

3D Laser Mikrobearbeitung in der Medizinaltechnik

Institut für Produkt- und Produktionsengineering :

Lisa Gross, Beat Lüscher, Armin Stumpp, Markus Krack, Jörn Lungershausen,
Stefan Fuhrer, Hansjörg Vogt

Dienstag, 14.06.2011, FHNW Brugg-Windisch

Inhaltsverzeichnis

- IPPE der FHNW
- Grundlagen der Lasertechnik
 - Einsatzgebiete
 - vom Laserstrahl zum Materialabtrag
- Laseranlage
 - Aufbau der Laboranlage
 - Strahlführung / erreichbare Präzision
- 3-D Bearbeitung
- Applikationen:
 - 3-D Kavitäten in Metall
 - 3-D Kavitäten in Kunststoffen
 - Bearbeitung von Folien
- Zusammenfassung

IPPE (Institut für Produkt- und Produktionsengineering)

20 - 25 Mitarbeiter

Lehre in den Studiengängen

- Maschinenbau
- Systemtechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen

für Bachelor- und Master-Studierende

Forschungs- und Dienstleistungs-Projekte

mit diversen Industriepartnern

Umfangreiche **Laborinfrastruktur**



Fokus des IPPE in den Forschungs- und Dienstleistungs-Projekten

Produktentwicklung unter Anwendung moderner Technologien

im Umfeld der folgenden **Kompetenzbereiche**:

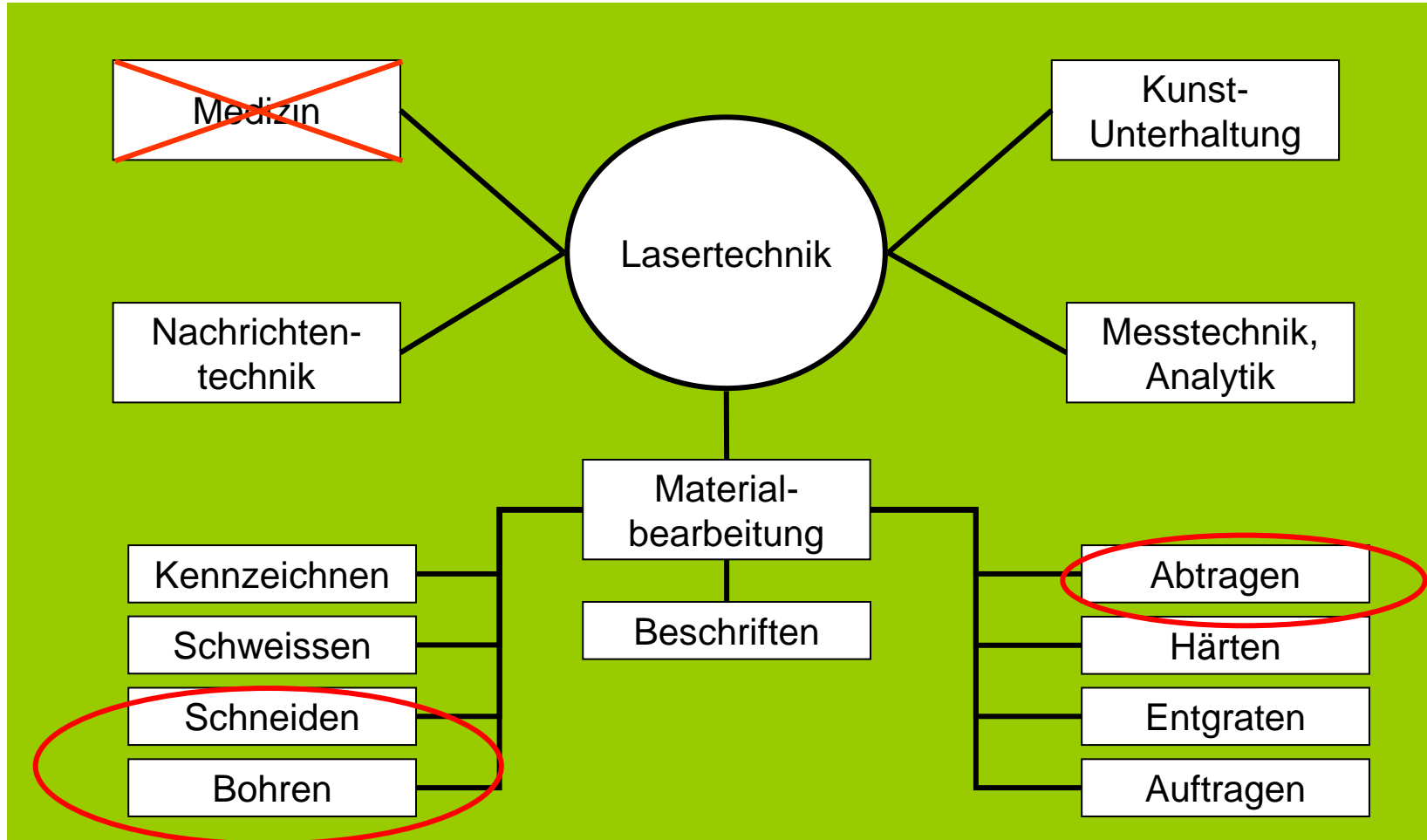
- **Fertigungstechnologien (spezifisch Laser - Mikromaterialbearbeitung)**
- **Produktentwicklung**
- **Rapid Technologien**
- **Werkstofftechnik und Bauteilprüfung**

Enge Zusammenarbeit mit INKA und IKT

Inhaltsverzeichnis

- IPPE der FHNW
- Grundlagen der Lasertechnik
 - Einsatzgebiete
 - vom Laserstrahl zum Materialabtrag
- Laseranlage
 - Aufbau der Laboranlage
 - Strahlführung / erreichbare Präzision
- 3-D Bearbeitung
- Applikationen:
 - 3-D Kavitäten in Metall
 - 3-D Kavitäten in Kunststoffen
 - Bearbeitung von Folien
- Zusammenfassung

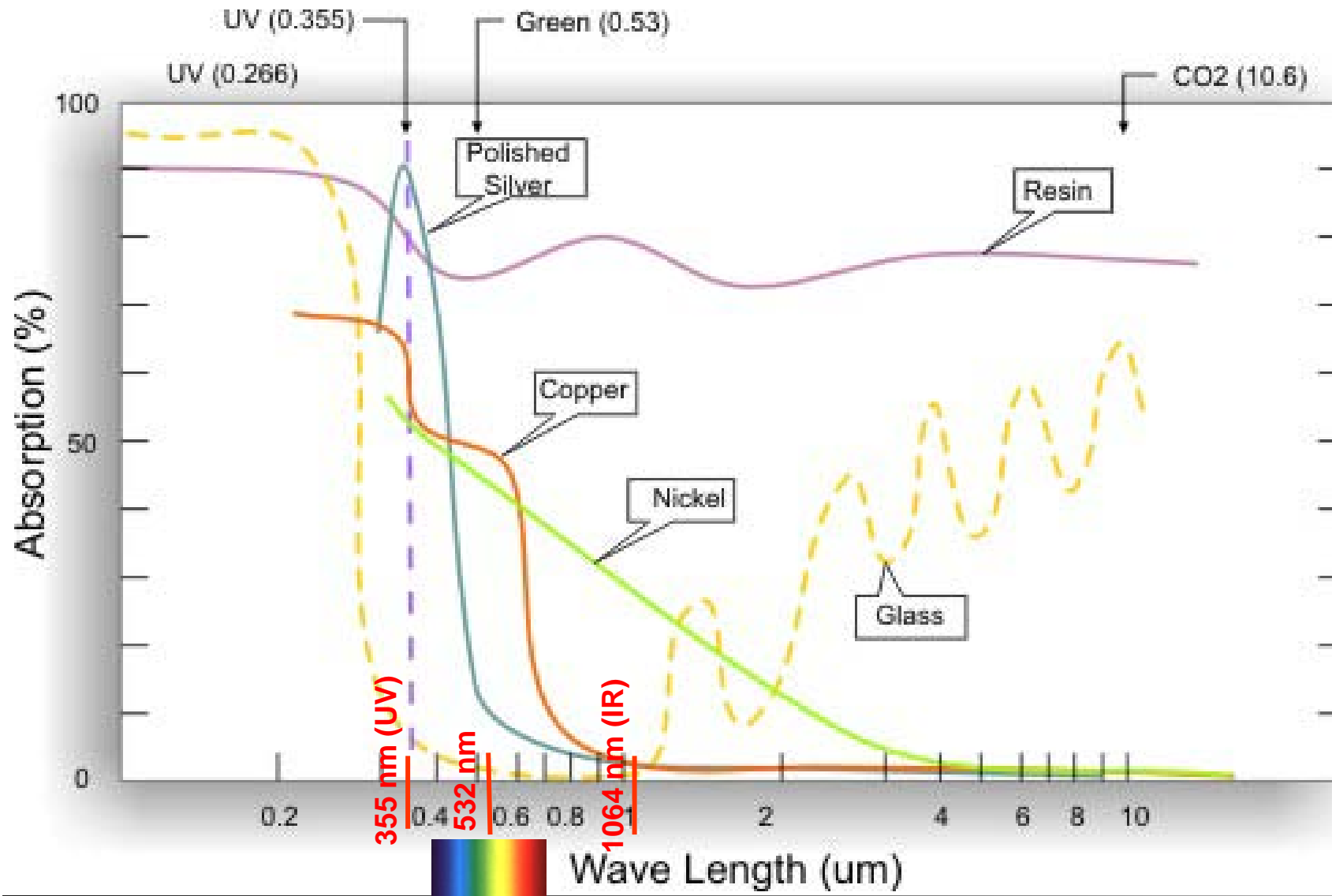
Anwendungsgebiete von Laserstrahlen (am IPPE)



spezifisch am IPPE

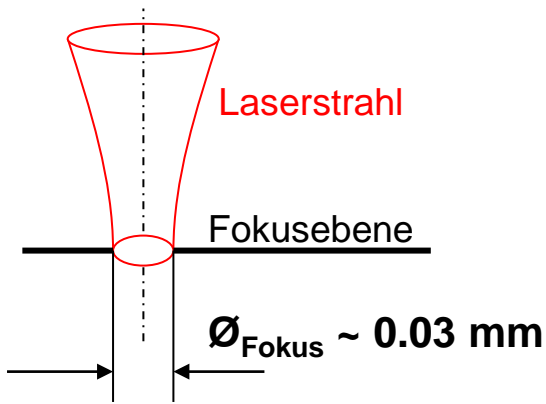
- Medizinaltechnik
- Energietechnik (Thermische Generatoren)
- Kavitäten Spritzguss und Hot Embossing
- Bearbeitung von Kunststoffen
- Mikrofluidik
- ...

Absorption von Materialien bei verschiedenen Wellenlängen

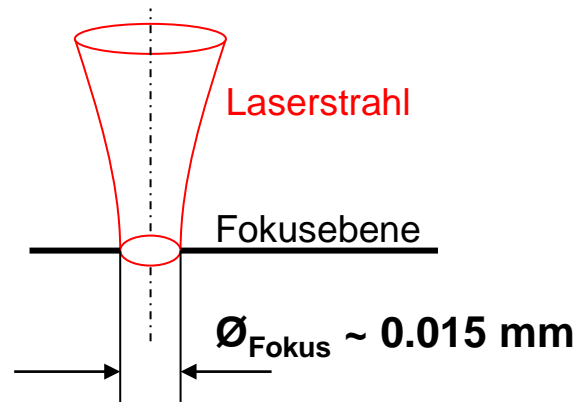


Wahl des richtigen Lasers bzw. der richtigen Wellenlänge:

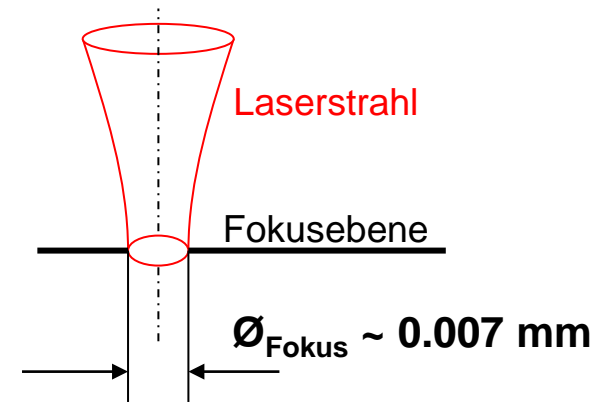
Wellenlänge
 $\lambda = 1064 \text{ nm}$



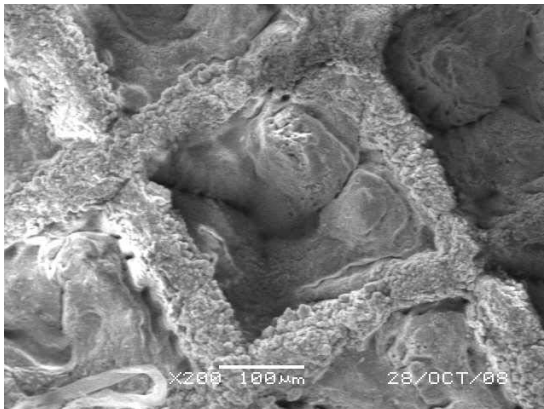
Wellenlänge
 $\lambda = 532 \text{ nm}$



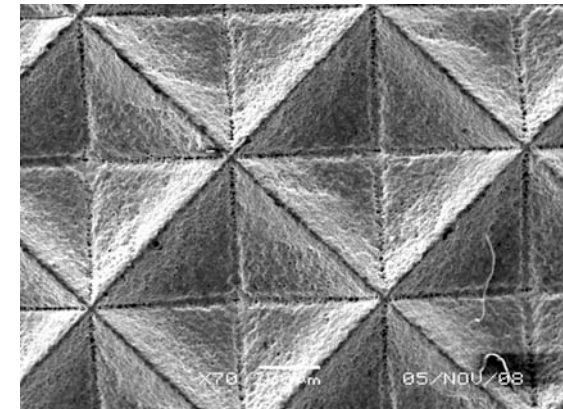
Wellenlänge
 $\lambda = 355 \text{ nm}$



(bei einer Fokussierlinse mit Brennweite 100mm)

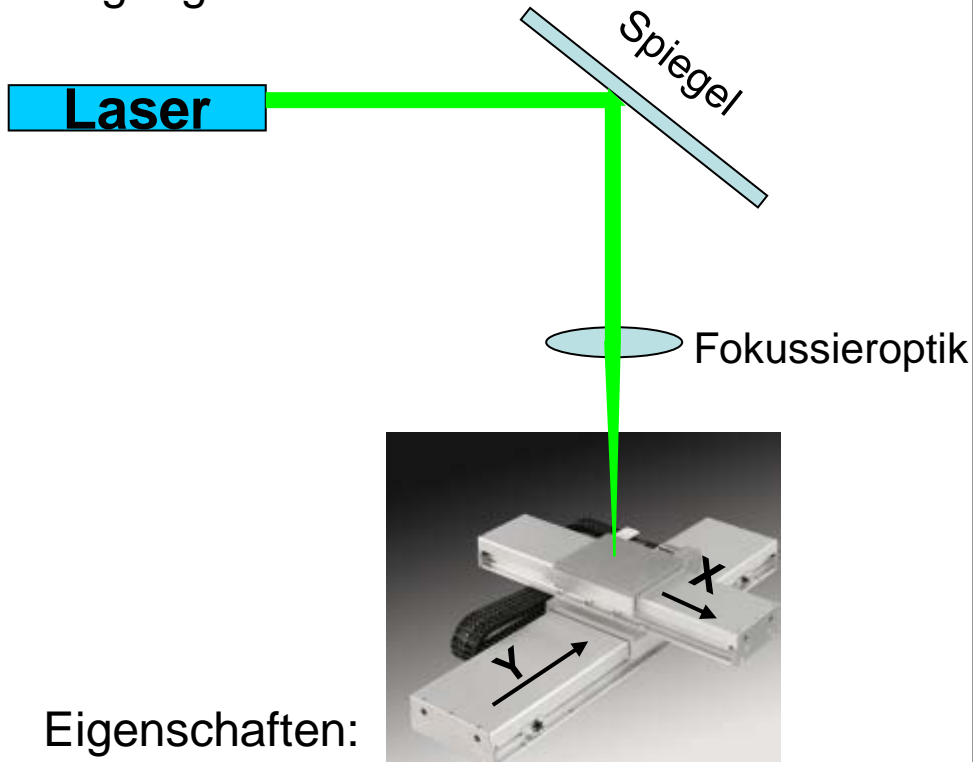


Fokusbereich abhängig von:
 → Wellenlänge
 → Strahlqualität
 → Brennweite der Fokussierlinse
 → Strahldurchmesser



Wie kann der Laserstrahl bewegt werden?

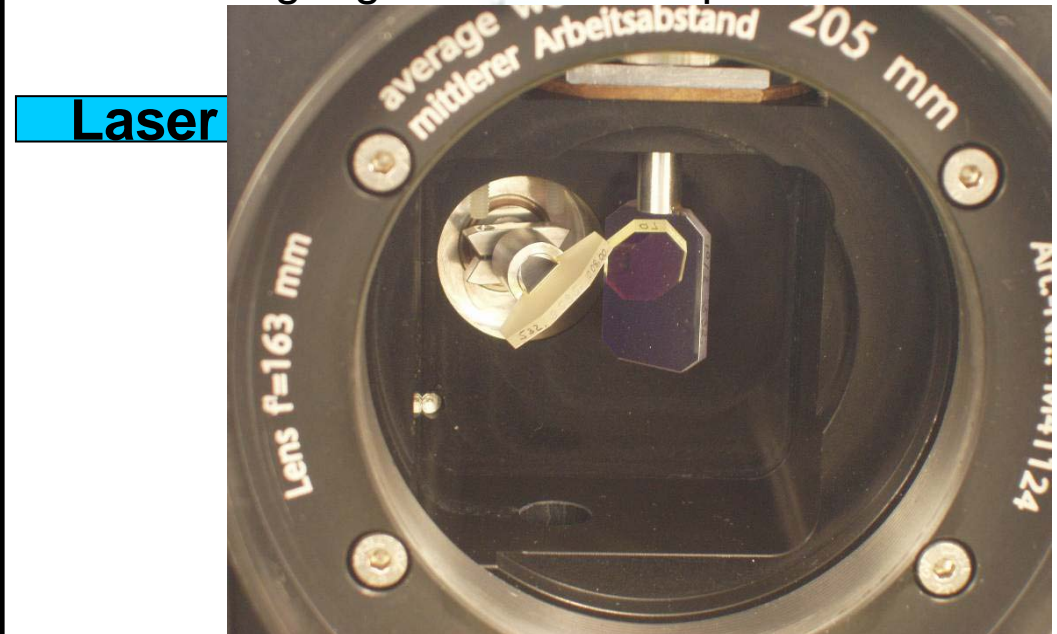
Bewegung mit X/Y Tisch



Eigenschaften:

- + Genauigkeit
- + sehr kleiner Fokusbereich $> 1\mu\text{m}$
- + Konventionelle ISO Programmierung
- Geschwindigkeit (mm/Min)
- 3-D Abtrag

Bewegung mit Scannerkopf



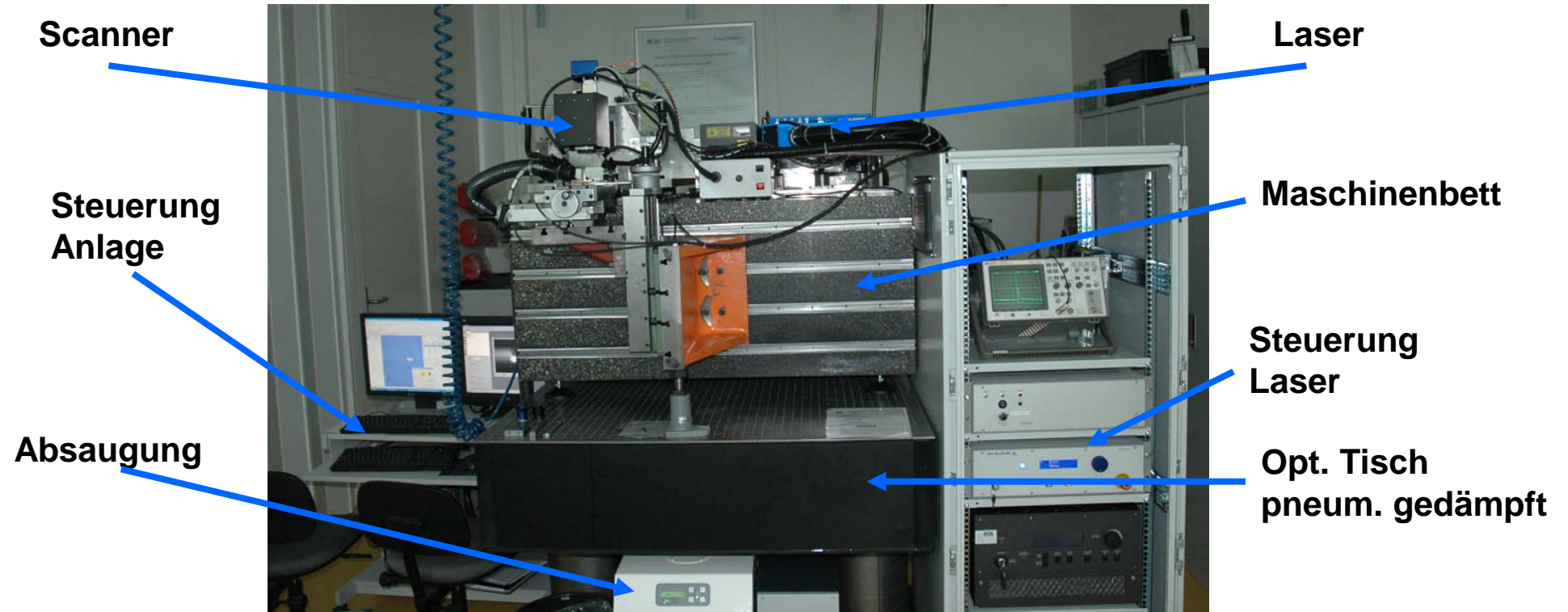
Eigenschaften:

- +/- Genauigkeit abhängig von Fokussieroptik + Scanner
- +/- kleiner Fokusbereich $> 5\mu\text{m}$
- spezielle Programmierertools notwendig
- + Geschwindigkeit (m/s)
- + 3-D Abtrag

Inhaltsverzeichnis

- IPPE der FHNW
- Grundlagen der Lasertechnik
 - Einsatzgebiete
 - vom Laserstrahl zum Materialabtrag
- Laseranlage
 - Aufbau der Laboranlage
 - Strahlführung / erreichbare Präzision
- 3-D Bearbeitung
- Applikationen:
 - 3-D Kavitäten in Metall
 - 3-D Kavitäten in Kunststoffen
 - Bearbeitung von Folien
- Zusammenfassung

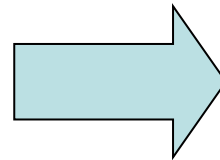
Aufbau der ps Laboranlage am IPPE



- Laser: Time Bandwidth Duetto ps-Laser
- Scanner: Scanlab intelliSCANde® (digitale Encoder)
- Focus Shifter: Scanlab varioSCANde®20i
- Steuerkarte: Scanlab RTC5
- Objektive: Sill 32mm, 56mm, 100mm, 250mm
- Software: Scaps SAM3D / Scan Lab Laserdesk / eigene benutzerdefinierte Software

Ziel dieser Laboranlage

- 3D - Materialabtrag mit ps Lasertechnik
- hohe Präzision
- gute Oberflächengüte
- Langzeitstabilität
- hohe Flexibilität (rasches Umrüsten)
- Einbau weiterer Komponenten (opt. + mech.)
- hohe Geschwindigkeiten ($v_f = <1'500\text{mm/s}$)



hochwertige Komponenten (Laser, Scanner, Strahlführung, ...)

mechanisch stabiles Maschinenbett aus Mineralguss mit hoher Eigendämpfung

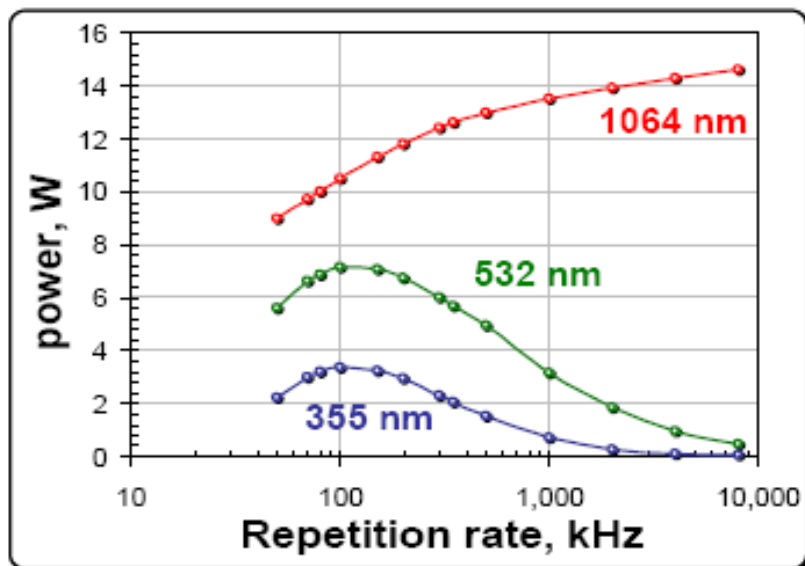
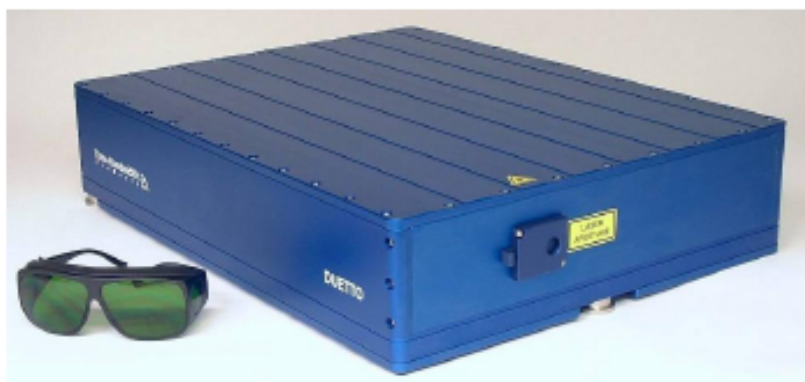
minimale thermische Deformationen durch Temperaturschwankungen - Entkopplung aller Wärmequellen

viel Platz

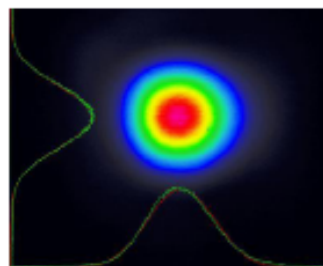
klimatisiertes Laborgebäude

Laser: Ultrakurzpulslaser

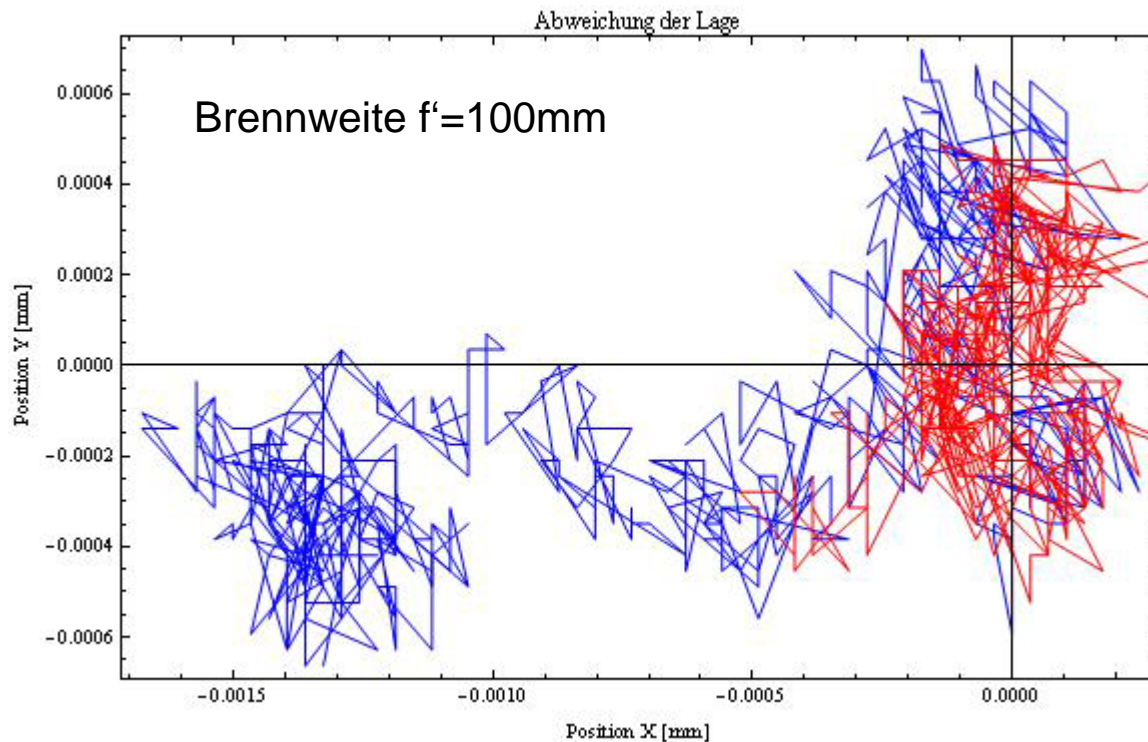
DUETTO - key performance parameters



output power	> 10 W
repetition rate	50 kHz – 8 MHz
pulse energy	up to 200 μJ
pulse width	10 ps
peak power	up to 20 MW
wavelength	1064 nm
M ² (TEM ₀₀)	< 1.3



Scanner: Präzision während der Bearbeitung



Rot: aktive Prozessüberwachung (alle 1'000 Ausg.)
Blau: inaktive Prozessüberwachung (Drift)

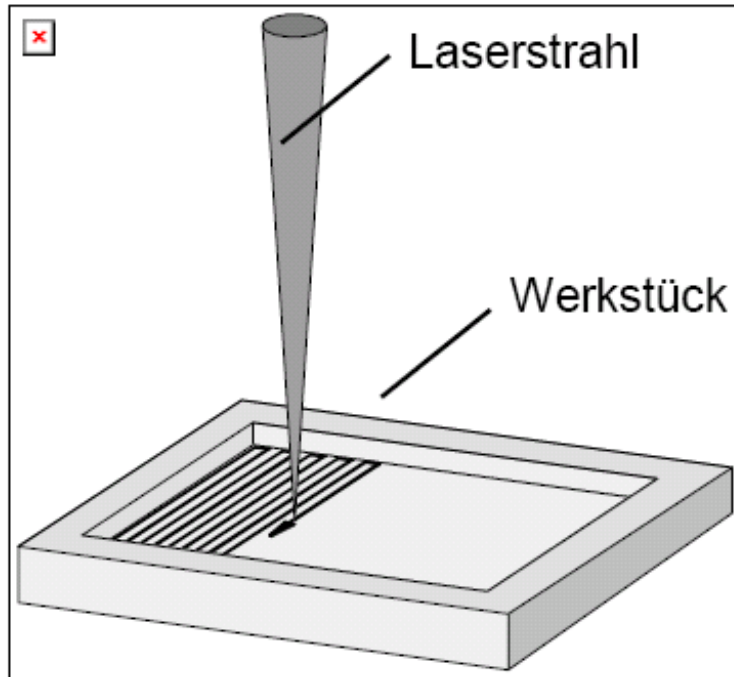
Neueste Scannertechnik (Digital) ermöglicht eine Überwachung der Positionsgenauigkeit bei langen Bearbeitungszyklen.

f' [mm]	Max [μ m]	Max [μ m]
32	0.01	0.06
56	0.3	0.9
100	0.5	1.6
250	1.3	4.1
800	4.5	14.2

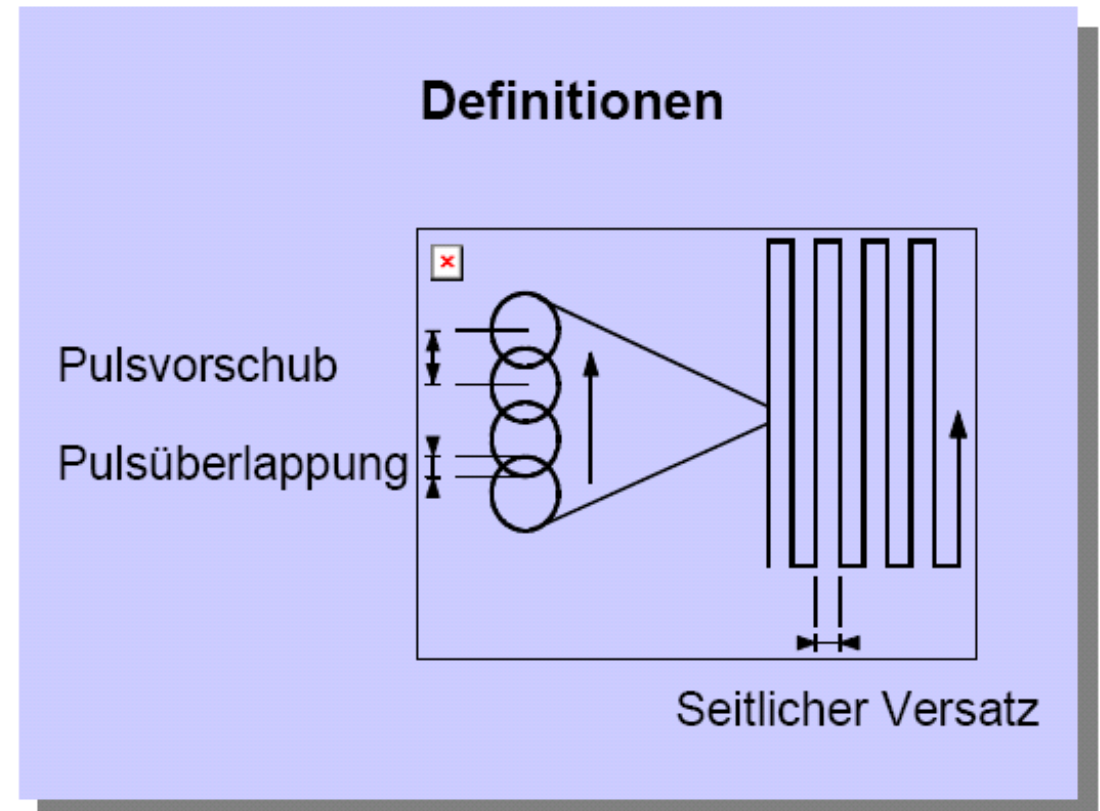
Inhaltsverzeichnis

- IPPE der FHNW
- Grundlagen der Lasertechnik
 - Einsatzgebiete
 - vom Laserstrahl zum Materialabtrag
- Laseranlage
 - Aufbau der Laboranlage
 - Strahlführung / erreichbare Präzision
- 3-D Bearbeitung
- Applikationen:
 - 3-D Kavitäten in Metall
 - 3-D Kavitäten in Kunststoffen
 - Bearbeitung von Folien
- Zusammenfassung

Prozessstrategie beim Abtragen einer Fläche

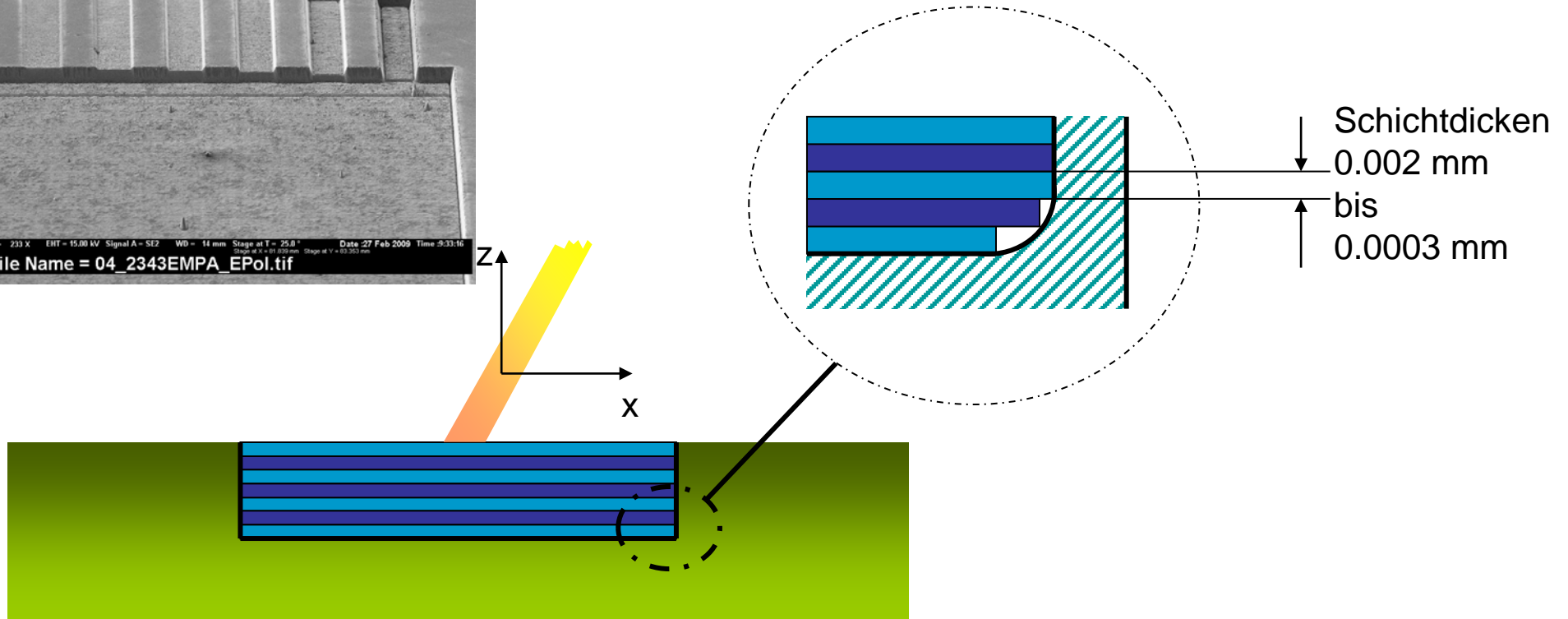
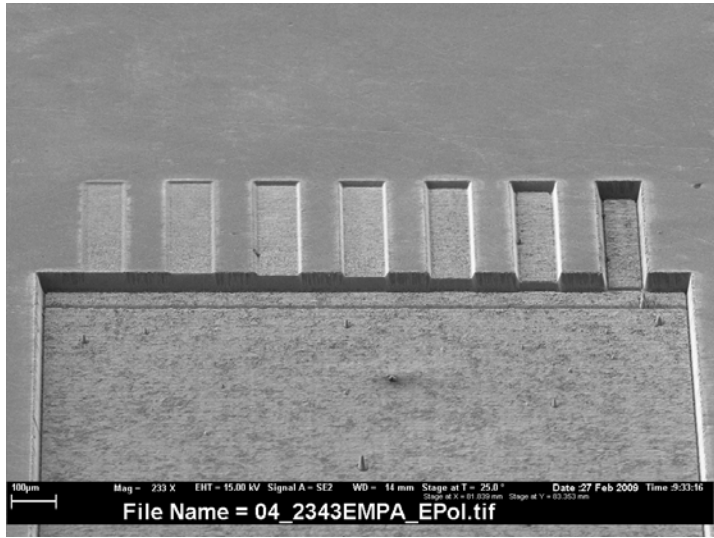


- Abscannen paralleler Linien
- Tiefe Strukturen erfordern Bearbeitung in mehreren Schichten



Quelle: Trumpf

Prozessstrategie beim Abtragen eines Volumen



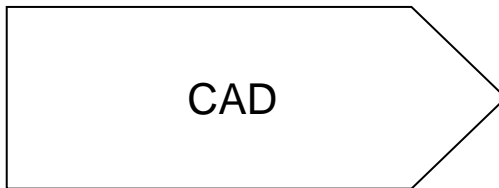
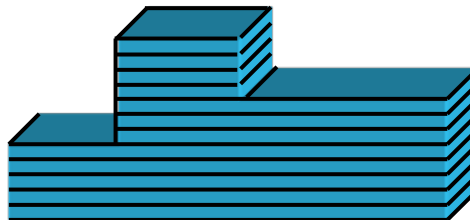
Wie funktioniert der 3-D Abtrag?

Mikrozahnrad:

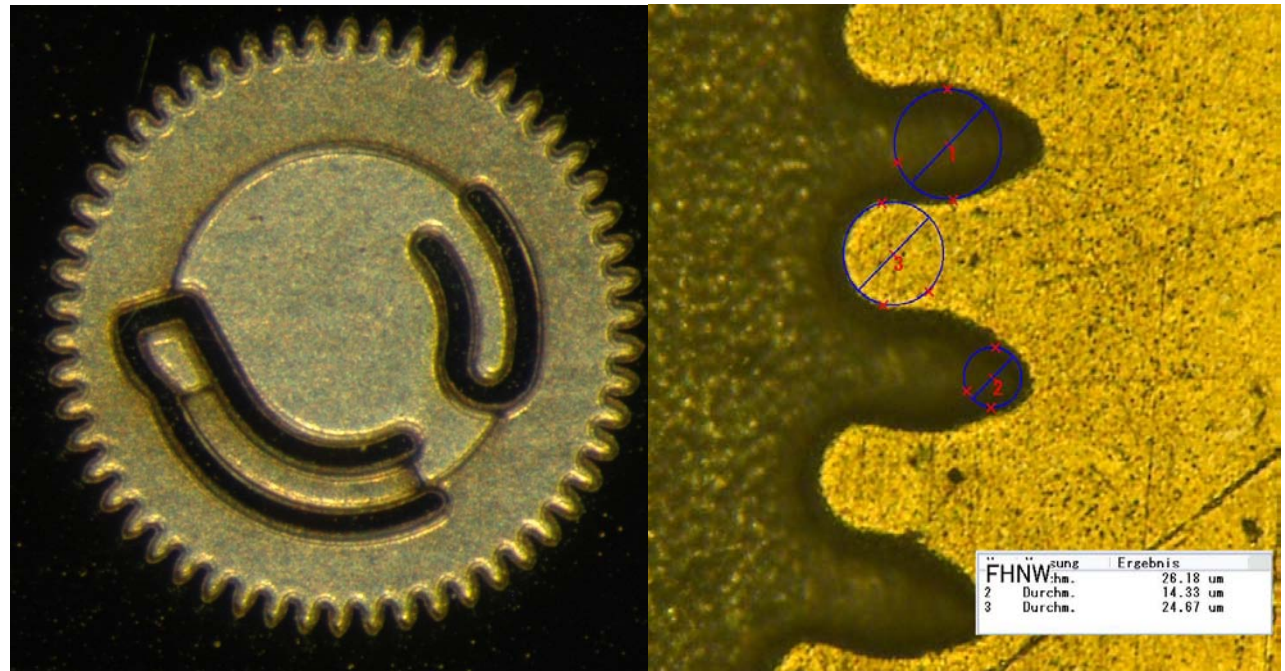
Durchmesser	1 mm
Zähnezahl	52
Leistung	.59 W
Pulsenergie (Σ Burst)	.59 μ J
Repetitionsrate	1'000 kHz
Pulspicker	6
Burst	1
Vorschub	350 mm/s
Optik Brennweite	32 mm
Schichten	120

CAD

spez. Lasersoftware



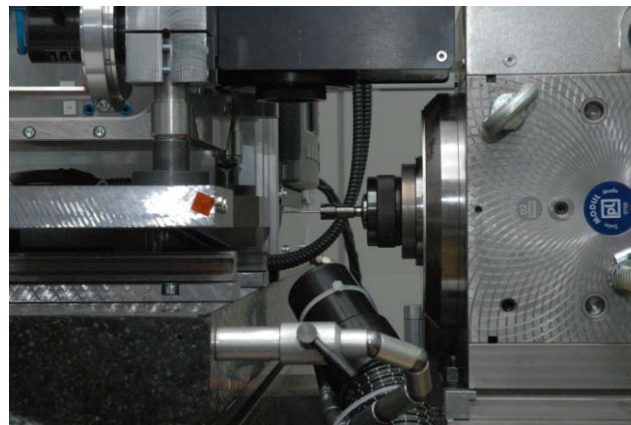
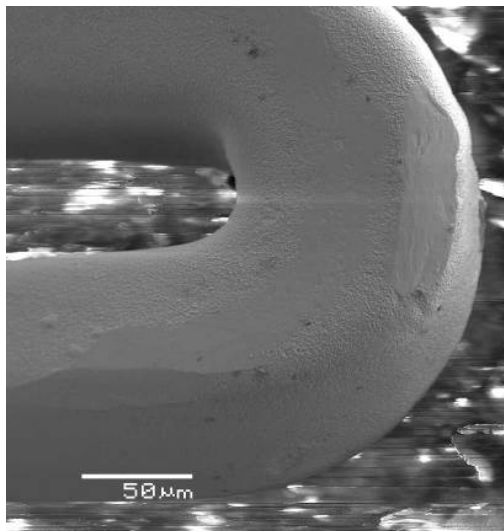
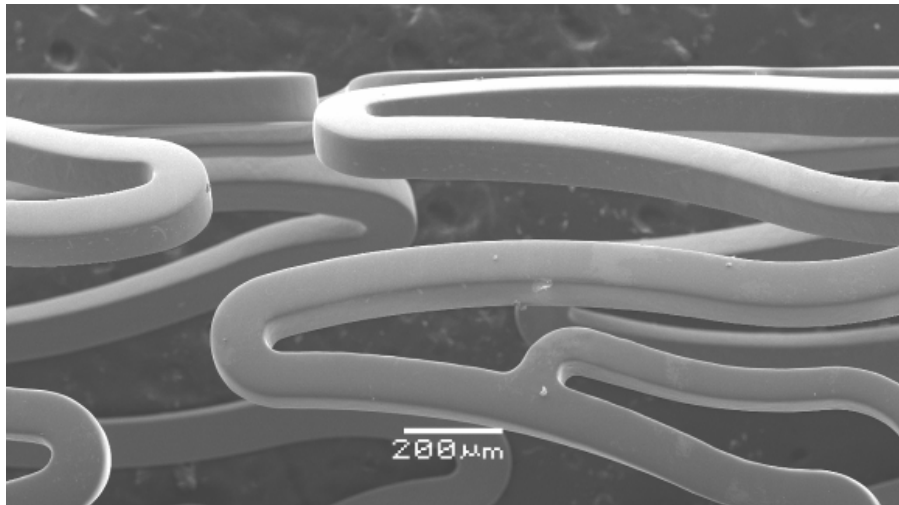
Rechnerinternes
CAD Modell
(Datenmodell)



Inhaltsverzeichnis

- IPPE der FHNW
- Grundlagen der Lasertechnik
 - Einsatzgebiete
 - vom Laserstrahl zum Materialabtrag
- Laseranlage
 - Aufbau der Laboranlage
 - Strahlführung / erreichbare Präzision
- 3-D Bearbeitung
- Applikationen:
 - 3-D Kavitäten in Metall
 - 3-D Kavitäten in Kunststoffen
 - Bearbeitung von Folien
- Zusammenfassung

Innenstrukturieren von Stents



Projektstart 2008 mit Biotronik

Ziele:

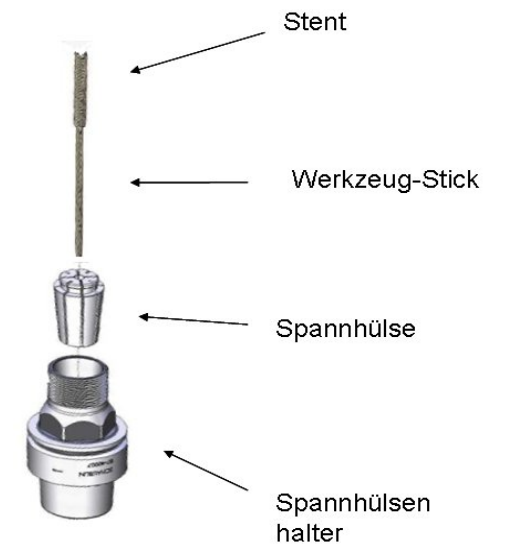
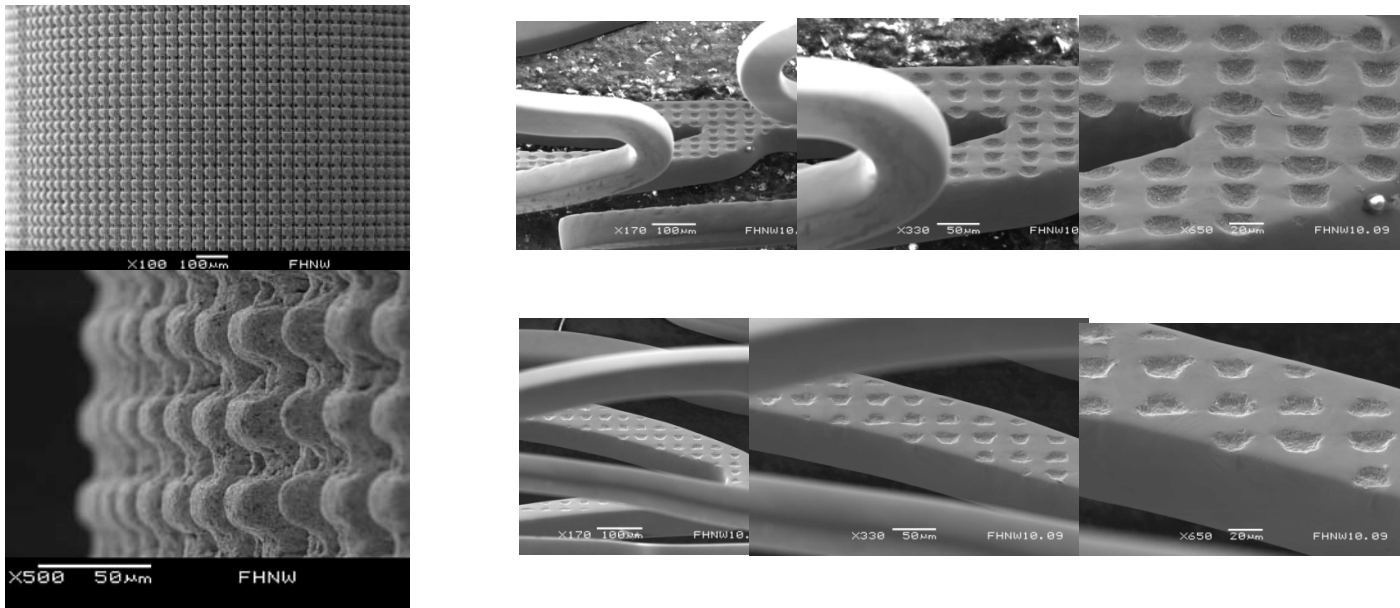
- REM - Aufnahme Stent
- Konstruktion einer Struktur (Pyramidenstumpf)
- Herstellen der Struktur mit 355nm Laserquelle
- Ausmessen der Werkzeugstruktur
- Prägen der Struktur

Ausgangslage:

- Laser 355nm Coherent
- Pulslänge ca. 20ns
- 4. Achse von Fa. Lehmann

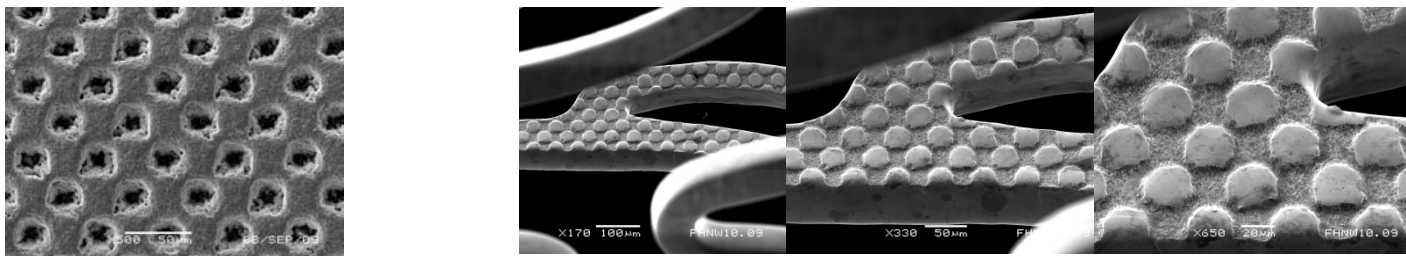
Strukturabformung auf Dorn mit Durchmesser 1.57 mm mit ns Laser

Zäpfchen in Linienstruktur



Prägevorrichtung, schematisch

Näpfchen in Schachstruktur

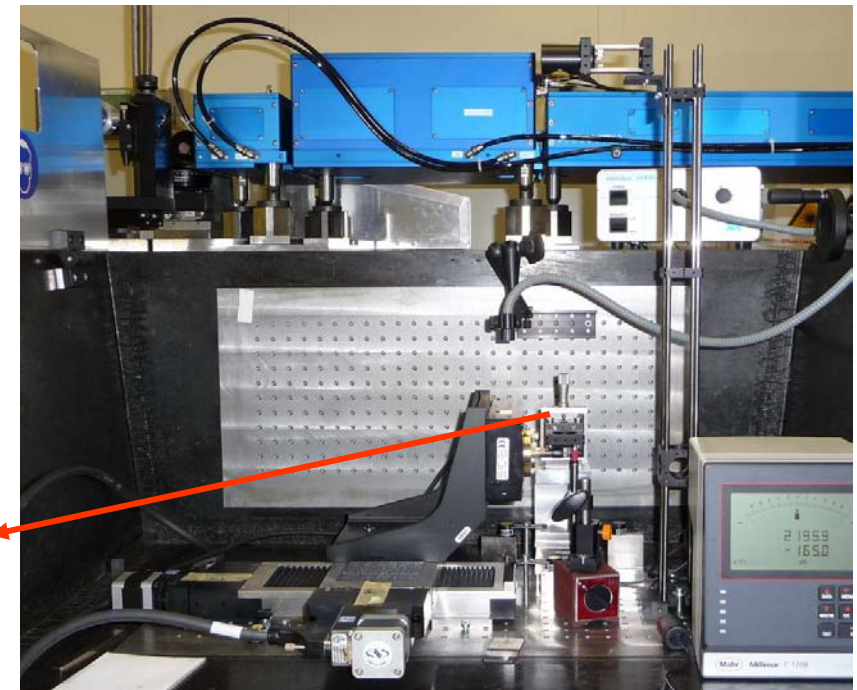
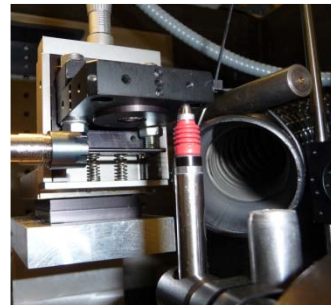
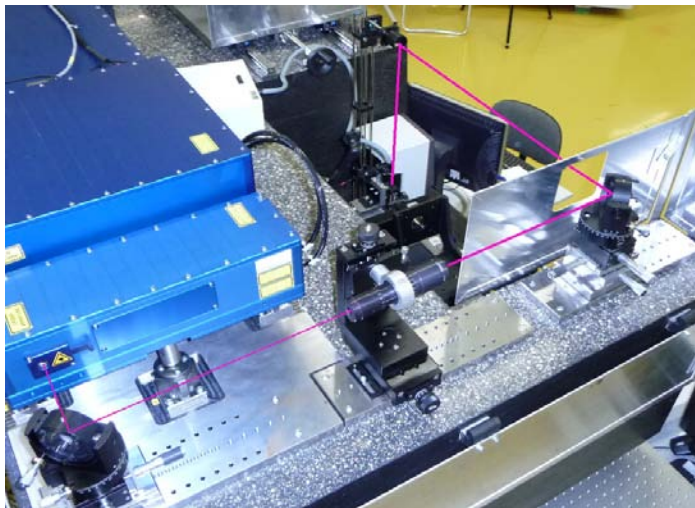


Strukturabformung auf Dorn mit Durchmesser 1.57 mm mit **ps** Laser

Projektstart 2009/2010 mit Biotronik

Zielsetzung

- Lasern von Linien in Präge-Werkzeug
(Rundmaterial HSS-Stahl 1,57 mm)
- **Angestrebte Linienbreite sowie -abstand: ca. 1 μ m**
- Pilotversuche zum Abformen



X / Y Linearführungen und Rotationsachse sowie Wegsensor zur Überwachung der Brennweite

Pikosekunden-Laser (355 nm Wellenlänge) mit
Illustration der offenen Strahlführung

Problematik beim Laser-Abladieren von 1µm breiten Linien

- **Hauptproblem: Fokusbereich von 1 µm**

- ⇒ Verwendung einer Linse mit kurzer Brennweite (10 mm)
- ⇒ Laser mit ausgezeichneter Strahlqualität
- ⇒ möglichst kurze Wellenlänge des Lasers
- ⇒ Laserstrahl Aufweitung

$$w_F = M^2 \times \frac{\lambda \times f'}{\pi \times w_0}$$

Formel für Fokusbereich

- **Folgeprobleme:**

- Kein Scanner für Linse mit 10mm Brennweite
 - ⇒ Nicht Laserstrahl bewegt sich => sondern Werkstück auf X/Y Achsen

- Geringe Rayleigh-Länge (Berechnung 4 µm)

Negative Auswirkung: Minimaler z-Bereich, in dem Ablation möglich ist (Rundlauf!)

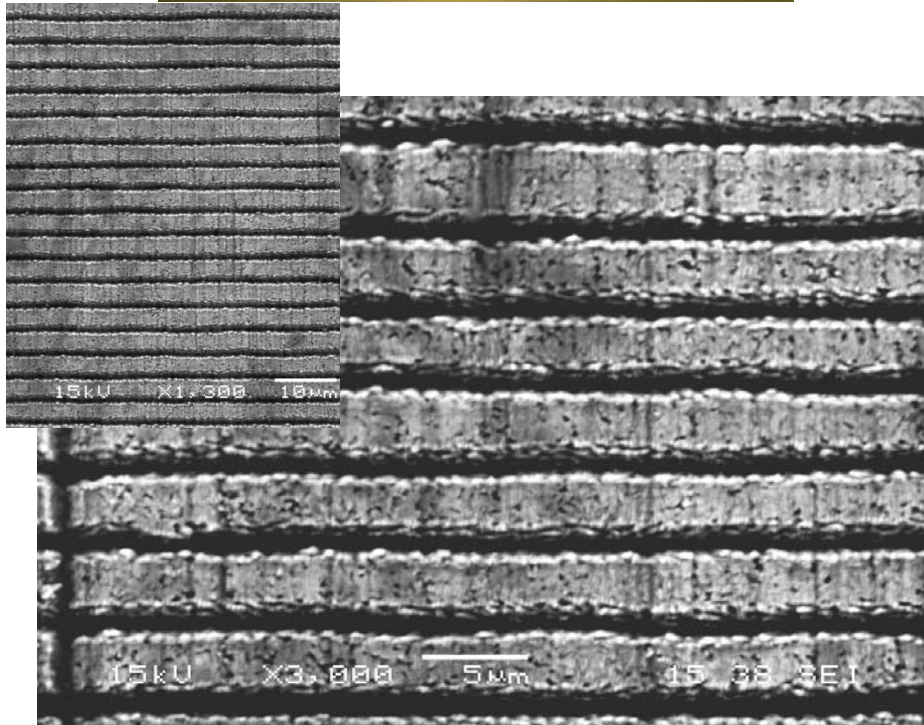
- ⇒ hochpräzise Achsen



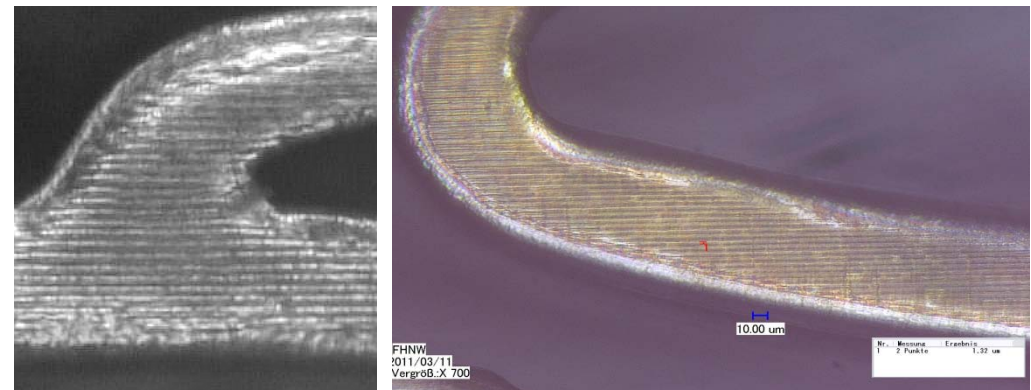
Linienbreite	1µm
Dorndurchmesser	1.57mm
Winkeländerung 4. A	0.073°
Anz. Linien	4'932
Linienlänge	20mm
Total Länge	ca. 100m

Resultate: Stents mit 1µm breiten Linien

Abformwerkzeug



Stent



Augentherapie mit Protonenstrahlen

- Protonenbestrahlung von Augentumoren
- Optis1 Anlage seit 1984 in Betrieb (Europas erste Anlage), seit 2010 Optis2
- Bis Ende 2010 >5000 Patientinnen und Patienten bestrahlt.
- > 98 Prozent Tumorwachstum definitiv gestoppt oder Tumor zum Verschwinden gebracht. In über 90 Prozent der Fälle konnte das tumorkranke Auge gerettet werden.

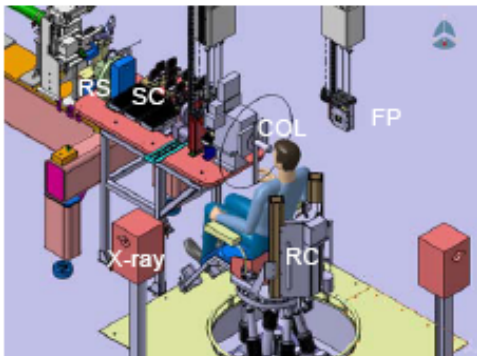
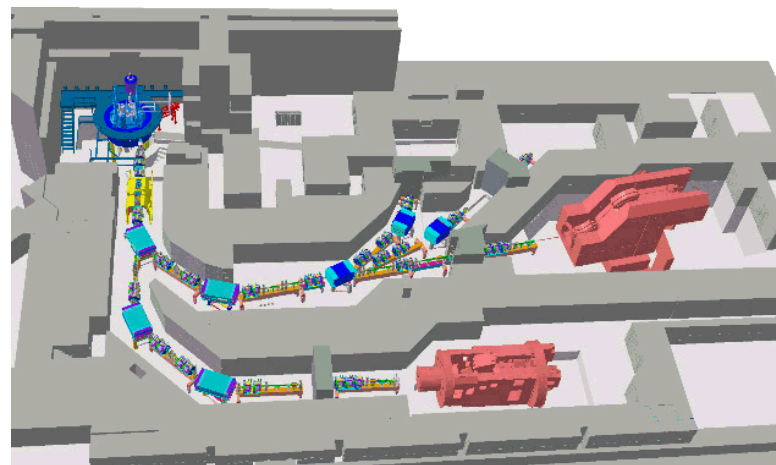
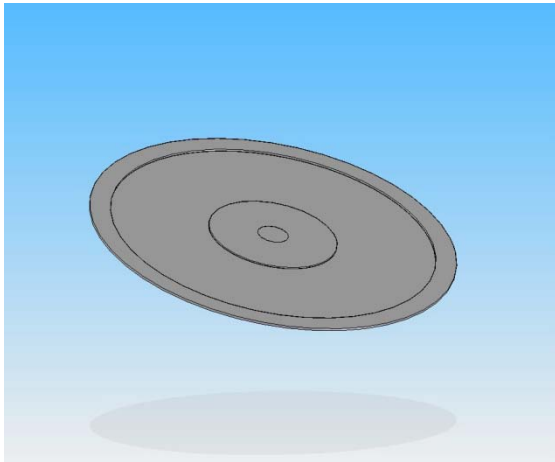


Abbildung 1: Konstruktionszeichnung des gesamten OPTIS2-Aufbaus (RS: Reichweiteschieber, SC: Streusystem, MW: Modulatorrad, FP: Flatpaneldetektor, COL: Kollimator und Fixierlicht, X-ray: Röntgenröhre, RC: Behandlungsstuhl)

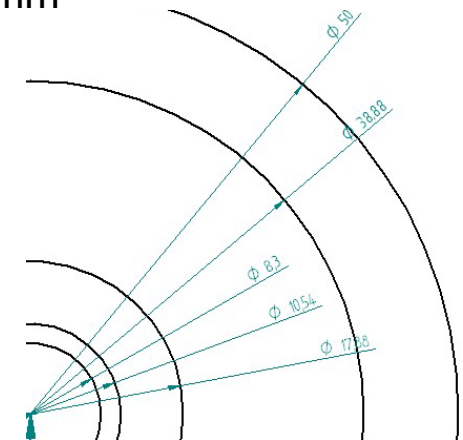
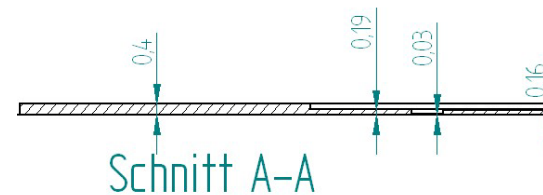


Proscan Layout mit COMET Zyklotron am PSI

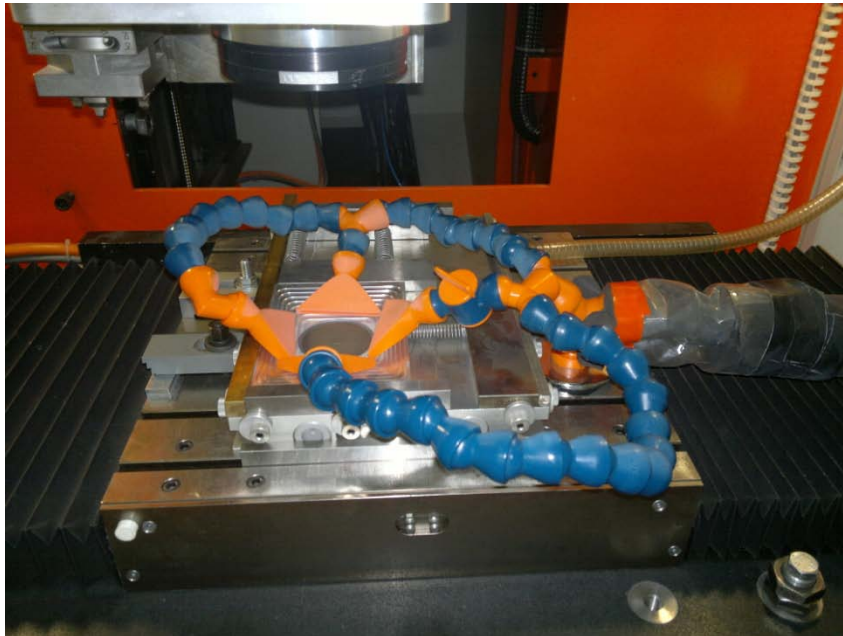
Produktion von Streufohlen für die Protonenbestrahlung



- Streufohle abgestimmt auf den Tumor des Patienten (Eindringtiefe der Protonen / Bragg-Peak)
⇒ Unterschiedliche Geometrien der Folien
- Material Tantal
(Bearbeitungsversuche mit Zerspanung und Elektroerosion sind gescheitert!)
Dichte 16,65 g/cm³
Schmelzpunkt 3290 K (3017 °C)
Siedepunkt 5731 K (5458 °C)
- Durchmesser 50mm / Dicke 0.5mm
- Ebenheit 0.01mm



Produktion von Streufolien für die Protonenbestrahlung



Aufspannung:

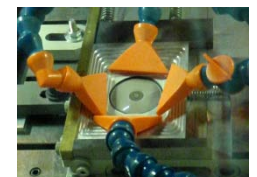
- Streufolie wird auf Vakuumplatte fixiert
- Abgetragenes Tantal wird über 4 Kanäle abgesaugt
- Periodische Masskontrolle
- Produktion über Nacht und Wochenende

Applikationsdaten Laser:

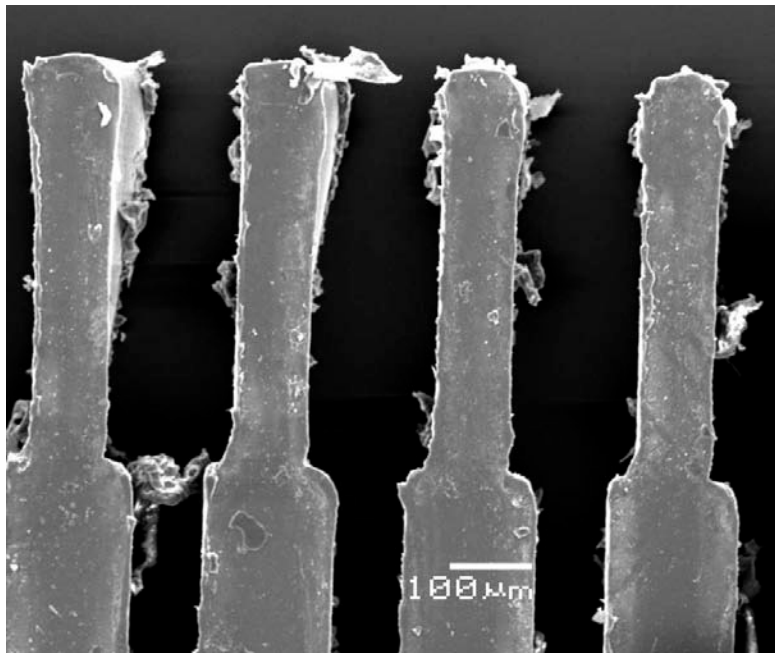
- Laser (Coherent DP20):

Wellenlänge	1064nm
Leistung	12.5W
Repetitionsrate	30kHz
Verfahrgeschwindigkeit	250mm/s
Objektivbrennweite	163mm
Spotdurchmesser ca.	30um
- Dicke der Laserschichten 0.0003mm
(>1000 Schichten)
- Laufzeit einer Folie: 60 - 100 Stunden je nach Design

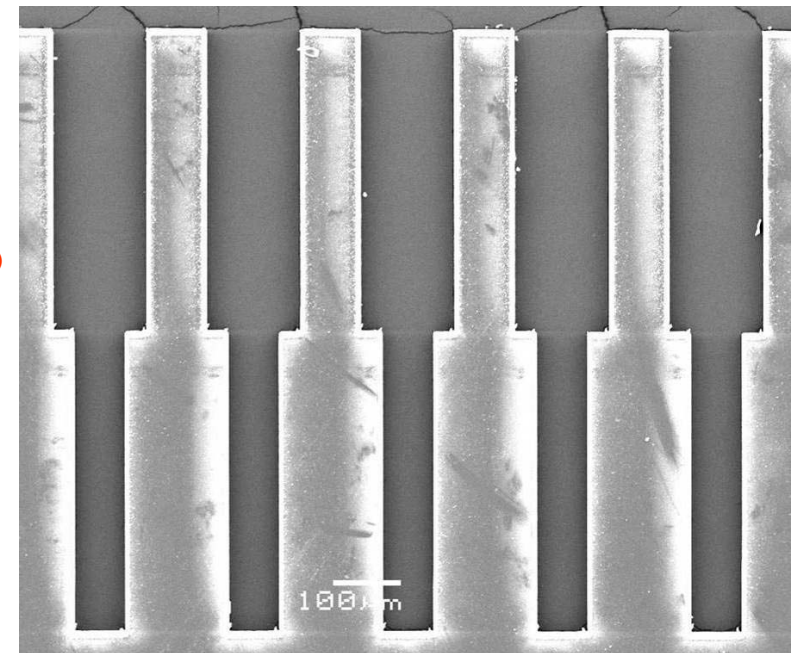
⇒ **Langzeitstabilität des Lasers**



Kunststoff in der 3D-Lasermaterialbearbeitung



nano ←→ pico



Pulslänge im Nanosekundenbereich

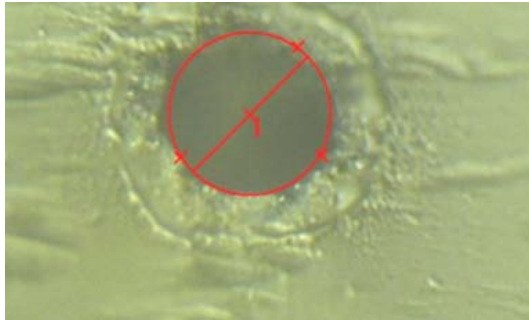
Pulslänge im Picosekundenbereich

- Kunststoffe reagieren völlig anders als Metalle!
- Der Wärmeeintrag durch den Laser muss in Grenzen gehalten werden (Kaltabtrag)
- Allzu hohe Repetitionsraten wirken sich negativ aus
- Strategien wählen, dass sich das Material abkühlen kann

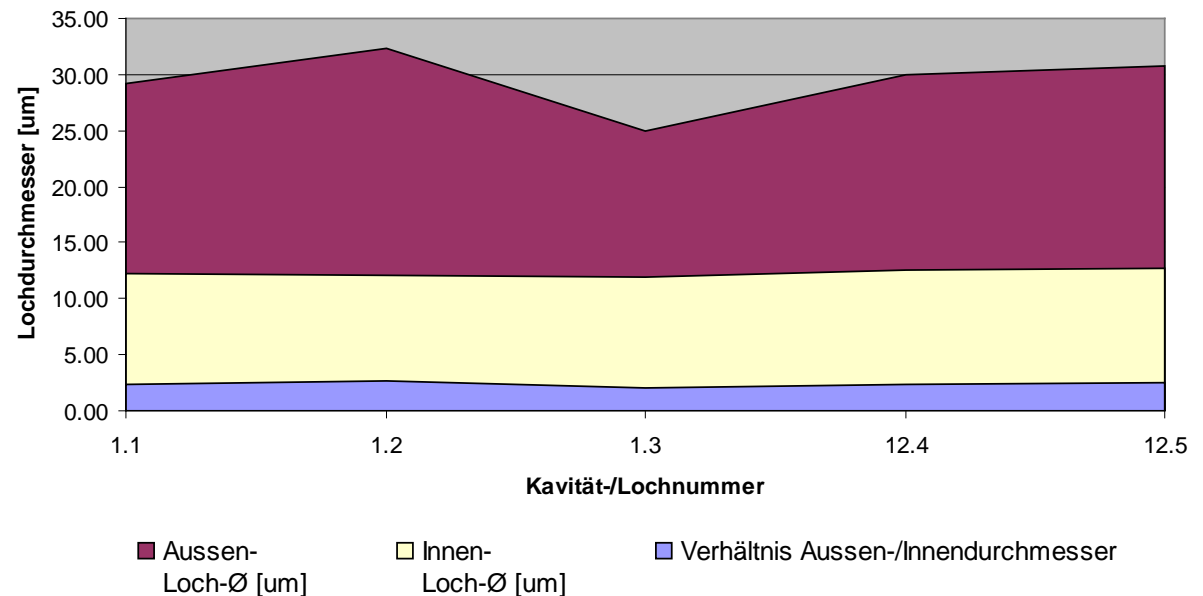
Löcher in Spritzgussteile für medizinische Analysen

Anforderungen:

- Löcher mit Durchmessern 8, 12, 15, 20, 30 (Austrittsdurchmesser)
- Materialdicke 300µm
- Toleranz des Austrittsdurchmessers beträgt $\pm 2\mu\text{m}$



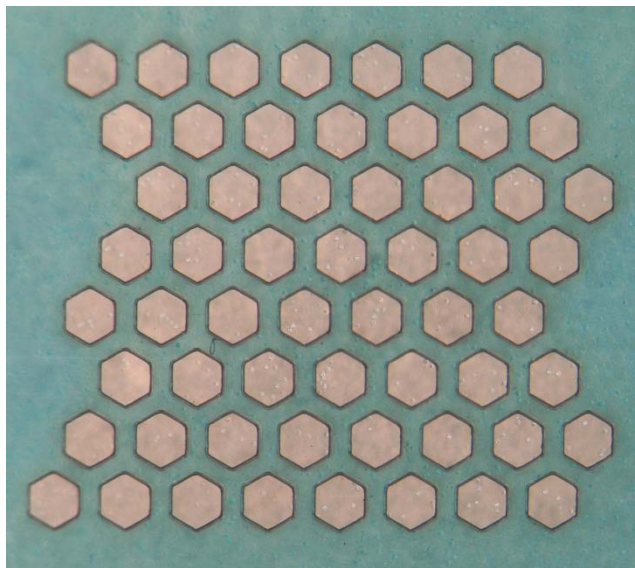
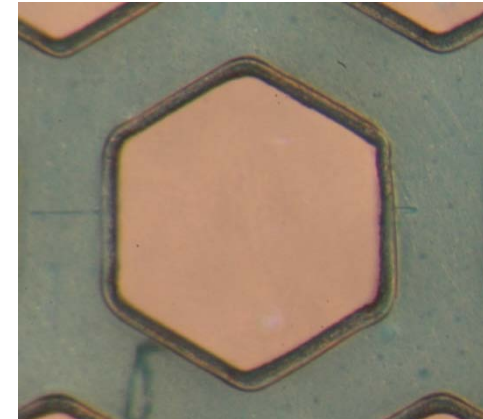
Vergleich Eintritts- / Austrittsdurchmesser für Lochdurchmesser 12mm



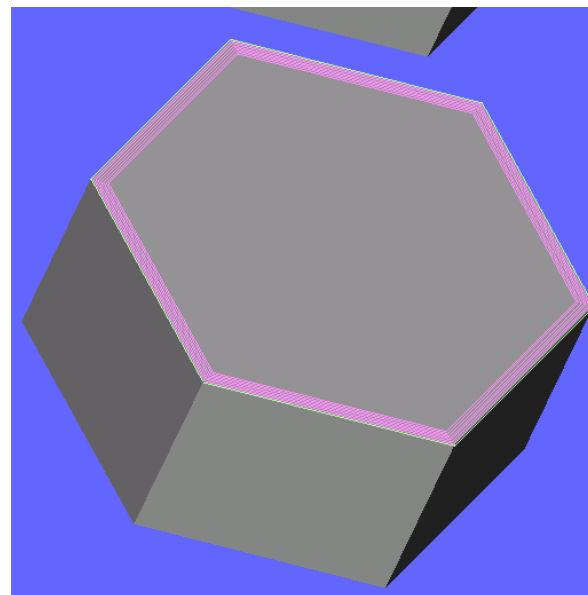
Mikrostrukturierung von Hochleistungspolymeren

Die Strukturierungsmethode muss folgende Dimensionen realisieren können:

- Lochdurchmesser 100-800 μm .
- Hochskalierung der Folien 100 x 100 mm (5'000 bis 10'000 Löcher)
- geringer Abstand (Rand zu Rand 100-500 μm)
- Optimierung der Packungsdichte/Effizienz (z.B. 3, 4 und 6-eckige Löcher)



Strukturgröße 300 μm

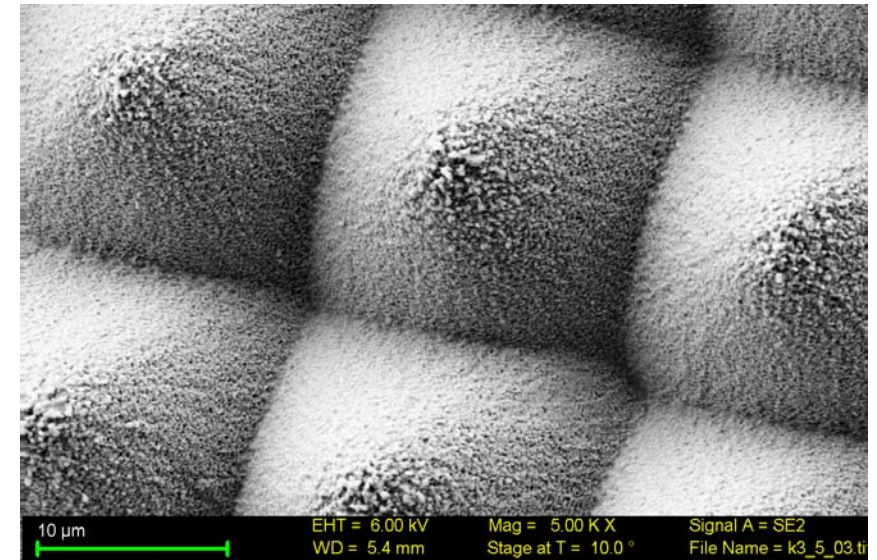
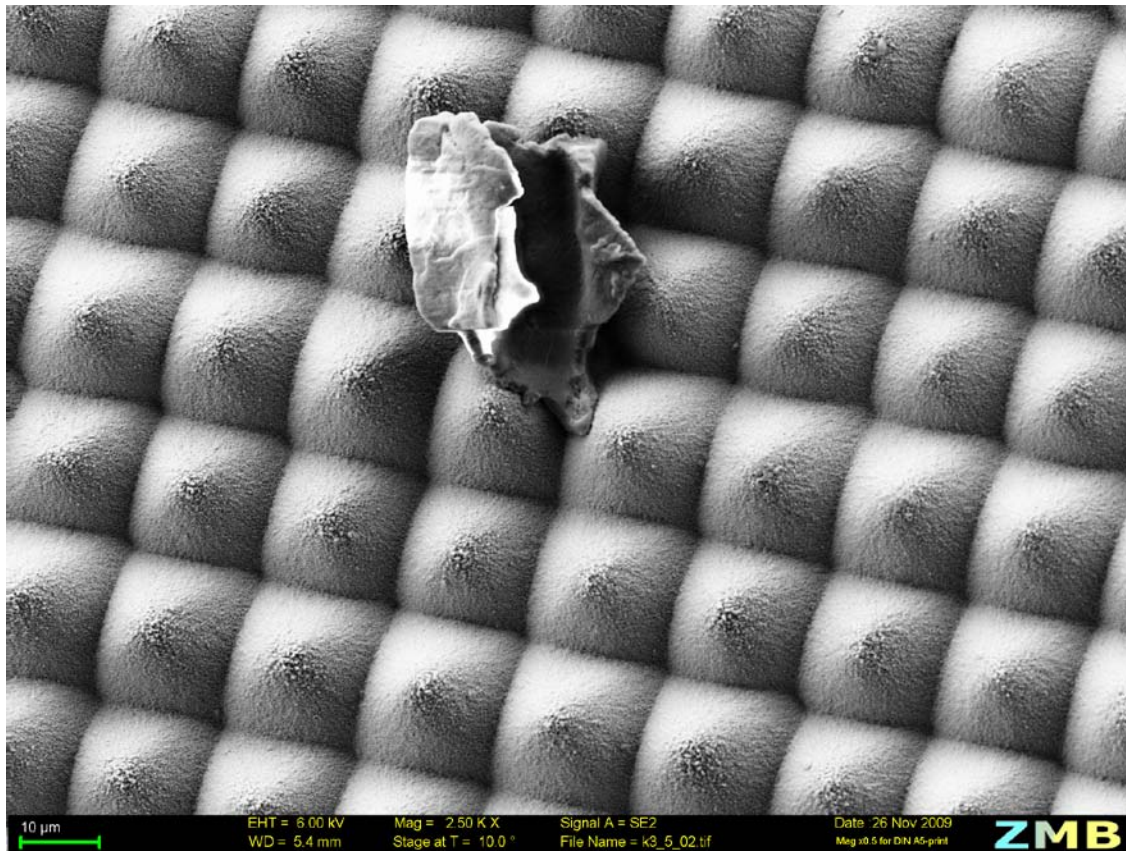


Bearbeitungsstrategie

Laserparameter:

Wellenlänge	355nm
Leistung	4.6 W
Pulsenergie	46 μJ
Repetitionsrate	100 kHz
Pulspicker	1
Burst	1
Vorschub	300 mm/s
Optik Brennweite	250 mm

Strukturen in Keramik mit ps Laser (Zirkonoxyd)



Anforderungen:

- enossale Oberfläche von Implantaten
- 3-D Strukturen mit Seitenlänge 15µm
- Strukturhöhe 10µm
- Rauigkeit der Oberfläche 0.1 bis 1µm

Zusammenfassung und Ausblick

Anforderungen der Kunden:

- klein, kleiner \Rightarrow noch kleiner / genau, genauer \Rightarrow noch genauer
- Bearbeitung von Kunststofffolien mit Strukturen und Löchern
- Strukturen Photovoltaik
- Hightech Materialien (Wolfram, Hartmetalle und Beschichtungen, Peak, Keramiken, Glas, ...)

Anlage:

- Anlage muss thermisch stabil sein (Bearbeitungszeiten sind teilweise lang)
- Strahlqualität und Langzeitstabilität des Lasers unerlässlich
- Strahlführung und Scanner müssen "top" sein
- hochgenaue mechanische Linearachsen

Prozess:

- Prozessparameter sind entscheidend für die Qualität
- Oberflächengüte des Ausgangsmaterials muss sehr gut sein, Fehler werden bis in tiefere Schichten übertragen
- CAD File resp. STL File muss eine gute Auflösung haben

Vielen Dank für Ihr Interesse

Diskussion

Fragen?

...