



Mit rotierenden Optiken zu hochpräzisen Laser-Mikrobohrungen

Vortrag zur 8. Dresdner Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“, 4.-5.11.2014

Tobias Materne, Ralf Böttcher, Dr. Alexander Bromme

Gliederung

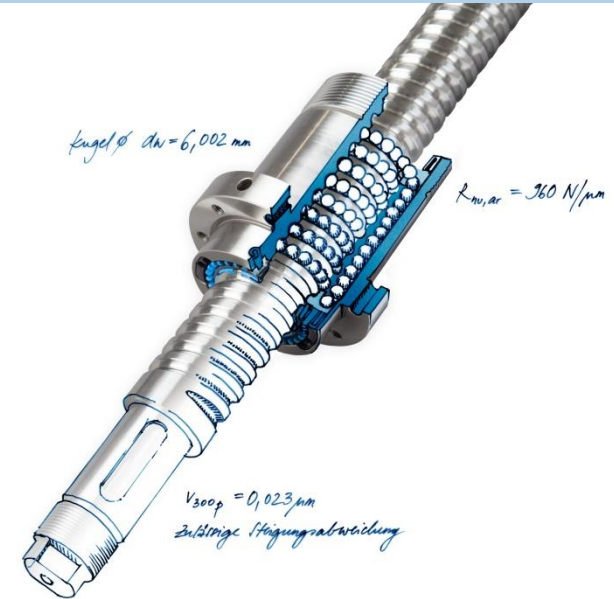
- **Vorstellung der Firma Steinmeyer Mechatronik**
- **Motivation**
 - Mikrobohrung und -schnitte für die Feinwerktechnik und Mechatronik
 - Laserbohrverfahren
 - Rotierende optische Elemente
- **Laserbohrkopf SLH 750 von Steinmeyer Mechatronik**
 - Strahlengang
 - Mechanischer Aufbau
 - Ansteuerung und Software
- **Systemuntersuchungen**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Die Steinmeyer-Gruppe

- Ein Unternehmen. Drei Kompetenzzentren. 650 Mitarbeiter.
- Hochpräzise Kugelgewindetriebe, Positionierlösungen und Messtechnik
- Fertigungsstandorte in Albstadt, Dresden und Suhl

Steinmeyer Mechatronik GmbH

- Kompetenzzentrum für Positioniersysteme und mechatronische Komponenten
- Über 120 hochqualifizierte Mitarbeiter am Standort Dresden
- Mehr als 140 Jahre Erfahrung in der Entwicklung und Fertigung von hochwertigen Feinwerkprodukten
- Innovative Lösungen für unterschiedlichste Branchen
- Hohe Wertschöpfung im eigenen Unternehmen



Unsere Stärken

- **Innovative Technologien**

Komponentenunabhängige Lösungsansätze

- **Kundenorientierte Entwicklungen**

Wir entwickeln nach den Bedürfnissen unserer Kunden unter Berücksichtigung des Preis/Leistungs-Verhältnis

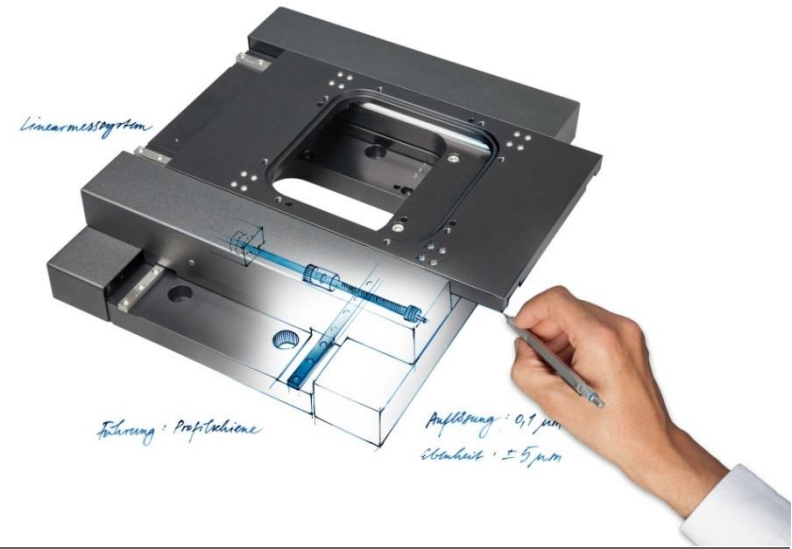
- **Effektive und professionelle Umsetzung**

Visuelle Entwürfe, Entwicklungs-Roadmaps, Prototypen, Serienüberführung

- **Hochpräzise Fertigung und Montage**

Von Einzelsystemen bis zur prozessoptimierten Serienfertigung

**Wir lösen Positionieraufgaben.
Hochpräzise.**



Überzeugende Produkte



Modulare Achssysteme

- Linearachsen
- Kreutztische
- Rotations- und Hubtische
- Controller



Kundenlösungen

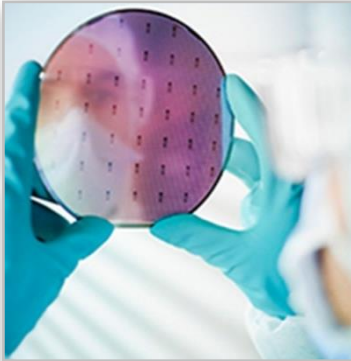
- Mehrachssysteme
- Gantry-Systeme
- HV und UHV Systeme
- Nichtmagnetische Systeme



Mechatronische Komponenten

- Kundenspezifische Lösungen
- Serienproduktion
- Qualitätsmanagement

Vielfalt an Applikationen



- Lasertechnik
- Messtechnik
- Medizin- und Biotechnologie
- Forschung und Entwicklung
- Halbleitertechnik
- Vakuum-Technologie

Motivation

Mikrobohrung und -schnitte für die Feinwerktechnik und Mechatronik

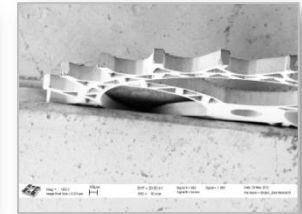
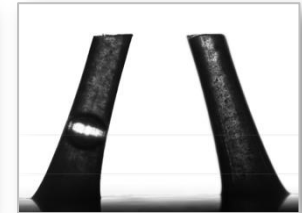
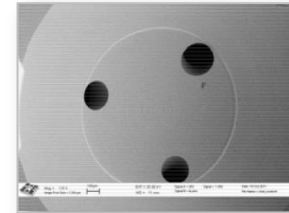
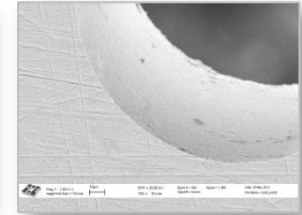
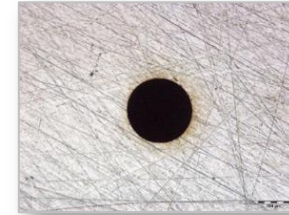
▪ Industrielle Strahlwerkzeuge zum

- Bohren
- Schneiden
- Strukturieren

▪ mit den Anforderungen

- Durchmesser bzw. Spaltgröße $> 50 \mu\text{m}$
- Tiefe zu Durchmesser Verhältnis von 10 : 1
- Rundheitsabweichung maximal 5 % vom Durchmesser
- freie Wahl der Bohrungs- und Kantengeometrie
- hohe Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit

→ bisherige Lösungen erfüllen nicht vollständig alle Anforderungen

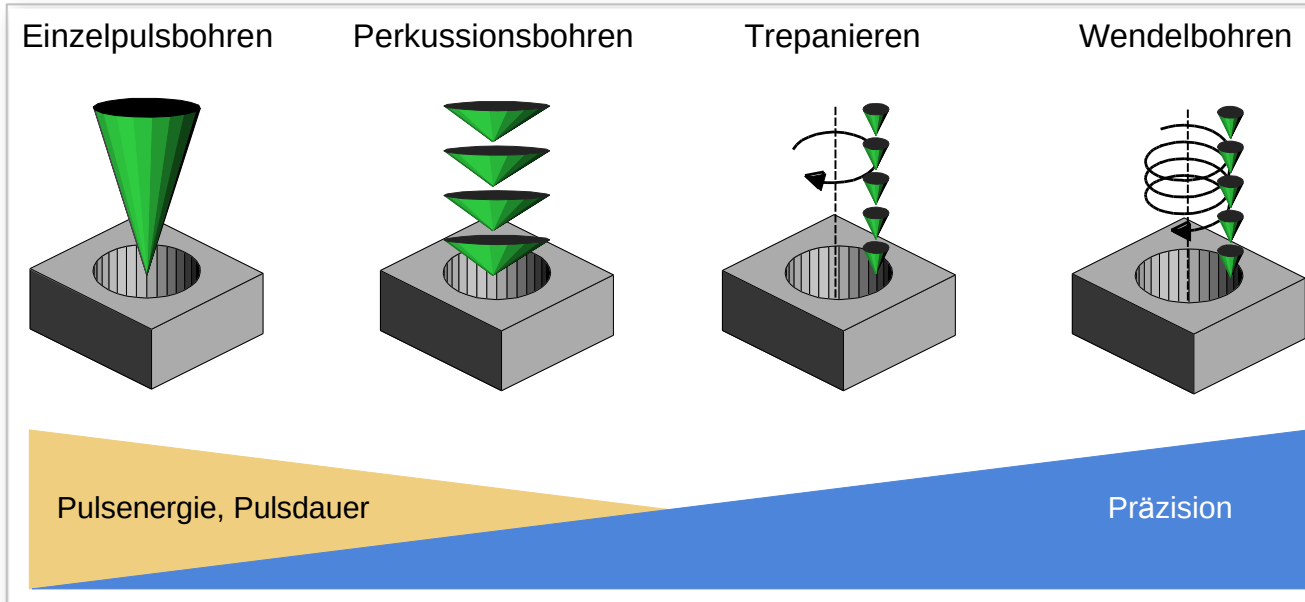


Quelle:

GFH, Bohren und Mikroschneiden mit Wendelbohroptik,
LZH Hannover 2012.

Motivation

Laserbohrverfahren



Quelle: C. Föhl, Einsatz ultrakurz gepulster Laserstrahlung zum Präzisionsbohren von Metallen. Stuttgart, 2011.

Motivation

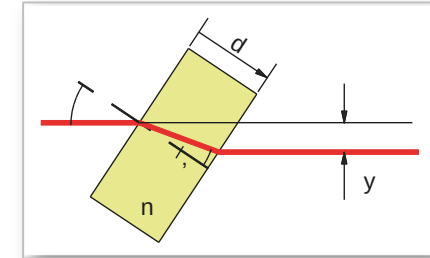
Laserbohrverfahren - Trepanieren

- **Notwendige Freiheitsgrade zur Strahlpositionierung:**
 - radialer Parallelversatz
 - Neigung des Strahls
 - Drehung um eine Rotationsachse

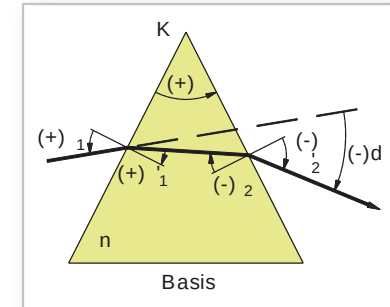
- **Strahlführung und -formung durch Linsen und Spiegel möglich**
 - Scannersysteme benötigen jederzeit Energie für den Betrieb
 - rotierende Linsensysteme benötigen nur Energie zur Beschleunigung
 - rotierende Linsensysteme benötigen weniger optische Elemente und Bauraum

- **Alle optischen Elemente beeinflussen die Fokusqualität:**
 - Die Bohrungs- bzw. Kantenqualität darf dadurch nicht verringert werden!

Planparallele Platte



Optischer Keil



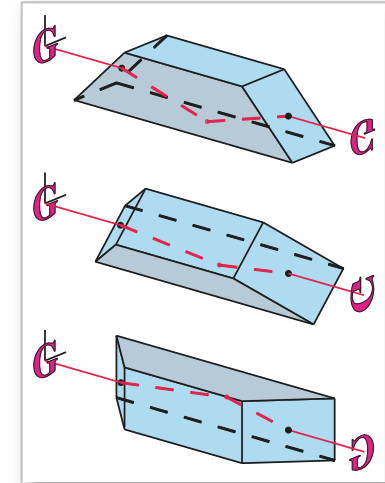
Quelle:
Handbuch Bauelemente der Optik.
München: Carl Hanser Verlag, 2014.

Motivation

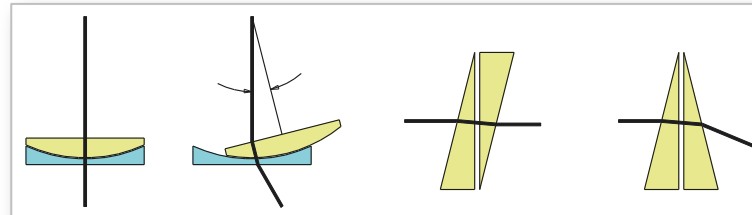
Rotierende optische Elemente

- **Rotierendes Dove-Prisma:**
 - + Hohe Rotationsgeschwindigkeiten möglich (> 20.000 U/min)
 - Anfällig für Lagefehler zur Rotationsachse bzw. Geometriefehler
- **Rotierendes Optiksistem:**
 - + Einfacher Aufbau und leichte Korrektur von Lagefehlern
 - Unwuchteinflüsse und Lagerung begrenzen die Geschwindigkeit

Dove-Prisma als Bildrotator



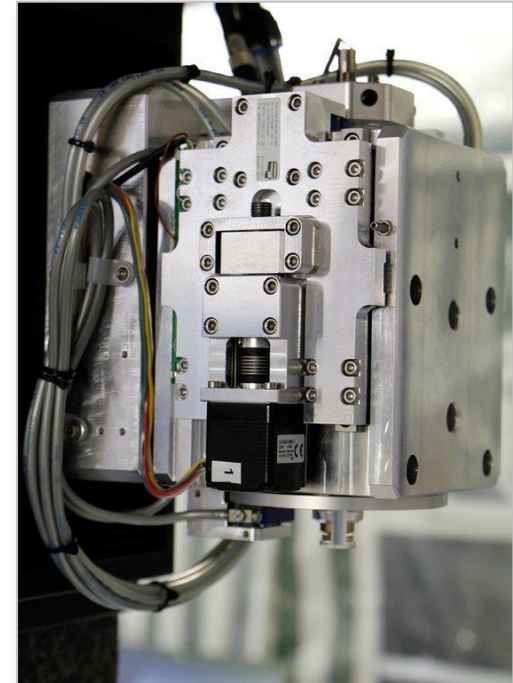
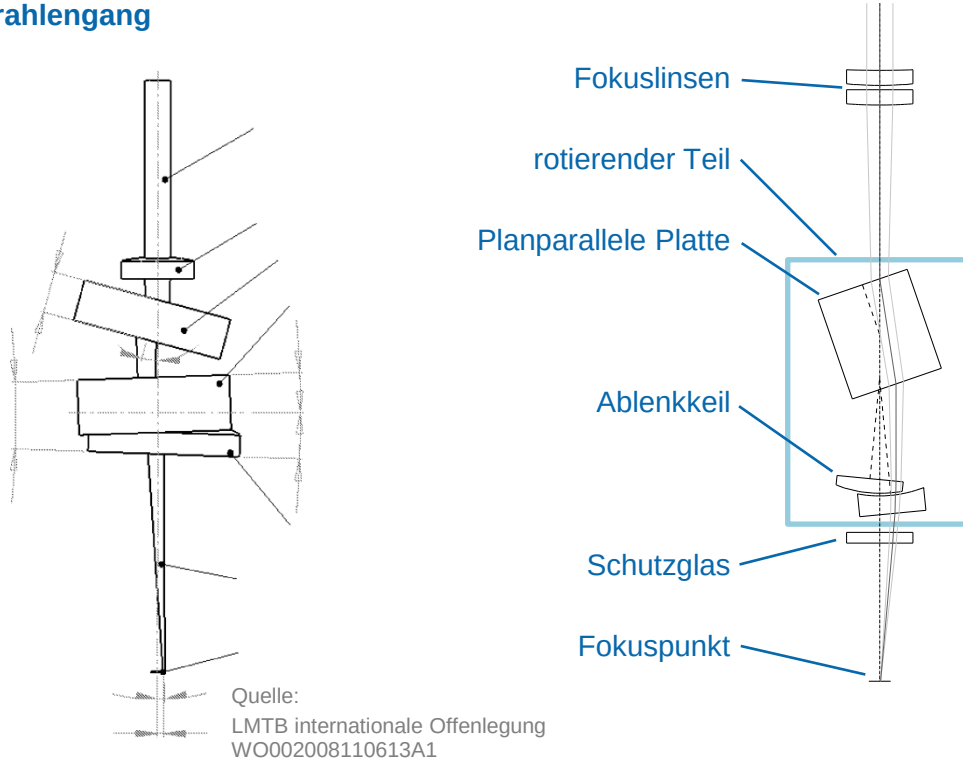
Quelle:
Handbuch Bauelemente der Optik.
München: Carl Hanser Verlag, 2014.



Veränderliche Ablenkkeile

Laserbohrkopf SLH 750

Strahlengang

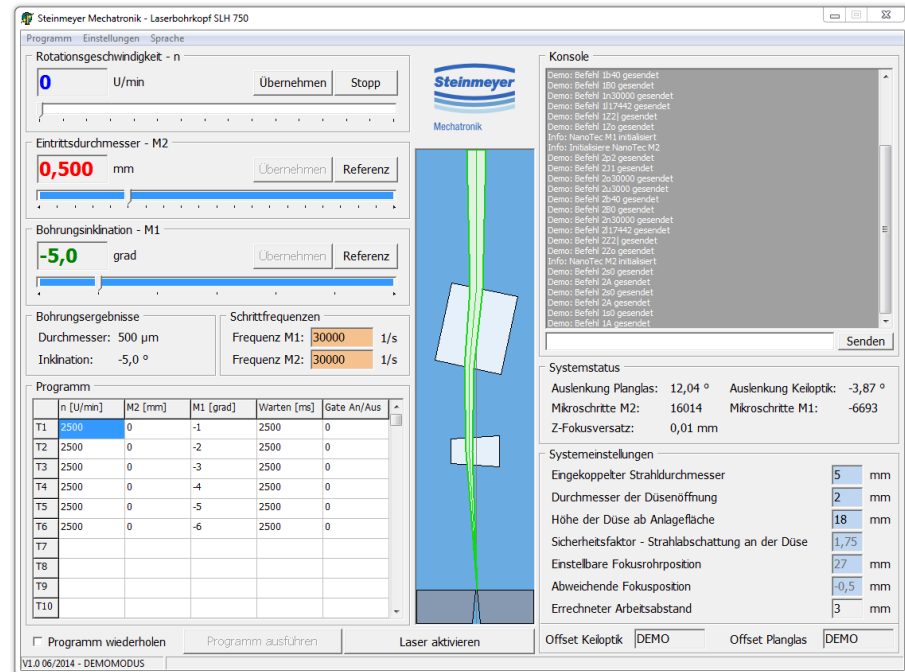


Prototyp des Laserbohrkopfs

Laserbohrkopf SLH 750

Ansteuerung und Software

- Rotationsgeschwindigkeiten bis 4000 U/min
- Direkte Strahlparametrierung, Optikmodell mit Strahlversatz und -inklination
- Technologiemo­dus, inverses Optikmodell mit Bohrungseintrittsdurchmesser und -inklination
- Visualisierung und Ergebnisausgabe
- Bereichsbegrenzung zum Schutz der Optik



Steinmeyer Mechatronik - Laserbohrkopf SLH 750

Programm Einstellungen Sprache

Rotationsgeschwindigkeit - n

0 U/min Übernehmen Stopp

Eintrittsdurchmesser - M2

0,500 mm Übernehmen Referenz

Bohrungsinklination - M1

-5,0 grad Übernehmen Referenz

Bohrungsergebnisse

Durchmesser: 500 µm

Inklination: -5,0 °

Schrittfrequenzen

Frequenz M1: 30000 1/s

Frequenz M2: 30000 1/s

Programm

	n [U/min]	M2 [mm]	M1 [grad]	Warten [ms]	Gate An/Aus
T1	2500	0	-1	2500	0
T2	2500	0	-2	2500	0
T3	2500	0	-3	2500	0
T4	2500	0	-4	2500	0
T5	2500	0	-5	2500	0
T6	2500	0	-6	2500	0
T7					
T8					
T9					
T10					

Programm wiederholen Programm ausführen Laser aktivieren

V1.0 06/2014 - DEMOMODUS

Konsolle

Demo: Befehl 1b40 gesendet
 Demo: Befehl 1b0 gesendet
 Demo: Befehl 1n30000 gesendet
 Demo: Befehl 1j17442 gesendet
 Demo: Befehl 1221 gesendet
 Demo: Befehl 12o gesendet
 Info: NanoTec M1 initialisiert
 Info: Initialisiere NanoTec M2
 Demo: Befehl 2p2 gesendet
 Demo: Befehl 211 gesendet
 Demo: Befehl 2o30000 gesendet
 Demo: Befehl 2u3000 gesendet
 Demo: Befehl 2b40 gesendet
 Demo: Befehl 2b0 gesendet
 Demo: Befehl 2n30000 gesendet
 Demo: Befehl 217442 gesendet
 Demo: Befehl 2221 gesendet
 Demo: Befehl 22o gesendet
 Info: NanoTec M2 initialisiert
 Demo: Befehl 2s0 gesendet
 Demo: Befehl 2A gesendet
 Demo: Befehl 2d0 gesendet
 Demo: Befehl 2A gesendet
 Demo: Befehl 1s0 gesendet
 Demo: Befehl 1A gesendet

Senden

Systemstatus

Auslenkung Planglas: 12,04 ° Auslenkung Keiloptik: -3,87 °

Mikroschritte M2: 16014 Mikroschritte M1: -6693

Z-Fokusversatz: 0,01 mm

Systemeinstellungen

Engkoppelter Strahldurchmesser 5 mm

Durchmesser der Düsenöffnung 2 mm

Höhe der Düse ab Anlagefläche 18 mm

Sicherheitsfaktor - Strahlabschattung an der Düse 1,75

Einstellbare Fokusrohrposition 27 mm

Abweichende Fokusposition -0,5 mm

Errechneter Arbeitsabstand 3 mm

Offset Keiloptik DEMO Offset Planglas DEMO

Systemuntersuchungen Strahlführung und -formung

Strahlanalyse:

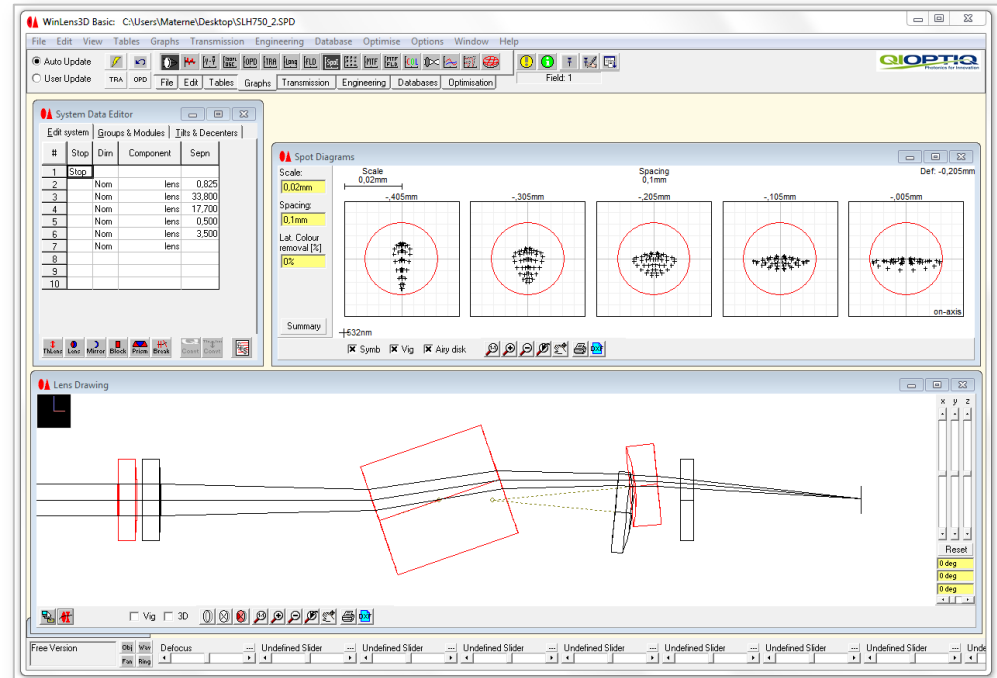
- Untersuchung der Strahl- und Fokusqualität
 - Einflüsse einzelner Optikkomponenten
- Optimierung des optischen Systems

Modell in WinLens3D:

- Betrachtungen in der Neigungsebene
- Variierung von Strahlversatz und -inklination

Auswertung durch Spot-Diagramme:

- Auftreffpunkte eines Strahlenbündels

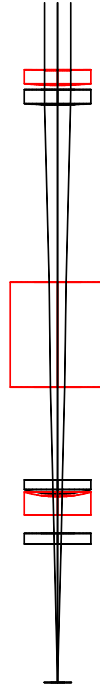
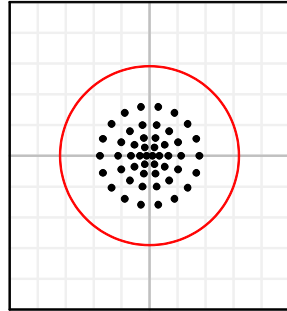


Systemuntersuchungen

Strahlführung und -formung

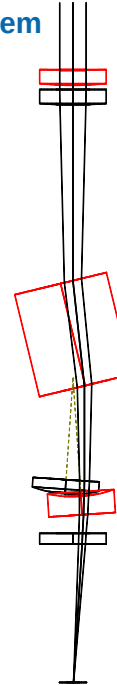
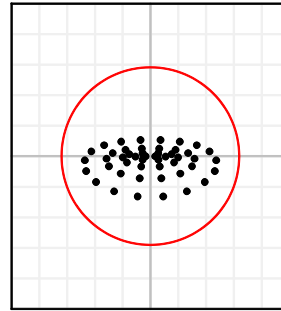
- **ideales neutrales System**

→ geringe optische Fehler



- **ideales ausgelenktes System**

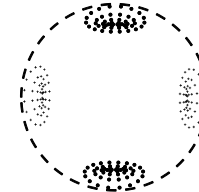
→ Fokusqualität nimmt ab



- **Fehler entstehen durch die Planplatte und den optischen Keil**

→ Fehler rotiert mit dem System

→ kein Einfluss auf die Bohrungsqualität



Systemuntersuchungen

Strahlführung und -formung

■ Sensibilitätsanalyse:

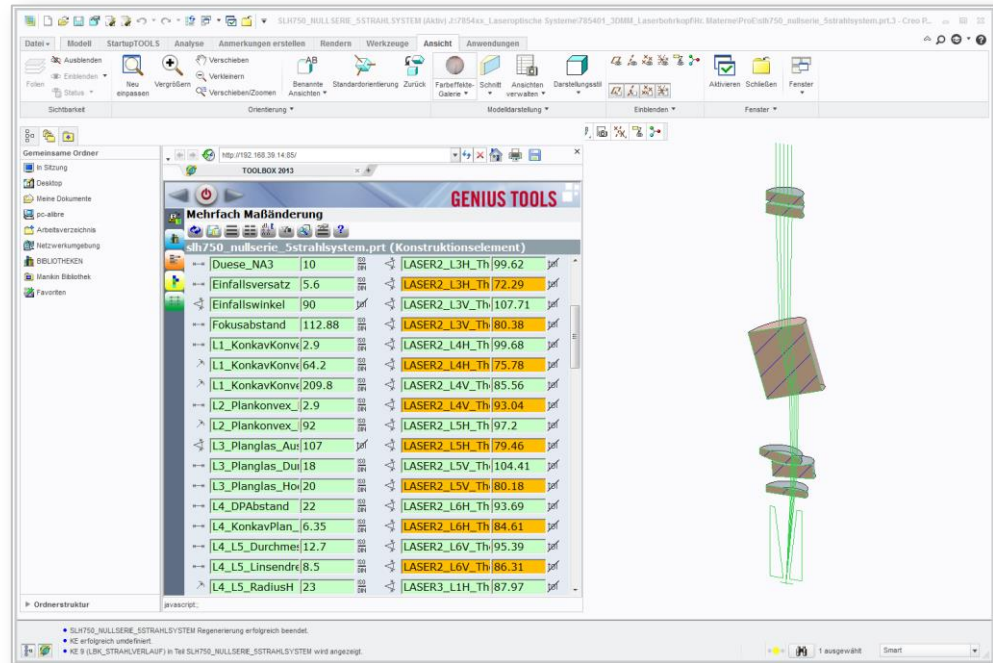
- Variierung verschiedener Parameter
 - Auffinden der einflussreichsten Parameter
- Optimierung des mechanischen Systems

■ Modell in Creo Parametric 2.0:

- Betrachtungen in der Neigungsebene
- Variierung diverser Parameter (Neigungen, Linsenpositionen, Abstände)

■ Auswertung durch Abstandsmessungen:

- Messen der radialen und axialen Abstandsänderungen des Fokuspunkts zum Werkstück bzw. zur Rotationsachse

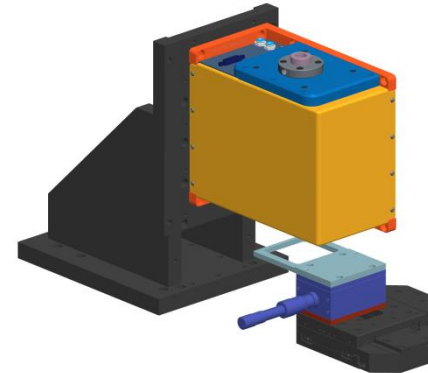
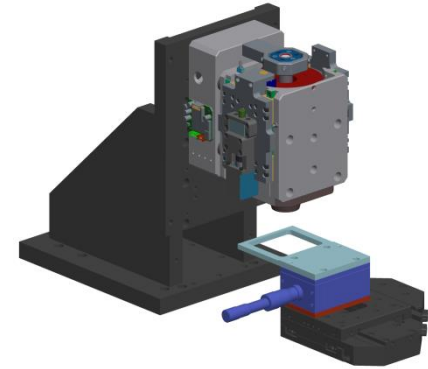


Systemuntersuchungen

Technologische Untersuchungen

- **Oberflächenversuche:**
 - Testanlage microTEST von 3D-Micromac bei Steinmeyer Mechatronik
 - Überprüfung der Strahlpositionierungen der Software
 - Visualisierung von Positionierungsproblemen
- **Bohrversuche:**
 - Laseranlage Acsys Orca μ am Fraunhofer IWU in Chemnitz
 - Erprobung des Strahlwerkzeugs an leistungsstarken Laseranlagen

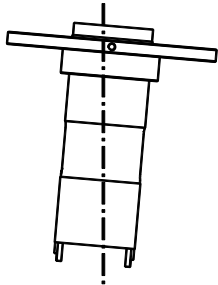
→ unter Verwendung des mobilen Versuchsaufbaus



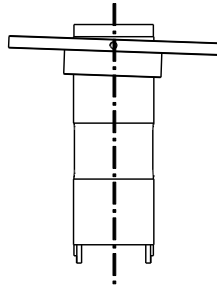
Systemuntersuchungen Oberflächenstrukturierung

- **Luftlager und Linsensystem sind direkt gekoppelt**
→ Linsenauslenkungen durch Planlauf- und Parallelitätsabweichungen

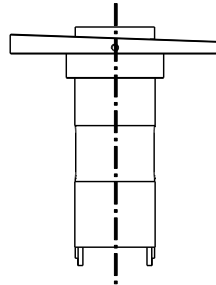
Schräg im Lager



Schief gefügt

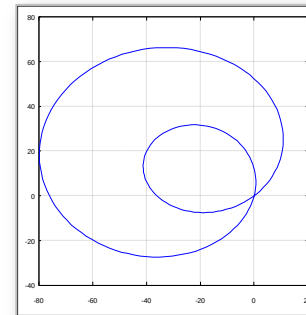
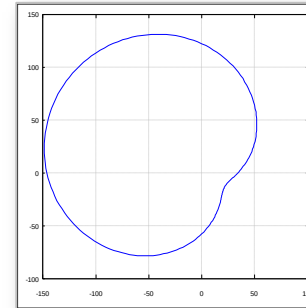


Keil-Fehler

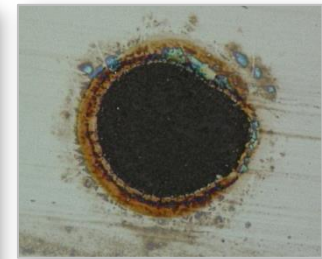
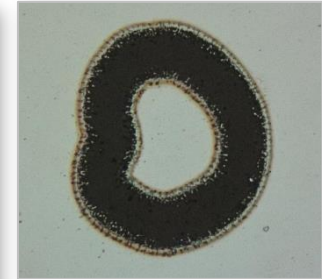


- **Rotationsabhängige Bahnabweichungen bei kleinen Durchmessern**

Simulation in Octave



Versuchsergebnisse



Systemuntersuchungen

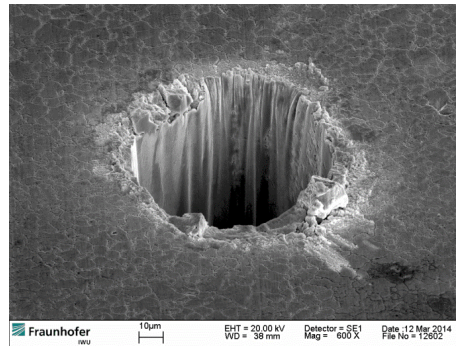
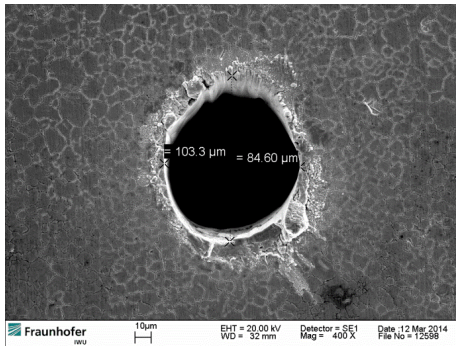
Erste Bohrversuche

- **REM-Aufnahmen einer ersten Mikrobohrung**

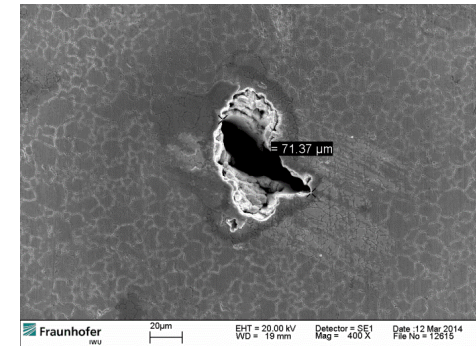
Tiefe zu Durchmesser Verhältnis ca. 10 : 1

- **Form der Austrittsseite durch lineare Polarisation des Lasers geprägt**

Eintrittsseite einer Mikrobohrung in 0,8 mm Stahlblech



Austrittsseite der Mikrobohrung



Zusammenfassung und Ausblick

- **Vorzüge des Systems:**
 - zum Bohren und Schneiden
 - wartungsfrei durch Luftlagerung
 - hohe Reproduzierbarkeit
 - Prozessstabilität, auch im Dauerbetrieb
 - im Vergleich kostengünstig
- **Zukünftige Herausforderungen:**
 - Eliminierung der Bahnabweichungen
 - höhere Rotationsgeschwindigkeiten
 - größere Strahldurchmesser

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontaktinformationen



Jens Klattenhoff
Vertriebsleiter / Prokurist

Steinmeyer Mechatronik GmbH
Fritz-Schreiter-Str. 32 · 01259 Dresden
Tel.: +49 351 885 85-33
Fax: +49 351 885 85-25
jens.klattenhoff@steinmeyer.com
www.steinmeyer.com

