

## Hochgeschwindigkeitsdrehoptik zum Mikrobohren mit ultrakurzen Laserpulsen

E. Langenbach, F. Saupe  
FISBA, St. Gallen

Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

BFH, Burgdorf, 2018-10-10

# FISBA



## Projekt SPEEDO

Projektziel gemäß KTI-Antrag:

*„Das Projekt beinhaltet die Entwicklung einer Hochgeschwindigkeitsdrehoptik zum Mikrobohren mit kurzen und ultrakurzen Laserpulsen. Die Innovation besteht in der Möglichkeit . . . höhere Umdrehungsgeschwindigkeiten zu erreichen verglichen mit bestehenden Produkten im Markt. Dies führt zu einer drastischen Erhöhung der Prozesseffizienz. . . “*

# FISBA



## Projekt SPEEDO: Projektpartner

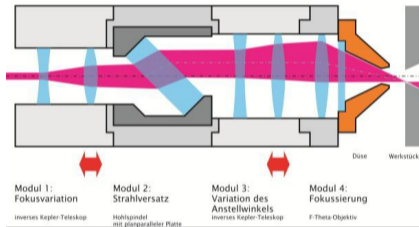
- ▶ Fachhochschule Nordwestschweiz, Brugg-Windisch  
Projektleitung, Systemaufbau, Applikationsversuche
- ▶ Berner Fachhochschule, Burgdorf  
Systemaufbau, Optik
- ▶ Fischer AG, Herzogenbuchsee  
Spindel, Mechanik, Steuerung
- ▶ Trumpf Maschinen AG, Baar  
Laser, Industrietauglichkeit
- ▶ FISBA AG, St. Gallen  
Optik (Entwicklung und Herstellung)

## Drehoptik: Bohren mit kurzen Laserpulsen

- ▶ kurze Pulse
  - ▶ aktuell: 120  $\mu\text{J}$ , 10 ps, 100 kHz
  - ▶ zukünftig: höhere Pulsenergie, kürzere Pulse, ähnliche Frequenzen
- ▶ Wärmeleitung ist zu langsam, um die Wärme abzuführen
- ▶ Werkstoff verdampft
- ▶ Werkstück bleibt kalt
- ▶ geringe Überlappung der Pulse
- ▶ Drehzahl bis  $200\,000\text{ min}^{-1} = 3.3\text{ kHz}$

# FISBA

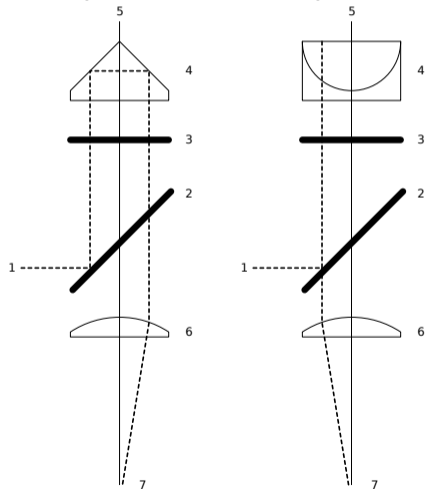
## Drehoptik: ursprüngliches Prinzip



- ▶ div. optische Baugruppen (Variation von Strahldurchmesser, Fokussierung, seitlicher Strahlversatz)
- ▶ Fokusbereich = Spindeldrehzahl
- ▶ divergentes Strahlbündel in schräger Planplatte
- ▶ kein Massenausgleich der optischen Komponenten
- ▶ Deformation + Spannungsdoppelbrechung

# FISBA

## Drehoptik: neues Prinzip



1. Laserstrahl
2. Pol.-Strahlteiler
3.  $\lambda/4$ -Platte
4. rot. Porro-Prisma
5. Drehachse
6. Fokussierobjektiv
7. Werkstück

# FISBA



## Drehoptik: neues Prinzip

- ▶ rotierende Achsenspiegelung
- ▶ Fokusbildung  $= 2 \times$  Spindeldrehzahl
- ▶ Reduktion der Fliehkräfte um 75%
- ▶ nur 1 drehende Optikkomponente
- ▶ guter Massenausgleich
- ▶ keine Hohlspindel erforderlich
- ▶ Trennung des Ein- und Austrittsstrahls durch Polarisation

## Polarisationseigenschaften

- ▶ bei einem planen Metallspiegel werden mit der Kombination aus  $\lambda/4$ -Platte und Polarisationsstrahlteiler ein- und auslaufende Laser-Strahlen getrennt
- ▶ perfekte Metallspiegel erzeugen aus linkszirkular polarisiertem Licht rechtszirkular polarisiertes Licht (und umgekehrt)
- ▶ entsprechend müssen die beiden Totalreflexionen im Porro-Prisma zusammen  $180^\circ$  Phasenverschiebung zwischen parallel und senkrecht polarisiertem Licht erzeugen
- ▶ eine Beschichtung bewirkt  $90^\circ$  Phasenverschiebung bei jeder Totalreflexion
- ▶ die verwendete Beschichtung ist recht unabhängig von der Laser-Wellenlänge

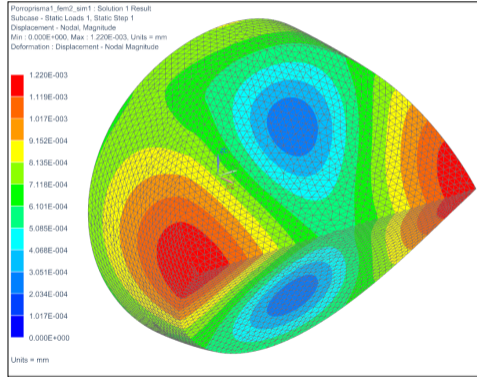
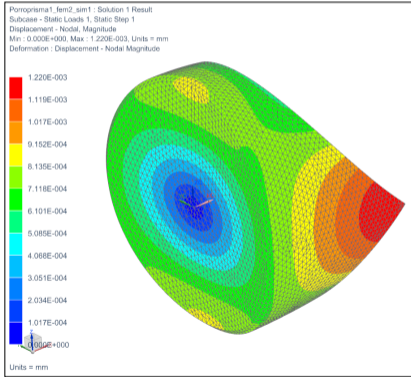


## Materialauswahl

- ▶ aktuelles Material: Quarzglas
  - ▶ niedrige Dichte, hohes E-Modul: geringe Deformationen
  - ▶ große spannungsoptische Konstante  $K$ : große Doppelbrechung
- ▶ alternative Materialien: Schott SF57, Ohara PBH56
  - ▶ sehr kleine spannungsoptische Konstante  $K$ : kaum Doppelbrechung
  - ▶ sehr hoher Bleigehalt
  - ▶ hohe Dichte, kleineres E-Modul: stärkere Deformationen
  - ▶ geringere Laserbeständigkeit

⇒ Skalierung der Drehoptik auf 50% der ursprünglichen Größe

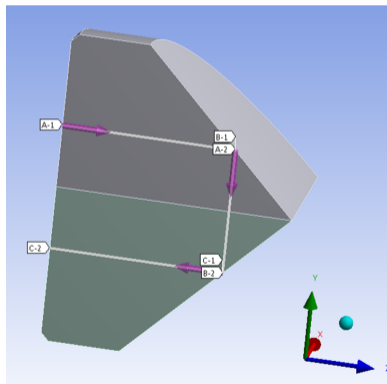
## FEM: Deformation des Porro-Prismas



Wellenfrontfehler  $PV \leq \lambda/20$  bei 50% Größe

# FISBA

FEM: Spannungsdoppelbrechung des Porro-Prismas



Doppelbrechung  $75 \text{ nm} \approx \lambda/14$  bei 50% Größe

# FISBA

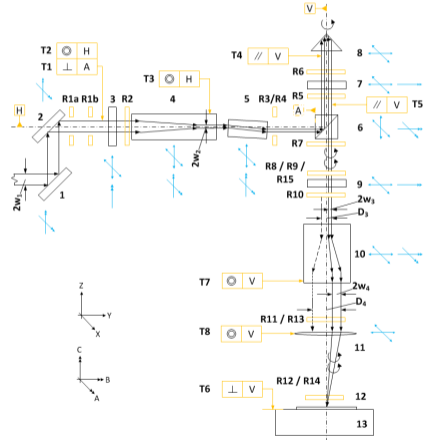
## Einbau des Porro-Prismas in die Spindel

- ▶ sehr enge Einbautoleranzen (sonst entstehen überlagerte Drehbewegungen mit einfacher Spindeldrehzahl:
  - ▶ Dachkante  $\perp$  Spindelachse
  - ▶ geringer seitlicher Abstand Dachkante – Spindelachse
- ▶ Ausrichtung mit einer Zentrierdrehbank und Autokollimator (AKF)
  - ▶ parallel zu Achse einfallendes Licht muss parallel zur Achse reflektiert werden
  - ▶ ein in die Dachkantenebene fokussiertes Fadenkreuz darf sich beim Drehen des Werkstücks nicht seitlich bewegen
  - ▶ in beiden Einstellungen dreht sich das AKF-Bild mit doppelter Spindeldrehzahl
  - ▶ Nachbearbeitung der Referenzflächen der Hilfsfassung des Porro-Prismas



## Projekt SPEEDO: Projektstand / nächste Schritte

- ▶ Entwicklung und Fertigung der Prototypen von Optik und Spindel sind abgeschlossen
- ▶ Anwendungstests der Fachhochschulen sind durchgeführt worden:
  - ▶ Funktion von Spindel und Optik nachgewiesen
  - ▶ Bohrergebnisse verbessert
- ▶ KTI-Projekt steht vor dem Abschluss
- ▶ Weiterentwicklung zu marktfähigen Produkten steht an



# FISBA



## Danksagung

Die Spindeloptik ist bei FISBA in St. Gallen im Rahmen des KTI-Projekts *SPEEDO* entwickelt worden. Dank gilt den Kollegen bei FISBA sowie den weiteren Projektpartnern:

- ▶ Fachhochschule Nordwestschweiz, Brugg-Windisch
- ▶ Berner Fachhochschule, Burgdorf
- ▶ Fischer AG, Herzogenbuchsee
- ▶ Trumpf Maschinen AG, Baar

**FISBA** Innovators  
in Photonics

