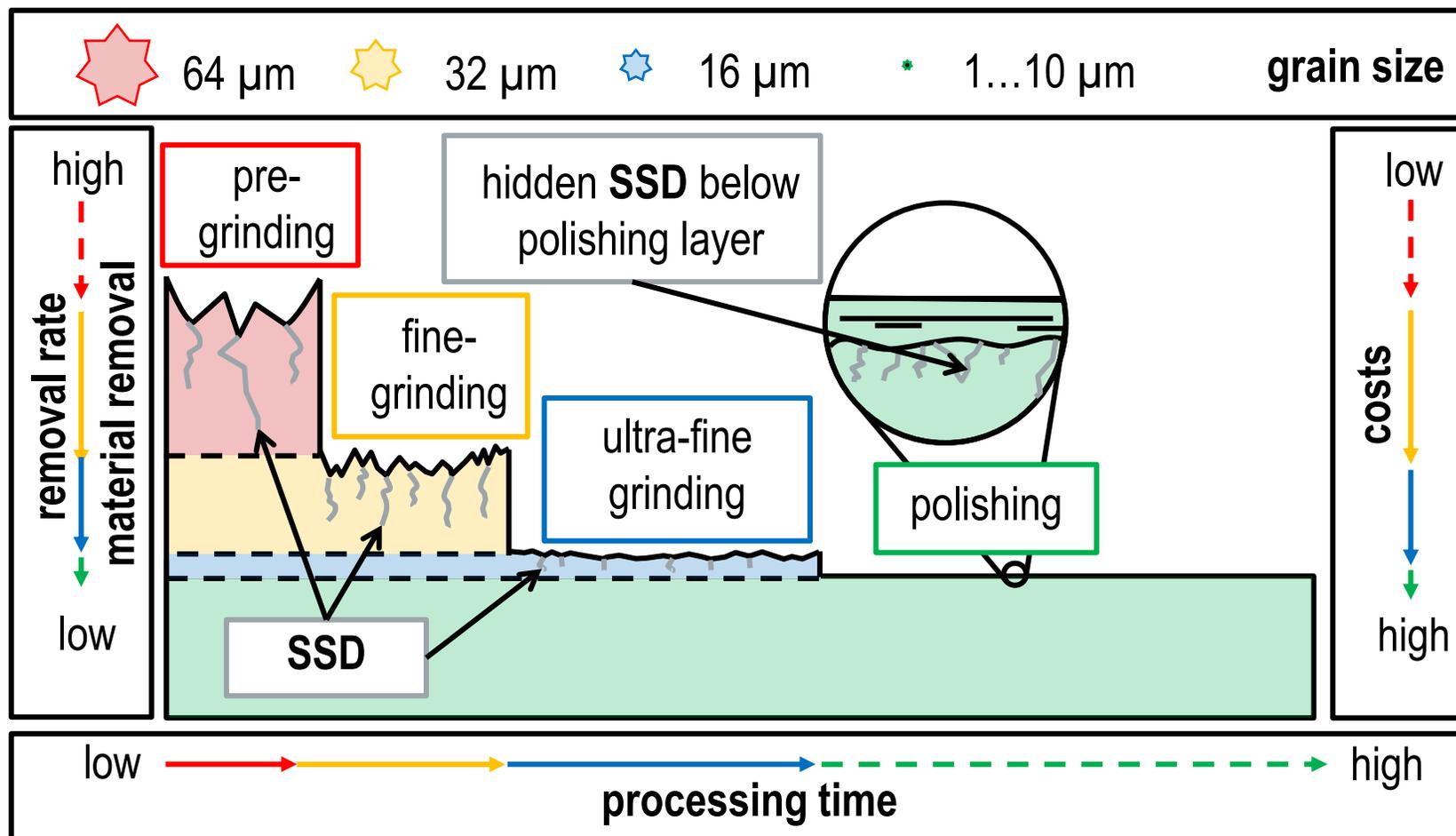
Profil – Feinschleifen mit D30



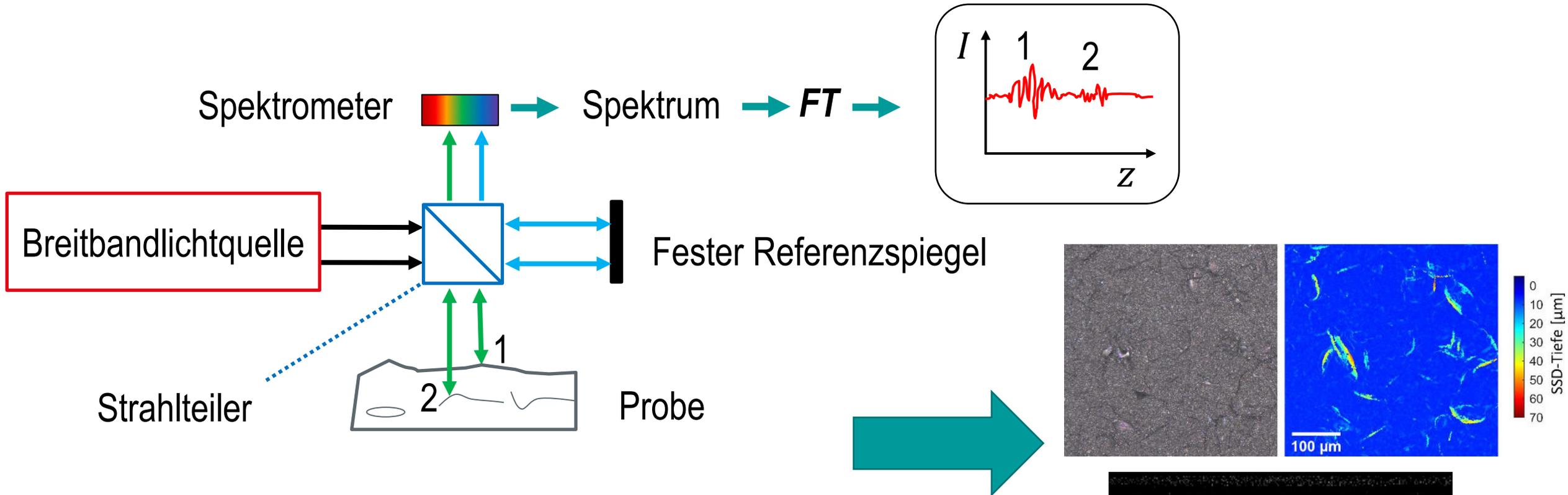
Profil – Feinstschleifen DX16

parameters	value	value
tool	KS10D30	KS10DX16
feed direction in relation to tool tilt angle	parallel or vertical	parallel or vertical
LD [mm]	0.1	0.1
ap [mm]	0.06	0.01
vf [mm/min]	300	100
n [1/min]	15000	25000
vc max [m/s]	7.9	13.1
ultrasonic assistance	on (21 kHz)	on (23.7 kHz)
internal cooling	on	on
temperature-compensation	on	on

- ➔ Iterative Formgebungsprozess
- ➔ Zielkonflikt: Prozesszeit und Abtragsrate
- ➔ Minimierung von SSD- Strukturen



Spectral Domain OCT (SD-OCT)



Optical coherence tomography (OCT) basierend auf Weißlicht-Interferometrie

Frank, S., et.al.: EOSAM 2024: Enhanced imaging of Subsurface Damage in optical glass SF6 with Optical Coherence Tomography using KOH wet etching.

OCT-Ergebnisse: SSD-Messung der Freiform mit SD-OCT

- Freiformgeometrie
- 5-Achsen-CNC-Schleifen, DMG Ultrasonic20 linear

1. Vorschleifen:

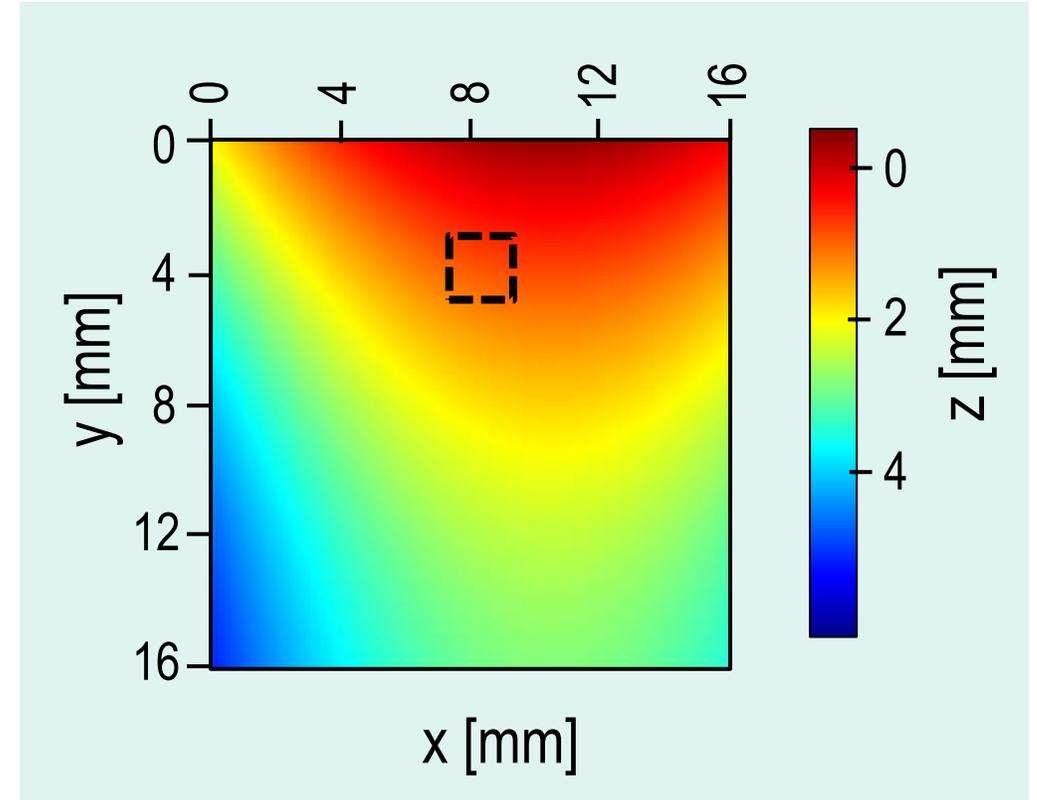
metall-gebunden
D64

**2. Feinschleifen:**

Kugelwerkzeug
metall-gebunden D30



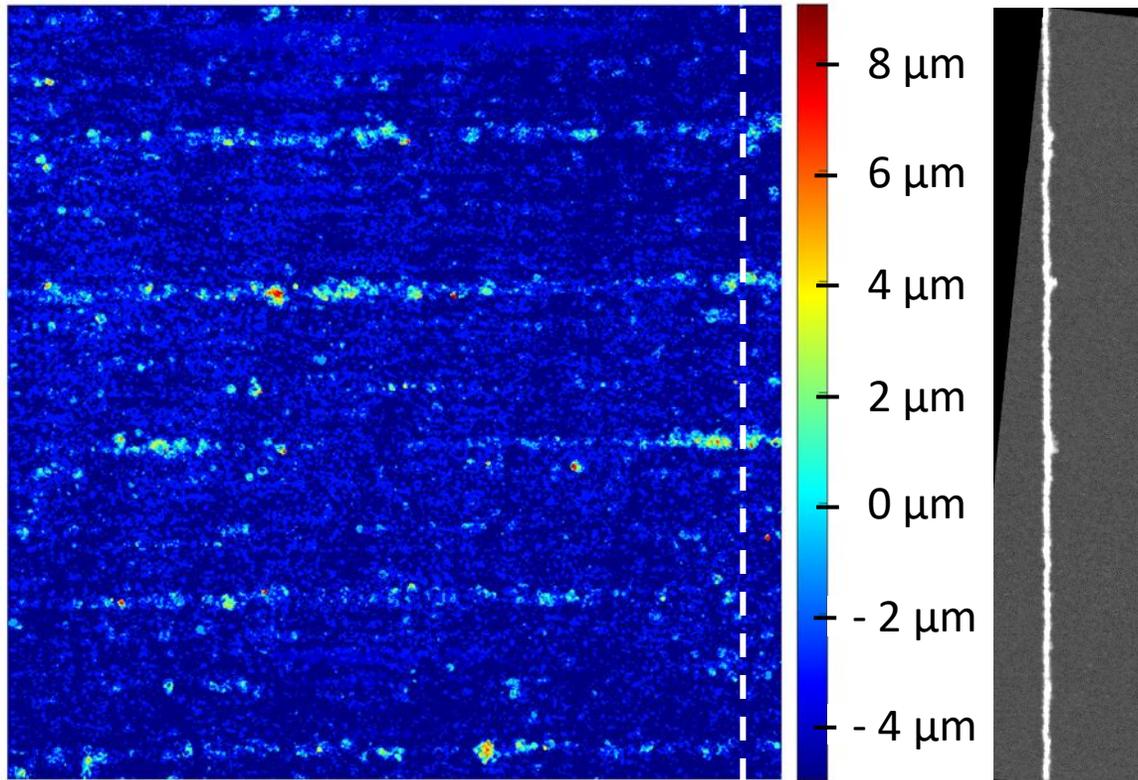
*Freiform aus Quarzglas, geschliffen
mit D30-Kugelwerkzeug*



*Ideale Freiformform mit abgebildetem
Messbereich für OCT*

OCT Ergebnisse: SSD Messung der Freiformfläche mit SD-OCT

SSD Tiefenkarte für den ausgewählten Bereich



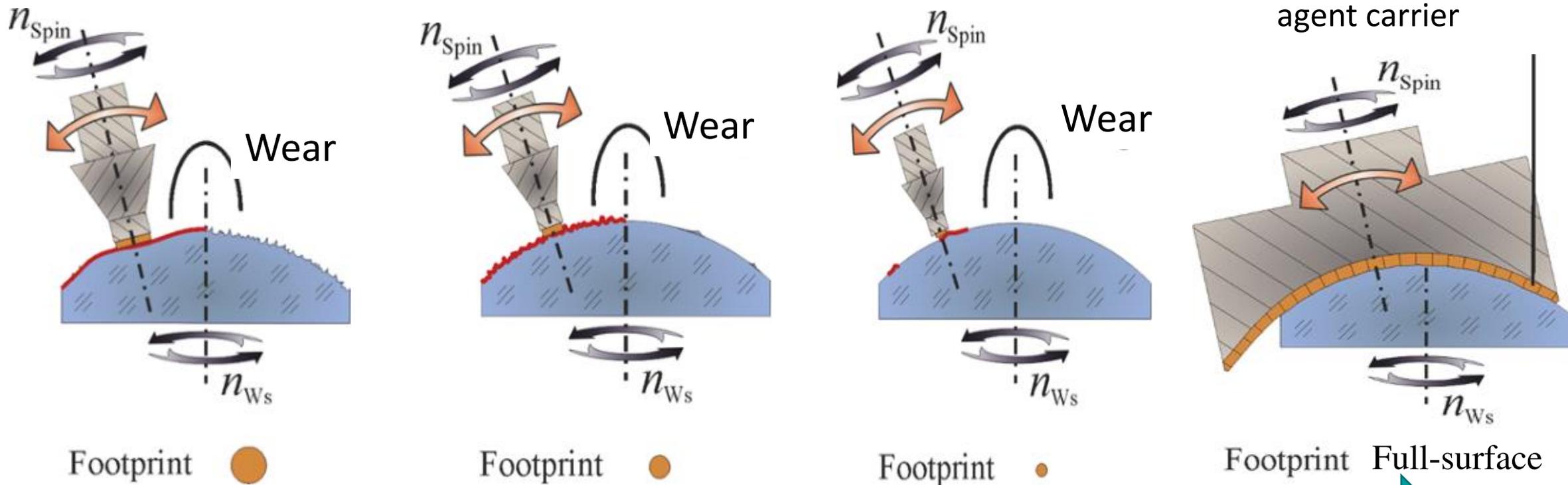
Nichtzerstörende SSD Messmethode

- auf rauer Oberfläche
- auf komplexer Oberflächenform
- unter Oberflächenstruktur
- ohne Indexabgleich
- mit gleichzeitiger Oberflächenmessung
- zeigt SSD-Cluster und Verteilung
- unterscheidet zwischen Defekten und oberflächlichen Verunreinigungen

OCT B-Scan mit Winkelkorrektur

Frank, S., M. Seiler, and J. Bliedtner, 2021. Three-dimensional evaluation of subsurface damage in optical glasses with ground and polished surfaces using FF-OCT. *Applied Optics*, **60**(8), 2118.

Polieren mit zonalen Werkzeugen



Polierschritte für qualitativ hochwertige Oberflächen

Vorpolieren mit
größerem Footprint

Feinpolieren mit
kleinerem Footprint

Korrekturpolieren mit
Verweilzeitsteuerung

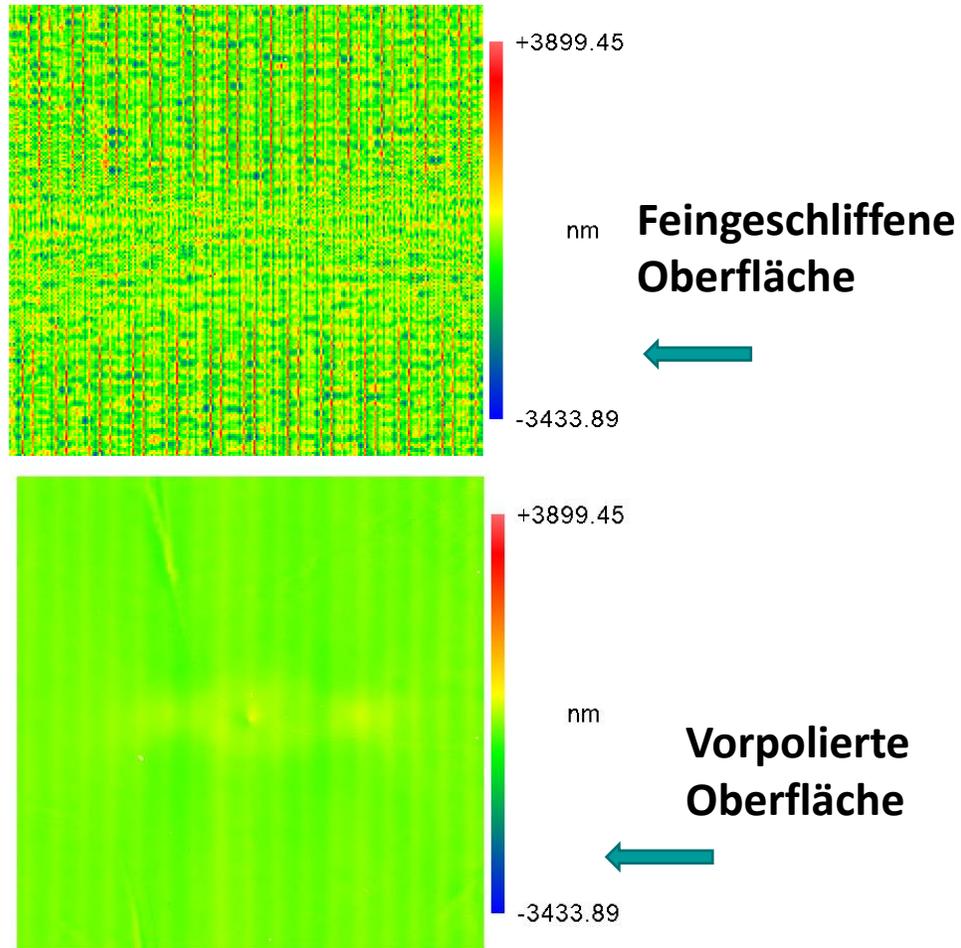
Kurze Oberflächenpolitur
zum Glätten

➔ eine der Technologien für das flexible Polieren von Freiformoptiken ist A-WPT

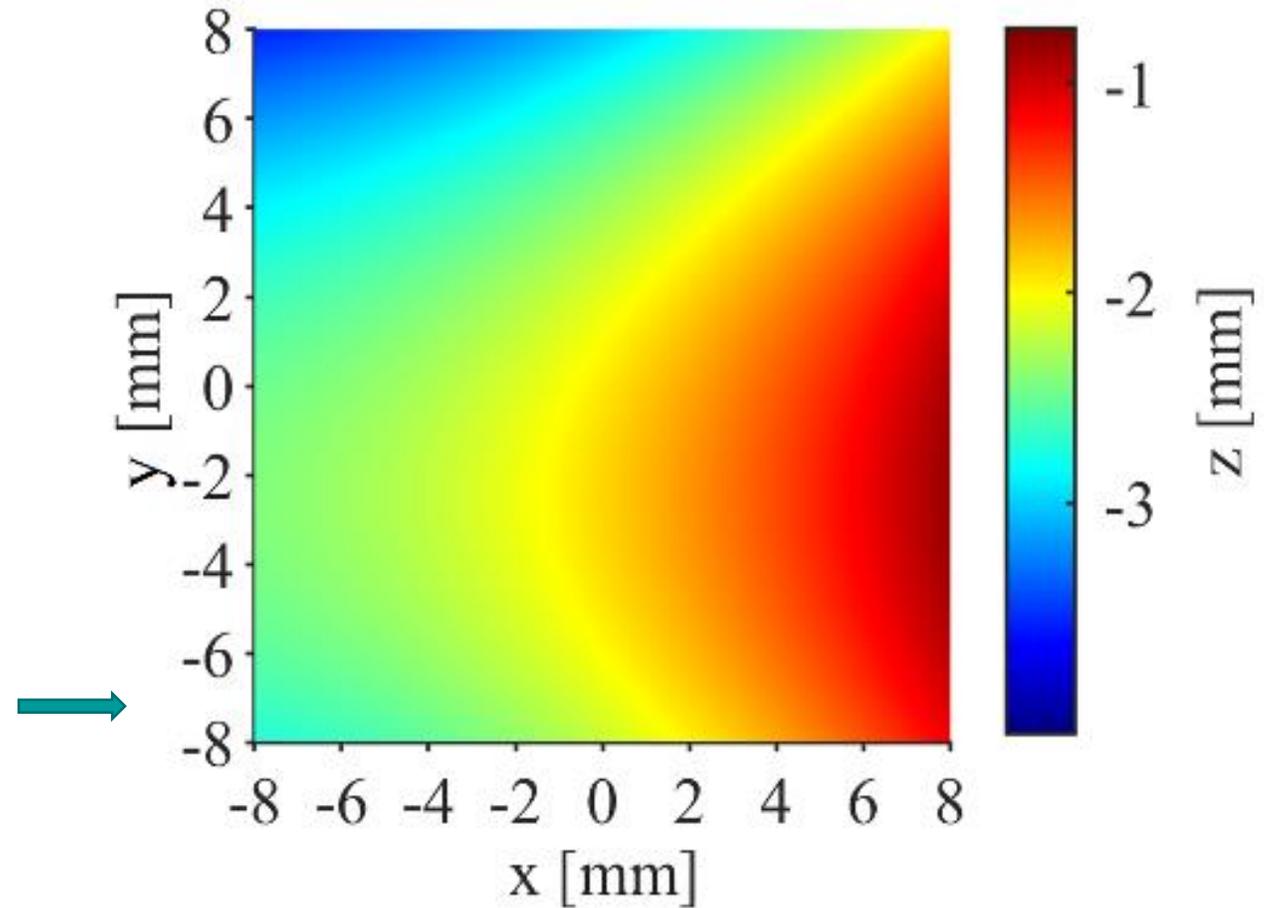


Der A-WPT –Prozess bei der Annäherung an den Startpunkt der Werkzeugbahn (links) und das 6-achsige Polierzentrum MCP 150 CNC (rechts).





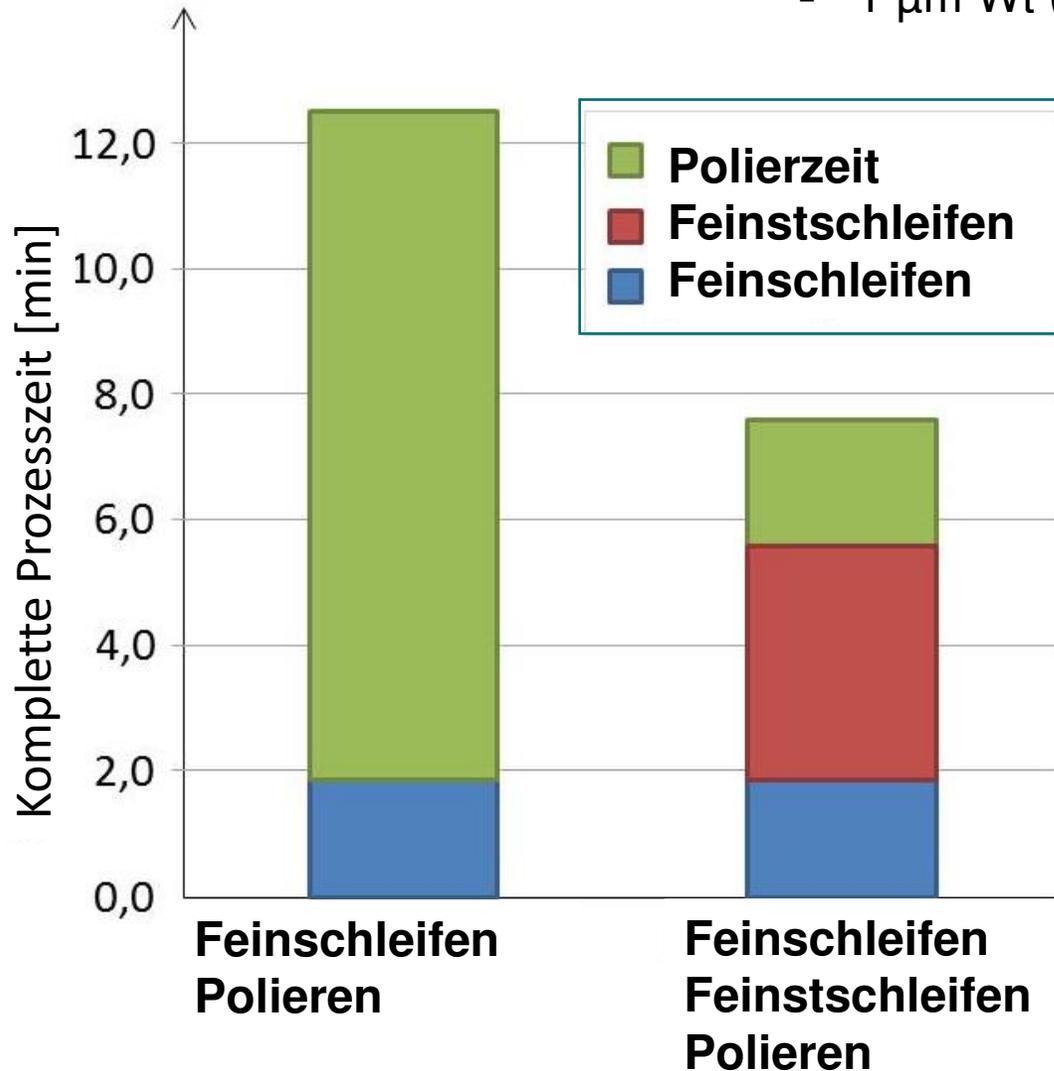
Vor- und nach dem Vorpolierprozess



Profildarstellung nach dem Polierprozess

S. Stoebenau, I. Morozov, R. Hild, S. Henkel, C. Schulze, C. Letsch, S. Frank, J. Bliedtner (2022): Investigations on the production of optical freeforms applying the advanced wheel polishing process. EOSAM. Porto.

- R_q –Werte = 10 nm (nach dem Feinstschleifen)
- 1 μm Wt (peak-to-valley) im Mittel



Signifikante Reduktion der Polierzeiten
Im gezeigtem Beispiel Polierzeitverkürzung 40%

Funded by



Deutsche
Forschungsgemeinschaft

German Research Foundation

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – 518666024 (Projekt: "FreiformCM-P")

Kontakt:

Ernst-Abbe-University Jena

M.Eng. Sebastian Henkel

Mail: sebastian.henkel@eah-jena.de

M.Eng. Samson Frank

Mail: samson.frank@eah-jena.de

Web: www.ag-bliedtner.de

