
Design und Herstellung von Mikrofräsern mit Innenkühlung



Mikrofräser z3, D =1.5 mm

Gallus Zosso

h e p i a

**Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève**



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

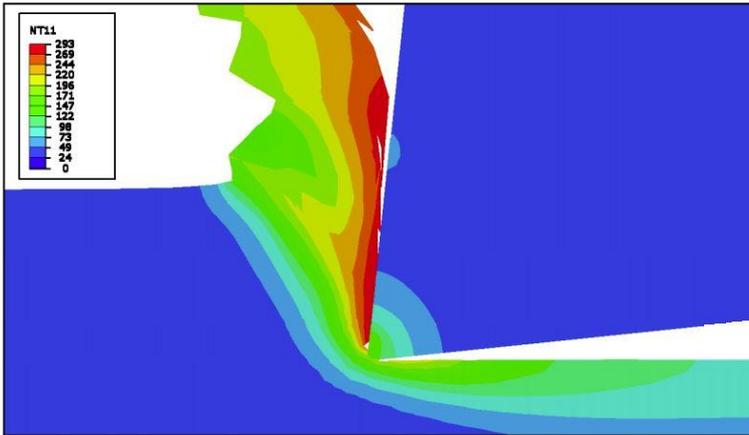
Kommission für Technologie und Innovation KTI



- 10 Personen in Teilzeit
- 2 Jahre

PATENT PENDING
EP3741500A1

- I. Schmierung : Stand der Technik
- II. Schmierung durch die Mitte des Werkzeugs: Lösungsvorschlag
- III. Herstellungsverfahren – LASER-Bohren
- IV. Bearbeitungsergebnisse



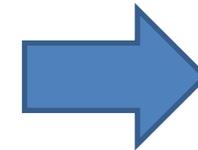
Warum und wie schmieren?

Schmieren/Kühlen für:

- Evakuierung der Späne
- Schmierung/Kühlung der Schneidfläche
- Kühlung des Werkzeugs

An der Werkzeugschneide/Spitze:

- Stösse, Schläge
- Vibrationen
- Erwärmung



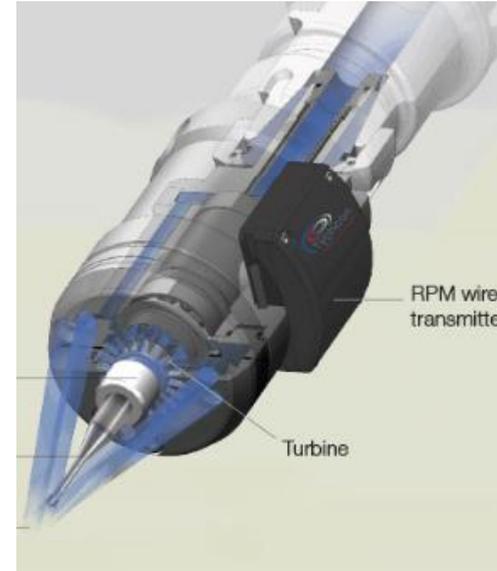
Abnutzung !!!

Zufuhr der Schmierflüssigkeit über die Werkzeugspitze !

Schmiermittel



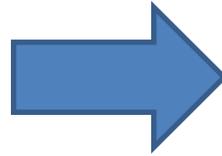
Klassische Schmierung/Kühlung



Schmierung/Kühlung durch die
Werkzeughalterung

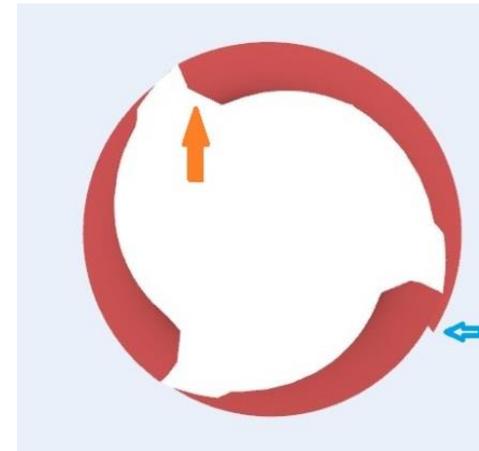
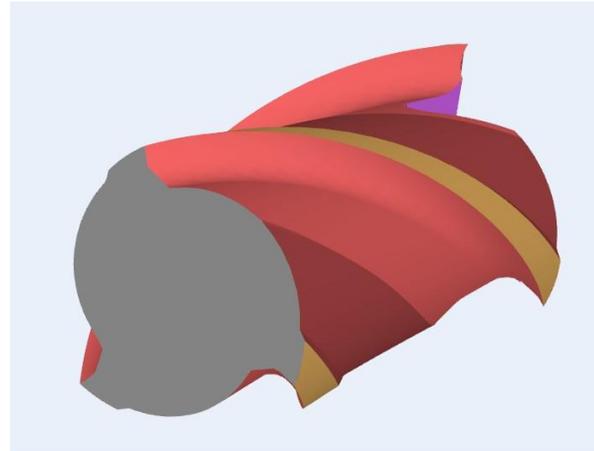
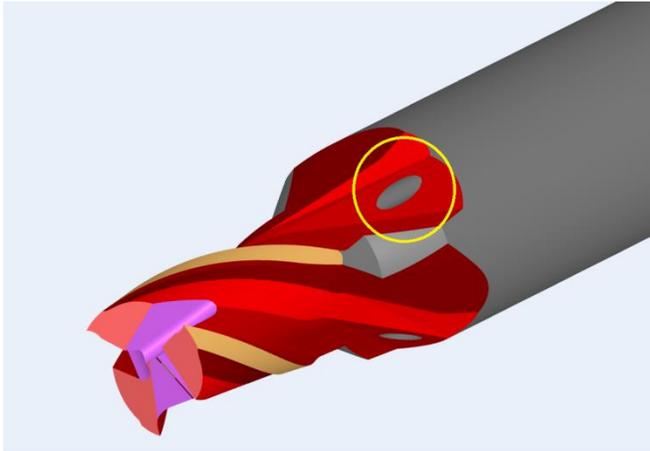
Werkzeugspitze beim Nutenfräsen bedeckt !

Idee: Schmierung durch die Mitte



- Keine Schnittfunktion mehr in der Mitte des Werkzeugs
- Unbrauchbar beim Seitwärtsfräsen

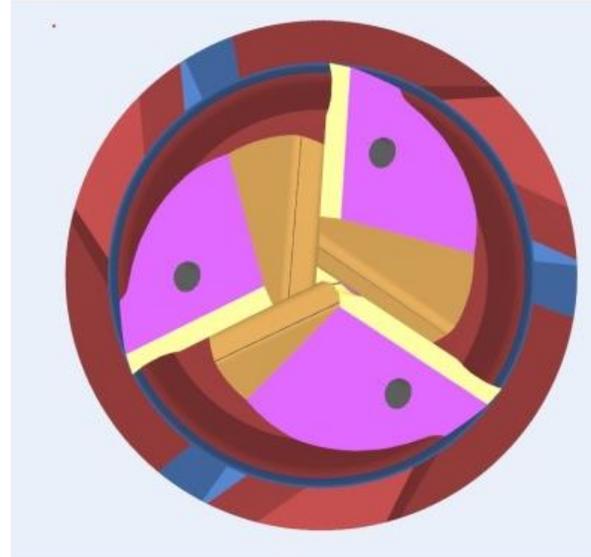
Idee: Schmierung durch den Kegel



Nuten und Taschen

- Werkzeugspitze durch das zu bearbeitende Werkstück verdeckt
- Werkzeugspitze verdeckt durch das Werkzeug selbst (3D)
- Zentrifugalkraft bewegt die Schmierflüssigkeit vom Schneidbereich weg
- Schmiermittelfluss gegen den Spänefluss

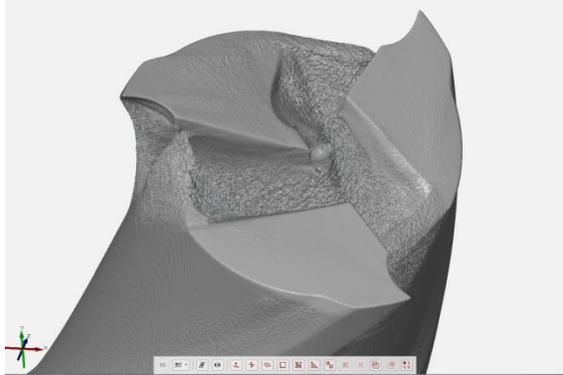
Idee: Schmierung durch die Mitte der Zähne, wie bei den Bohrern



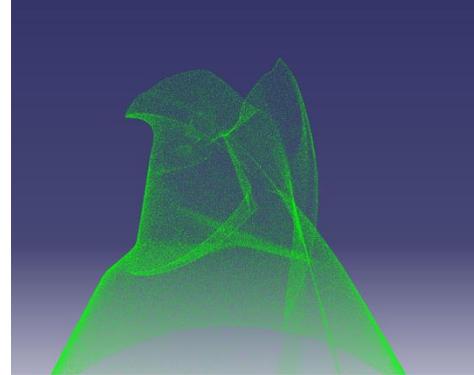
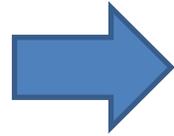
Deutlicher Rückgang bei :

- Biegefestigkeit
- Torsionswiderstand
- Ermüdungsbeständigkeit

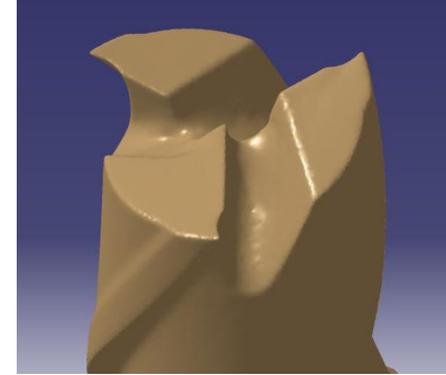
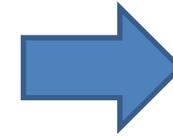
Finite-Elemente-Simulation



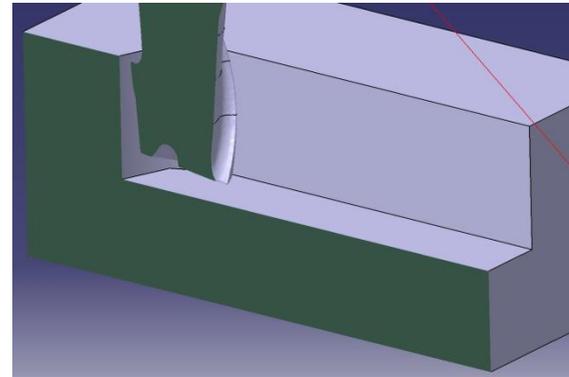
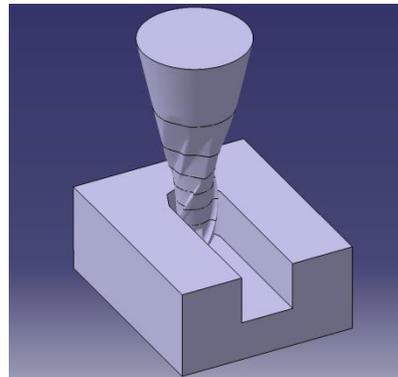
CT-Scanning des Fräasers



Importieren der stl Datei

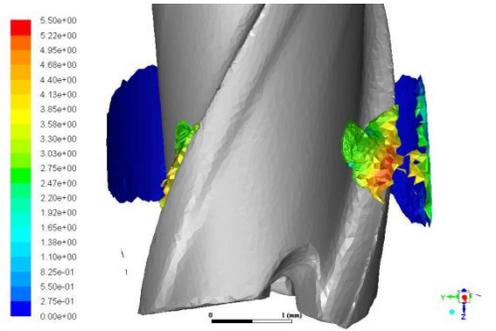


Punkt-Maschennetz

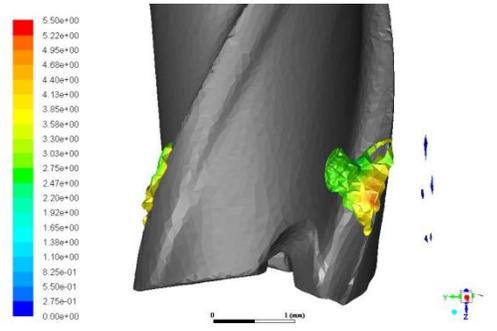


Simulationsbedingungen

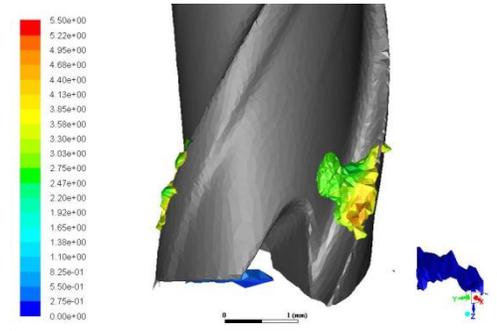
Finite-Elemente-Simulation



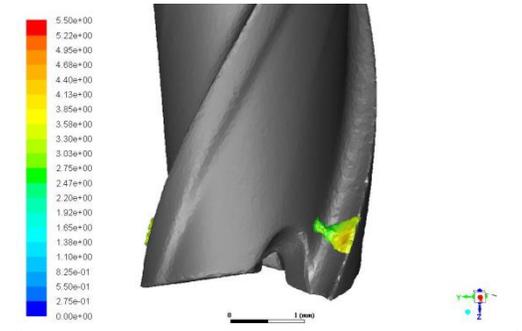
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



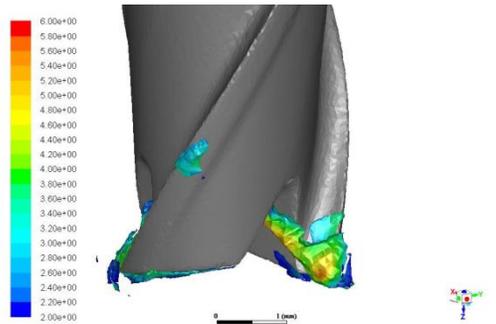
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=3.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



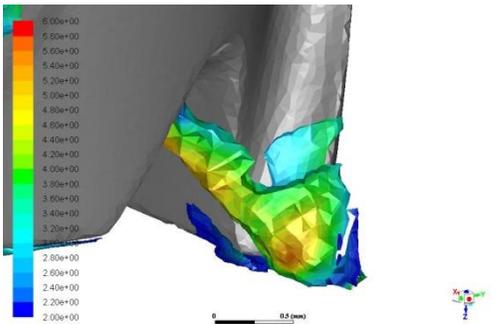
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=6.0000e-03)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



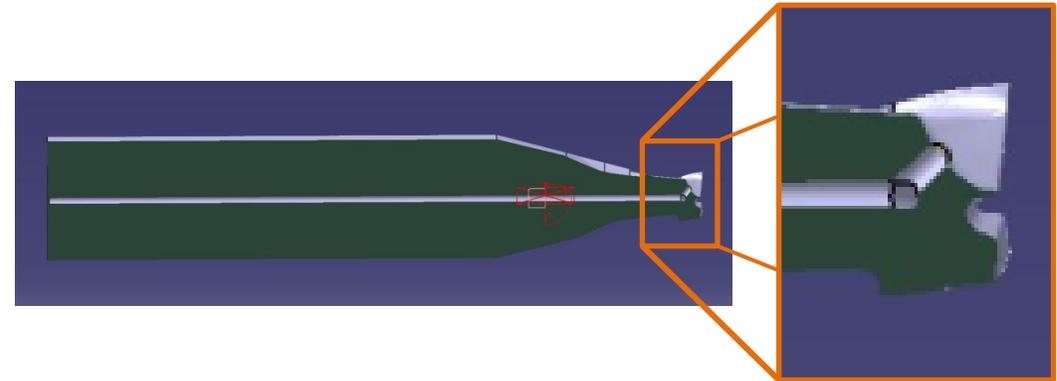
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.0000e-02)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



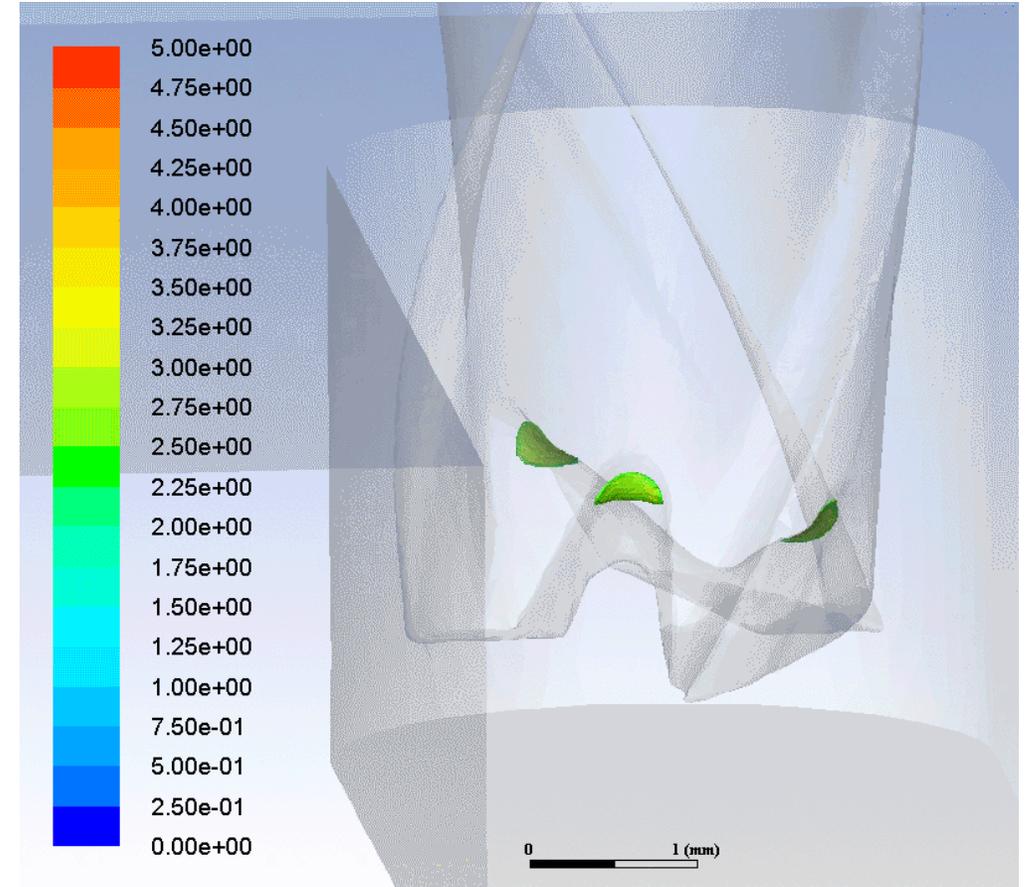
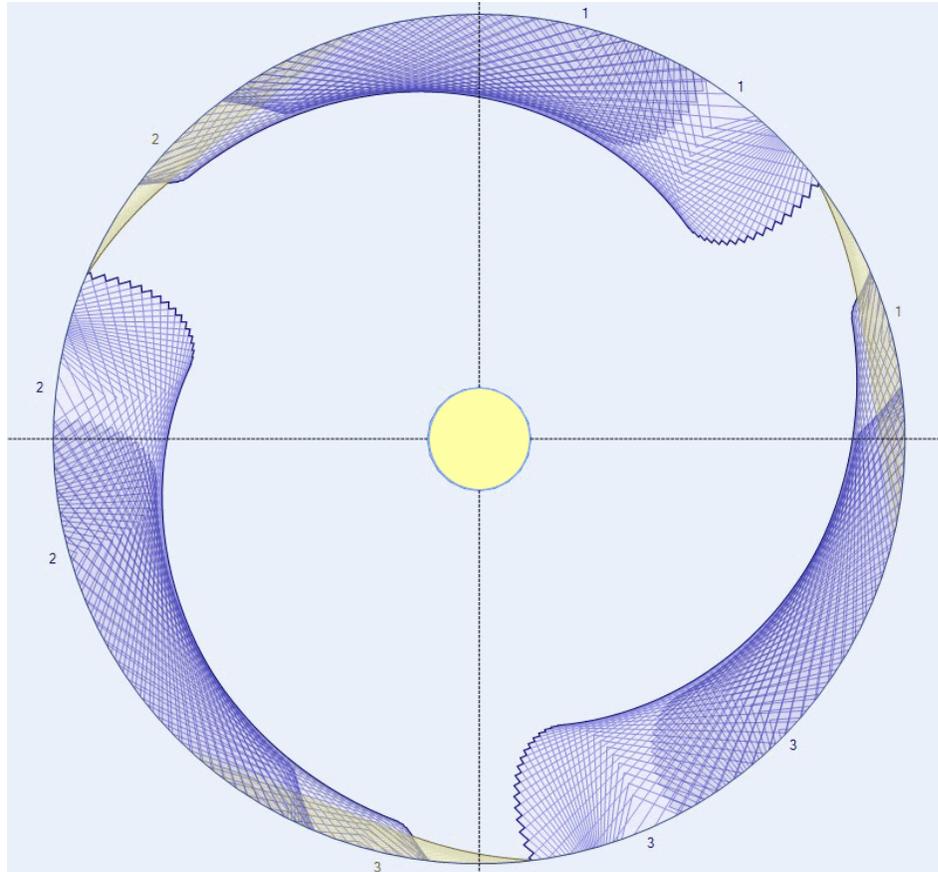
Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.3750e-02)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



Contours of Velocity Magnitude (mixture) (m/s) (Time=1.3750e-02)
ANSYS Fluent Release 17.2 (3d, dp, pbns, vof, sstkw, transient)



Finite-Elemente-Simulation



Nachweis von Verformungen

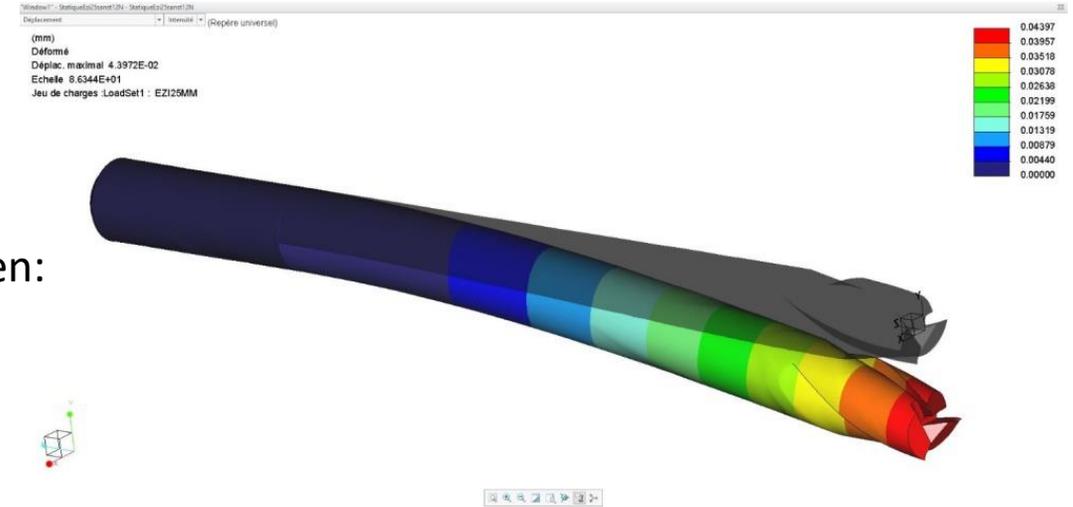
Verwendetes Material E25UF; Eigenschaften:

- Elastizitätsmodul (E): 594 GPa
- Schubmodul (G): 241 GPa
- Poisson-Koeffizient: 0,24

Durchbiegung und Torsionswinkel, verwendete Gleichungen:

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_z} \quad I_z = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad I_z = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

$$\alpha = \frac{M \cdot L}{G \cdot I_0} \quad I_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad I_0 = \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 - d^4)$$



Ergebnis aus Durchbiegung und Torsionswinkel, ohne und mit Schmierkanal:

	Berechnungen		CAD	
	Ohne Kanal	Mit Kanal	Ohne Kanal	Mit Kanal
Durchbiegung (mm)	0.044	0.044	0.04397	0.04401
Winkel (°)	0.013	0.013		

Herstellungsmethoden

Herstellung eines zentralen Sacklochs

Durchmesser: 0,3 mm
Länge: ~ 37 mm



Bohren auf gesintertem HM:  Nicht möglich
Bohren auf vorgesintertem HM:  Nicht möglich

Extrusion:  **Einfach**

Erstellung von Seitenkanälen

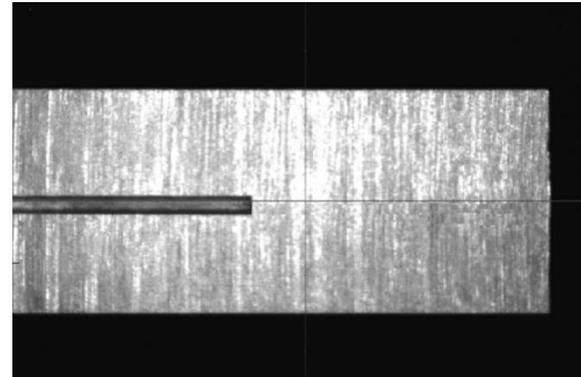
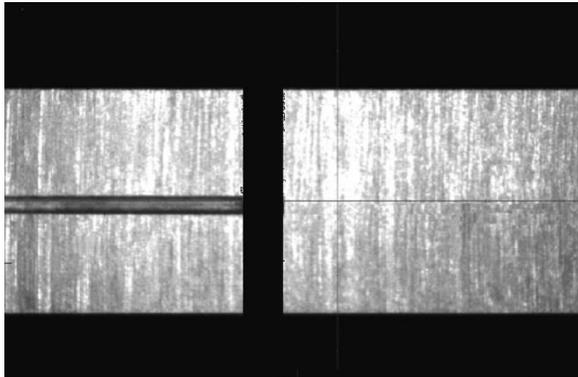
Durchmesser: 0,05 bis 0,3 mm
Länge: 0,15 bis 1,5 mm



Bohren auf gesintertem HM:  Nicht möglich
Bohren auf vorgesintertem HM:  Möglich

Funkenerosion:  Schwierig (thermische Einwirkung!)
Laser  **Ideal**

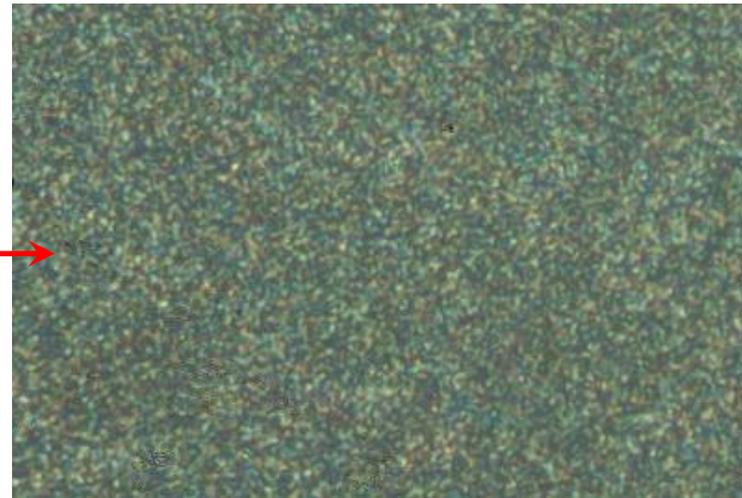
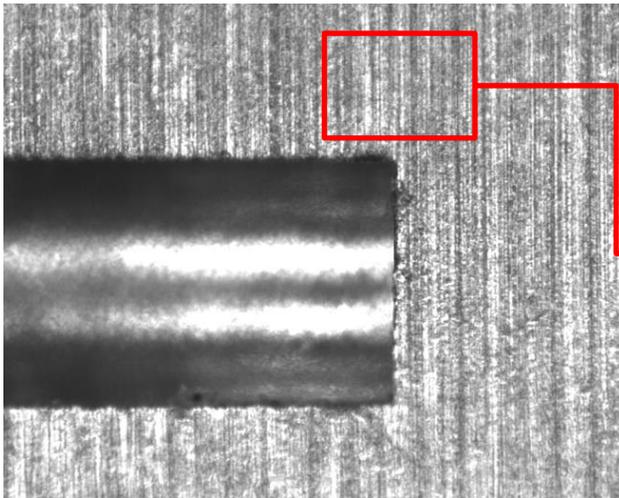
Kappen-zu-Rohr-Sintertest



Extrudierter Rohling mit Loch im Zentrum $D = 3,3 \text{ mm}$
 $d = 0,3 \text{ mm}$

Kappe $D = 3,3 \text{ mm}$ $L \sim 5 \text{ mm}$

Zusammenführung durch Schmelzen bei der
Temperatur des Eutektikums
 $\text{WC} / \text{C} / \text{Co}$ ($\sim 1400^\circ$)



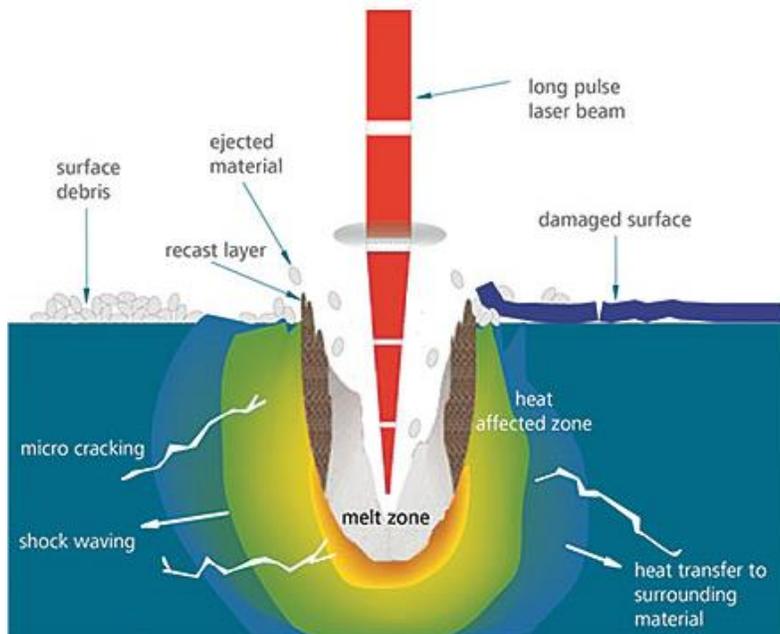
Murakami 1500 x

- Mangel an sichtbarer Schnittstelle
- Keine Kornvergrößerung
- Keine Versprödung
- Einheitliche Struktur (Monobloc)

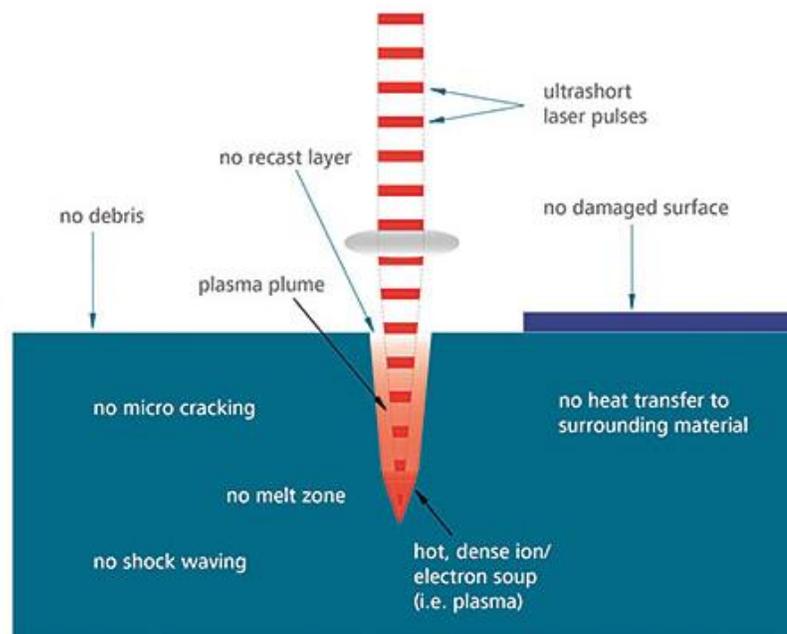
LASER-Bohrung



Application with long pulse laser (e.g. μs)



Application with ultra short pulse laser (e.g. fs)



Unterschied zwischen Langimpuls- und Kurzimpuls laser

Quelle: <https://lenoxlaser.com/blog/what-is-laser-drilling/>

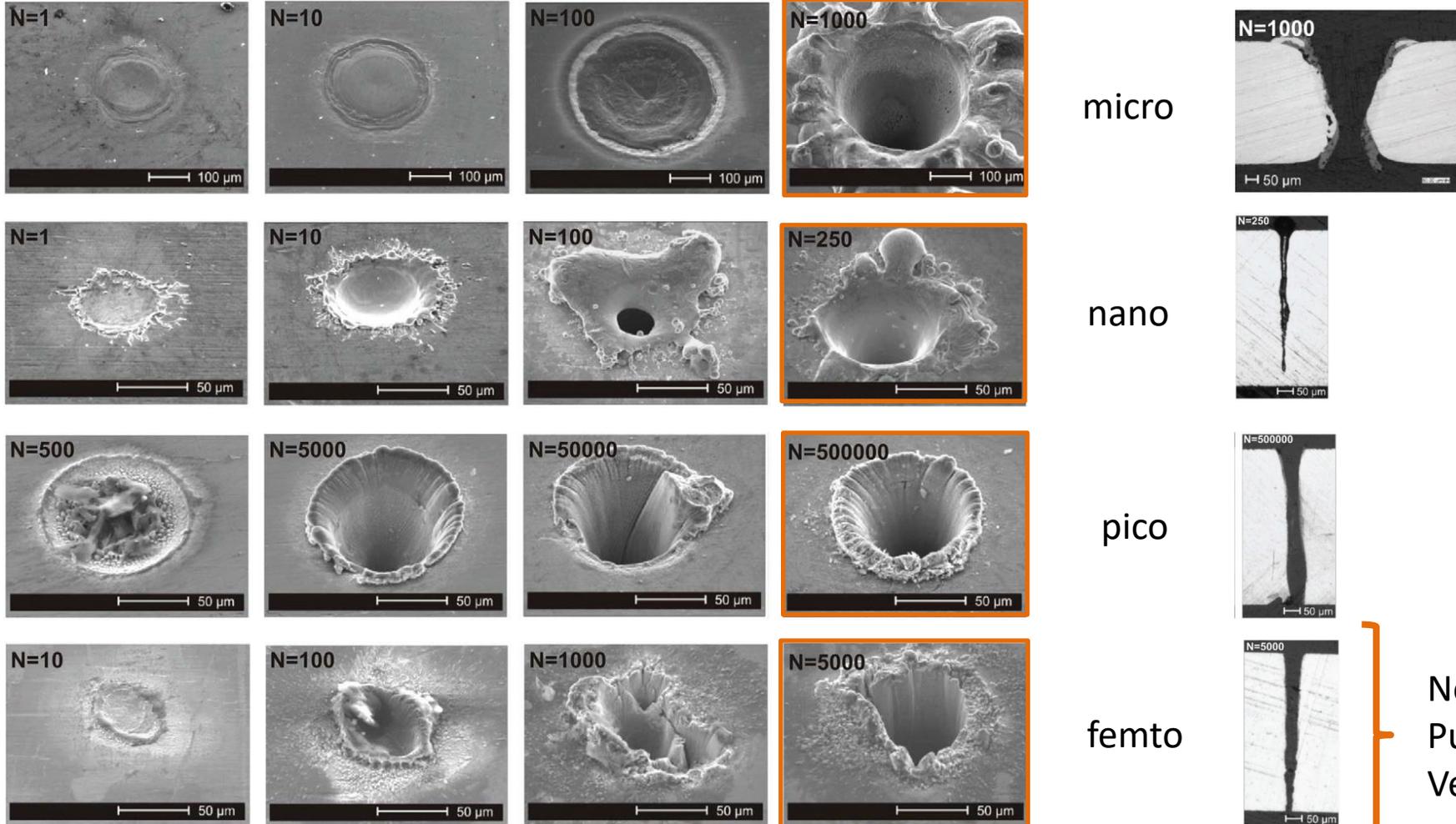
LASER-Bohren

- Gewalttätiger Prozess
- Verschmelzung von Materialien
- Verdampfung
- Oberflächenumlagerung
- Bildung von Mikrorissen

LASER-Einstellungen

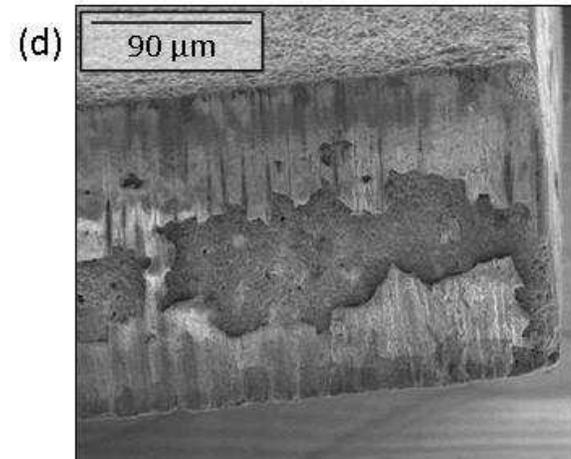
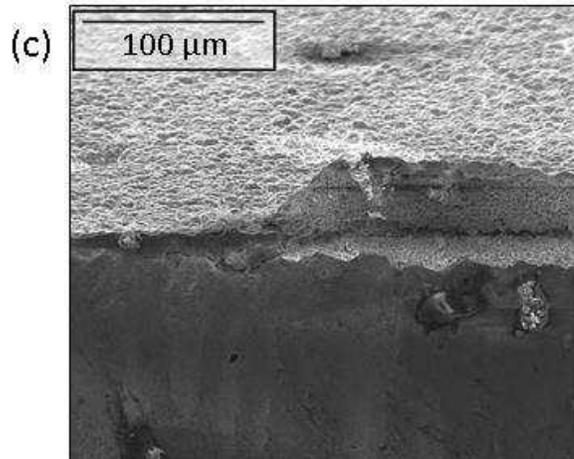
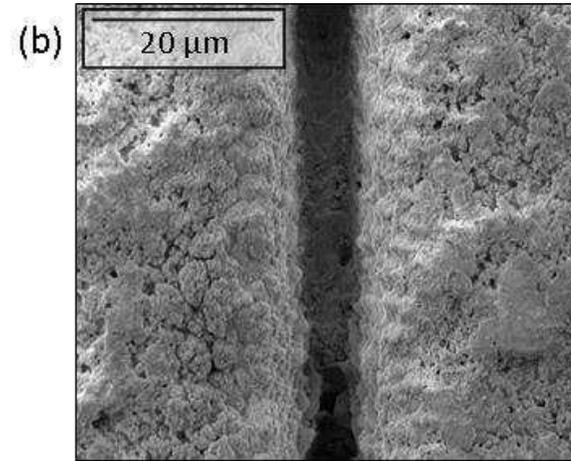
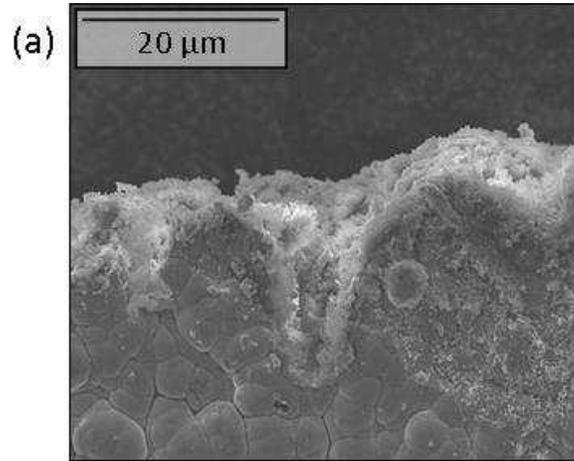
- Impulsdauer
- Impulsfrequenz
- Leistungsstärke
- Wellenlänge

Schmierung durch die Mitte des Werkzeugs: LASER-Bohrung



Metal Ablation with Short and Ultrashort Laser Pulses
 Physics Procedia 12 (2011) 230–238

Notwendigkeit, in ultrakurzen
 Pulsen zu bohren:
 Verwendung eines Femto-LASERS



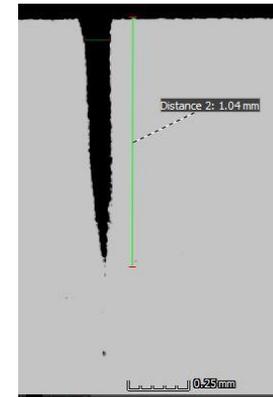
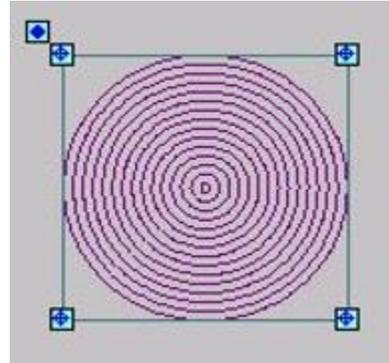
Fehler bei der Laserbearbeitung

- (a) Unregelmäßige Schnittkanten.
- (b) Oberflächenablagerungen.
- (c) Abhebung der Schicht
- (d) Abplatzen von Kanten.

Lösung

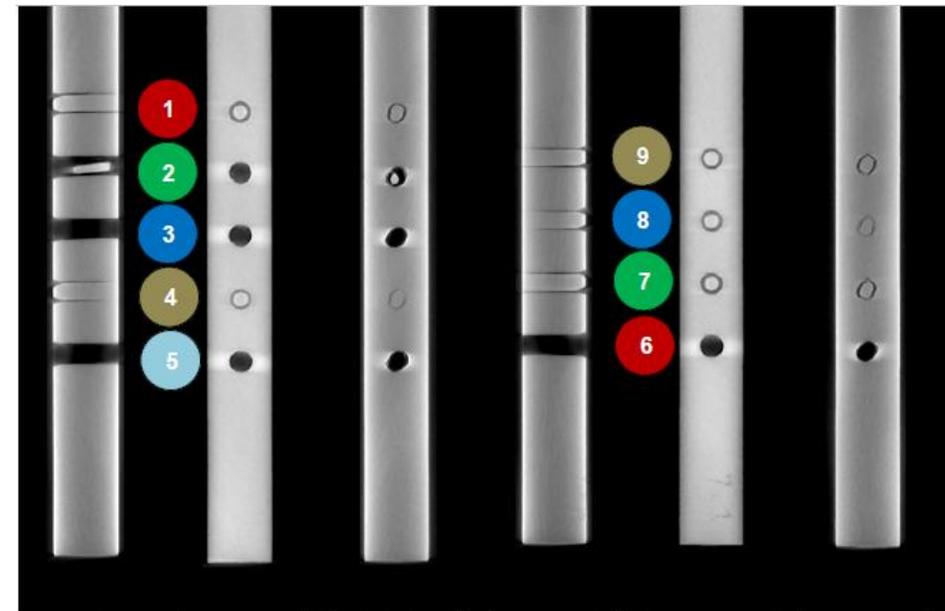
Anpassung der Frequenz an die Hartmetallsorte

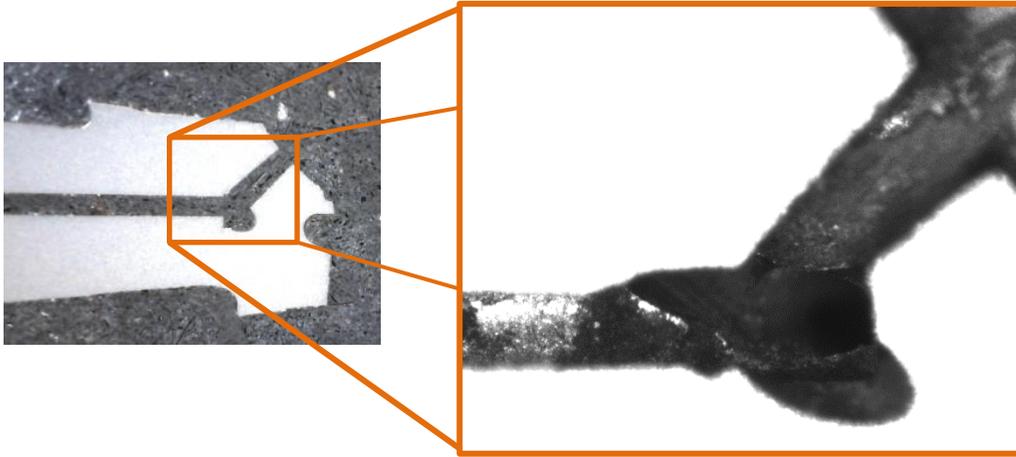
Kern- und Trepannung-Bohrversuche.



Tomographie eines Stabes HM E25UF

- HM-Stangen 1 mm * 1 mm * 10 mm
- Durchmessermessungen am Ein- und Austritt der Bohrung
- Analysen durch Tomographie. Form, Länge.

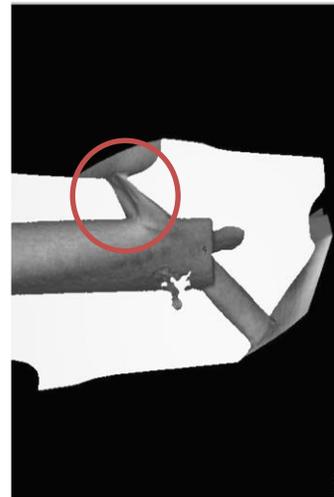
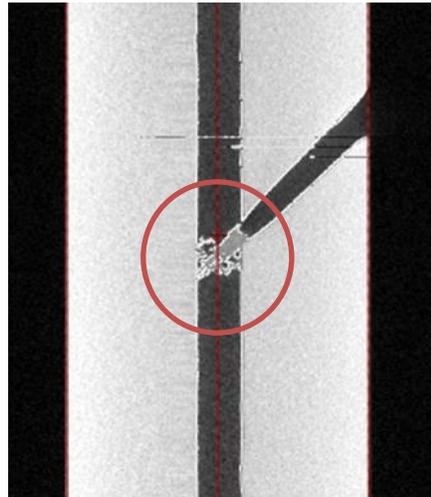




Bohren nach dem Schneiden

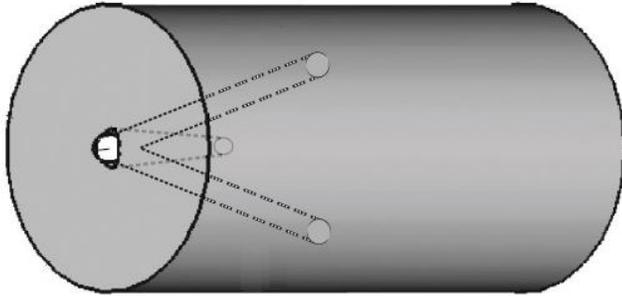
Aufgetretene Probleme

- Kondensation von Metalldämpfen in der Kaltzone
- Auftreten eines Plugs im Zentralkanal oder in den Nachbarkanälen.
- Gefahr des Herausragens des Lochs



Schlussfolgerung

- Verbesserung durch auswischen / Absaugen von Metalldämpfen.
- Insgesamt sehr schwer Löcher ohne Einlagerungen zu bekommen
- Jeder Kanal muss einzeln kontrolliert werden.
- Kostspielige Methode.



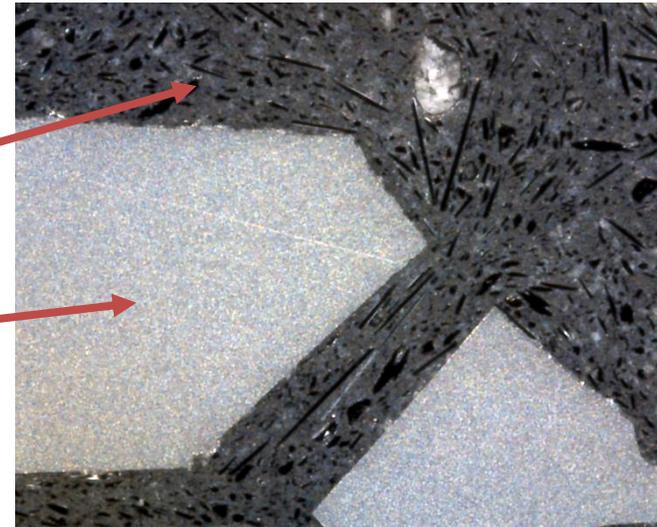
Bohren vor dem Schneiden

- LASER-Bohren Des Sacklochkanals
- Zusammenfügung durch Höchsttemperatur
- Schneiden des Fräasers



Bakelit

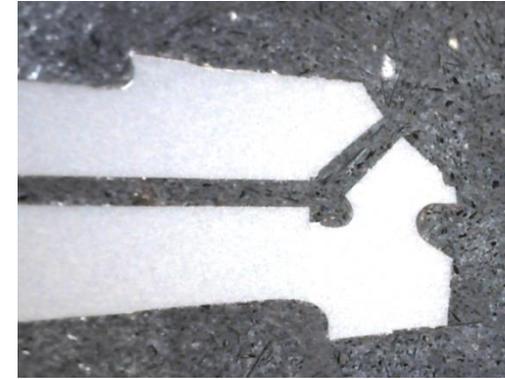
Hartmetall



Mikrofräser z3
D = 2,5 mm
d = 0,24 mm
Murakami



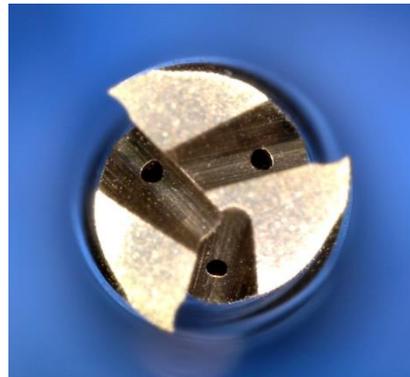
Schneiden des Mikroschneiders (d = 1 mm)



Bohren des Kanals mit LASER



D = 2.5 mm



D = 1.5 mm

- Fixer Zentralkanal
- Laserbohrdurchmesser passend zum Werkzeugdurchmesser $\sim 0,1 * D$

Schmierung aus der Mitte mit Schneideöl

- Erhöhte Leistung für große Schnitttiefen.
- Erhöhte Lebensdauer.
- Erhöhter Spänefluss.
- Effizientes Kühlmittel unabhängig von der Geometrie des Werkstücks.

Schmierung aus der Mitte mit überkritischem CO₂

- Geringer CO₂-Verbrauch aufgrund der kleinen Kanäle im Schnittbereich.
- Wenig/keine Reinigung der Teile.
- Einfaches Spänerecycling.
- Verwendung von recyceltem CO₂.
- Neue Bearbeitungspotentiale.

Druck [Bar]	Durchfluss [ml / min]
60	200

Fräser Ø1.0 (mm)

Druck [Bar]	Durchfluss [l / min]
110	23



Maschinen

- DMU-80
- Bumotec S191H

Schmiermittel

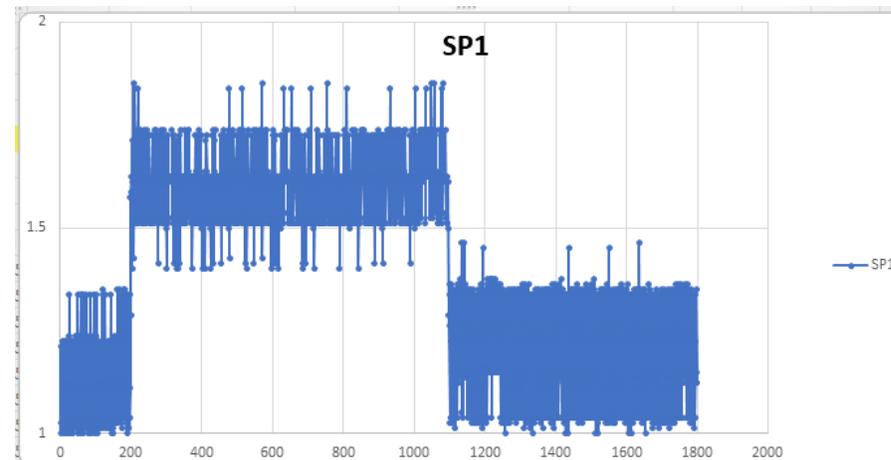
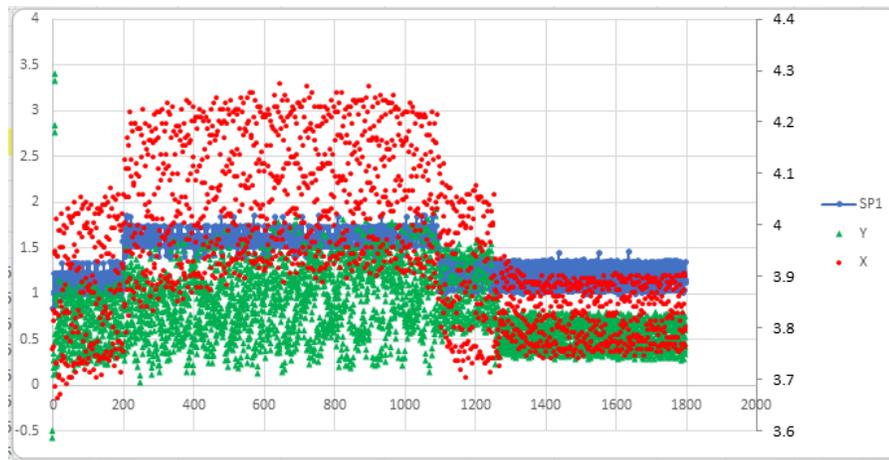
- Emulsion 5%
- Schneideöl max. 100 bar
- Überkritisches CO2 100 bar + 1 ml/min Öl

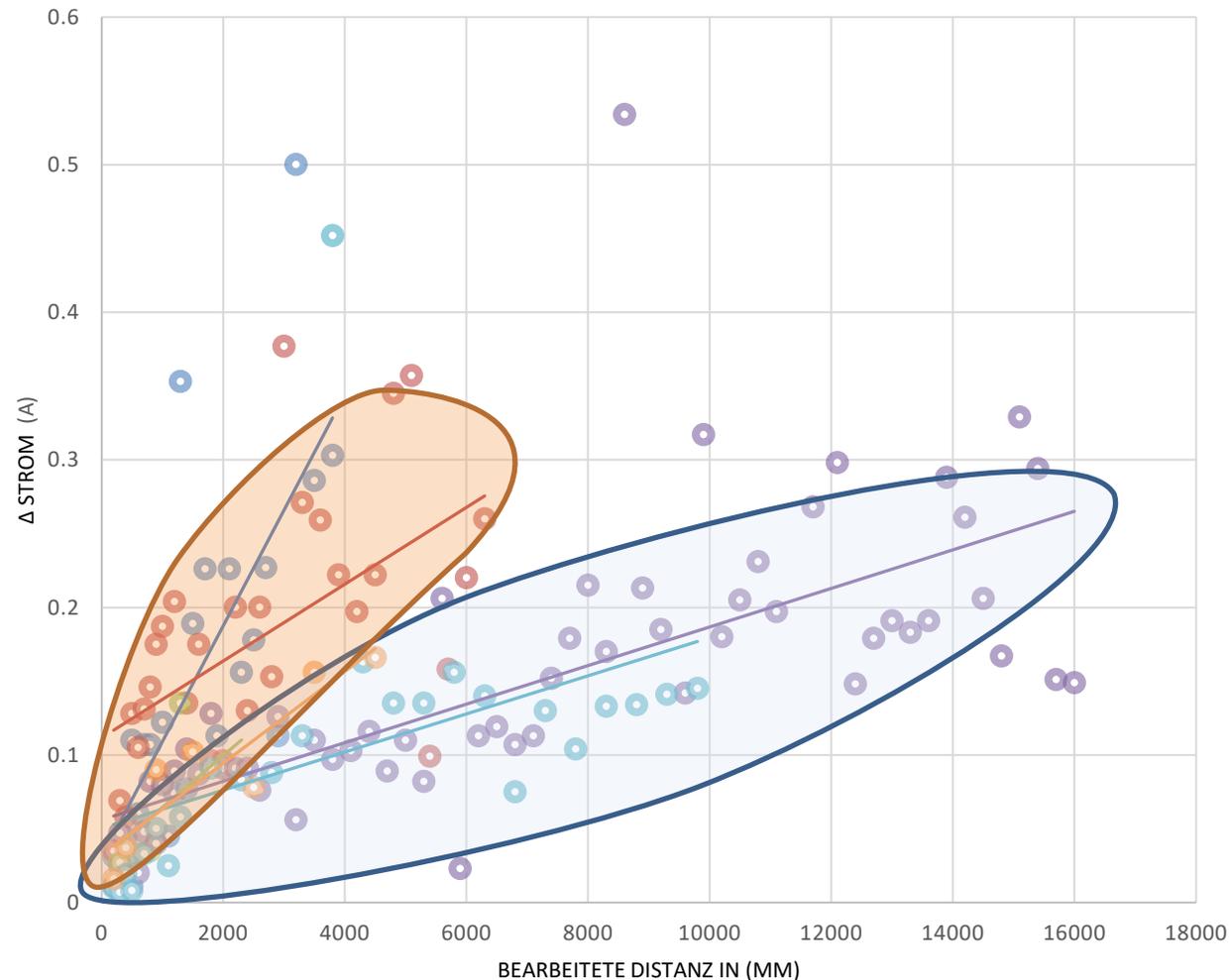
Werkzeuge

- Gleiche Losnummern bei den Rohlingen
- Simultanes Schneiden., Gleiche Maschine
- Beschichtung: Gleiche Charge

Messmethoden

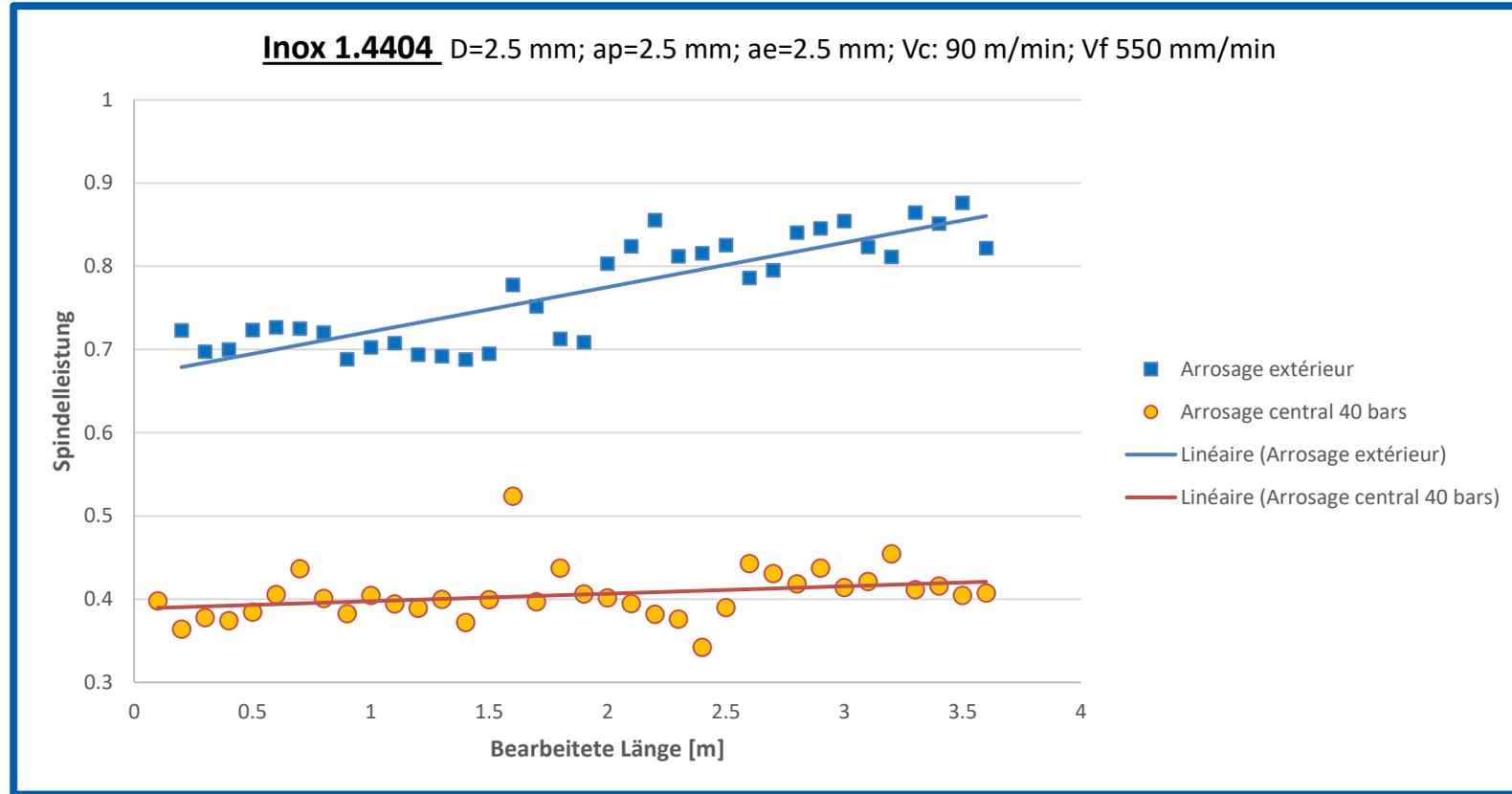
Erfassung von Strömen an Achsen und Spindel



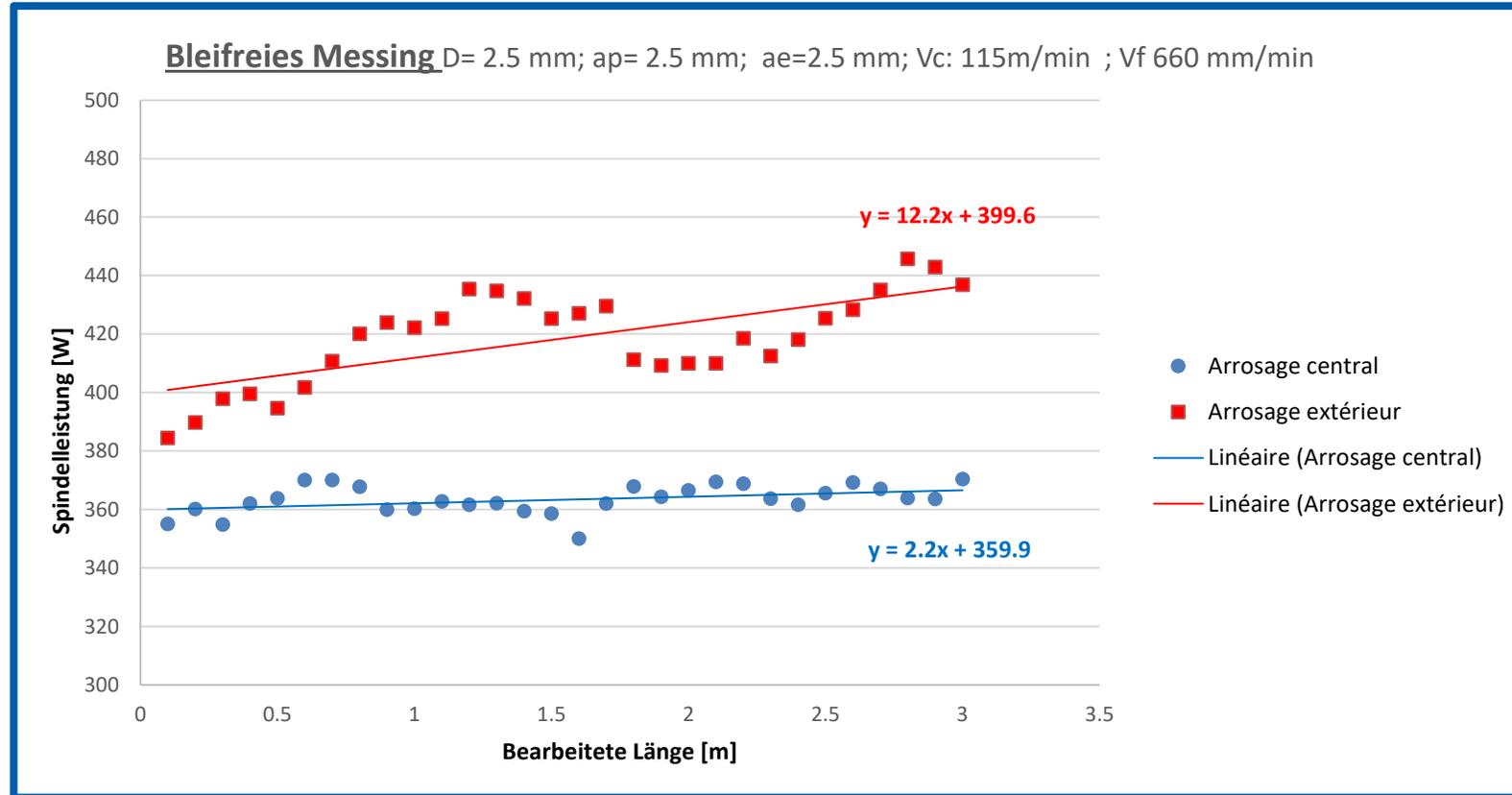


1.4404

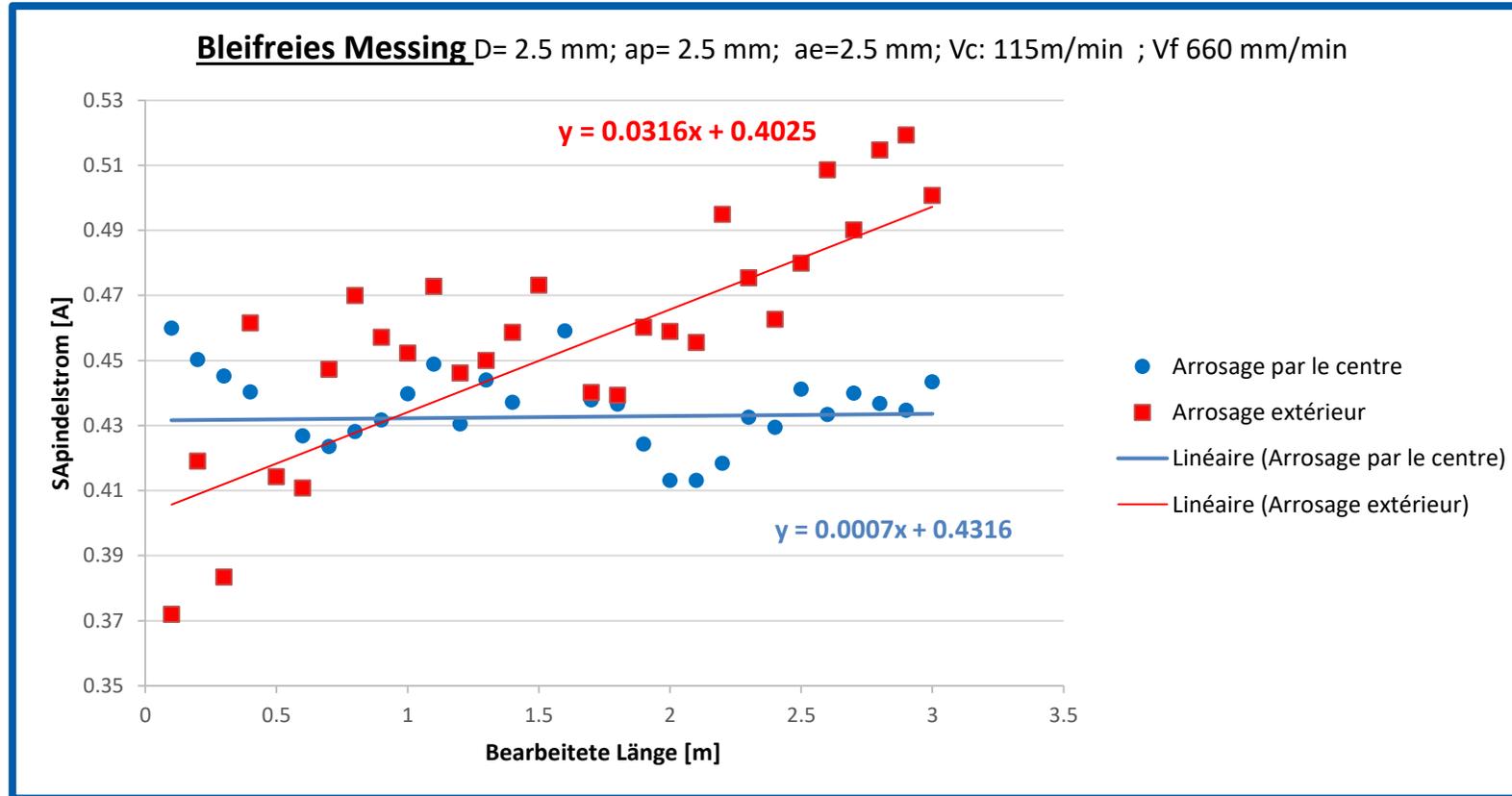
- Emulsion aus der Mitte allein oder von außen.
- Schaftfräser D = 1 mm, z3, unbeschichtet
- $A_e = 1,0$ (mm)
- $A_p = 0,5$ (mm)
- $V_c = 40$ (m/min)
- $F_z = 0,002$ (mm / Zahn)



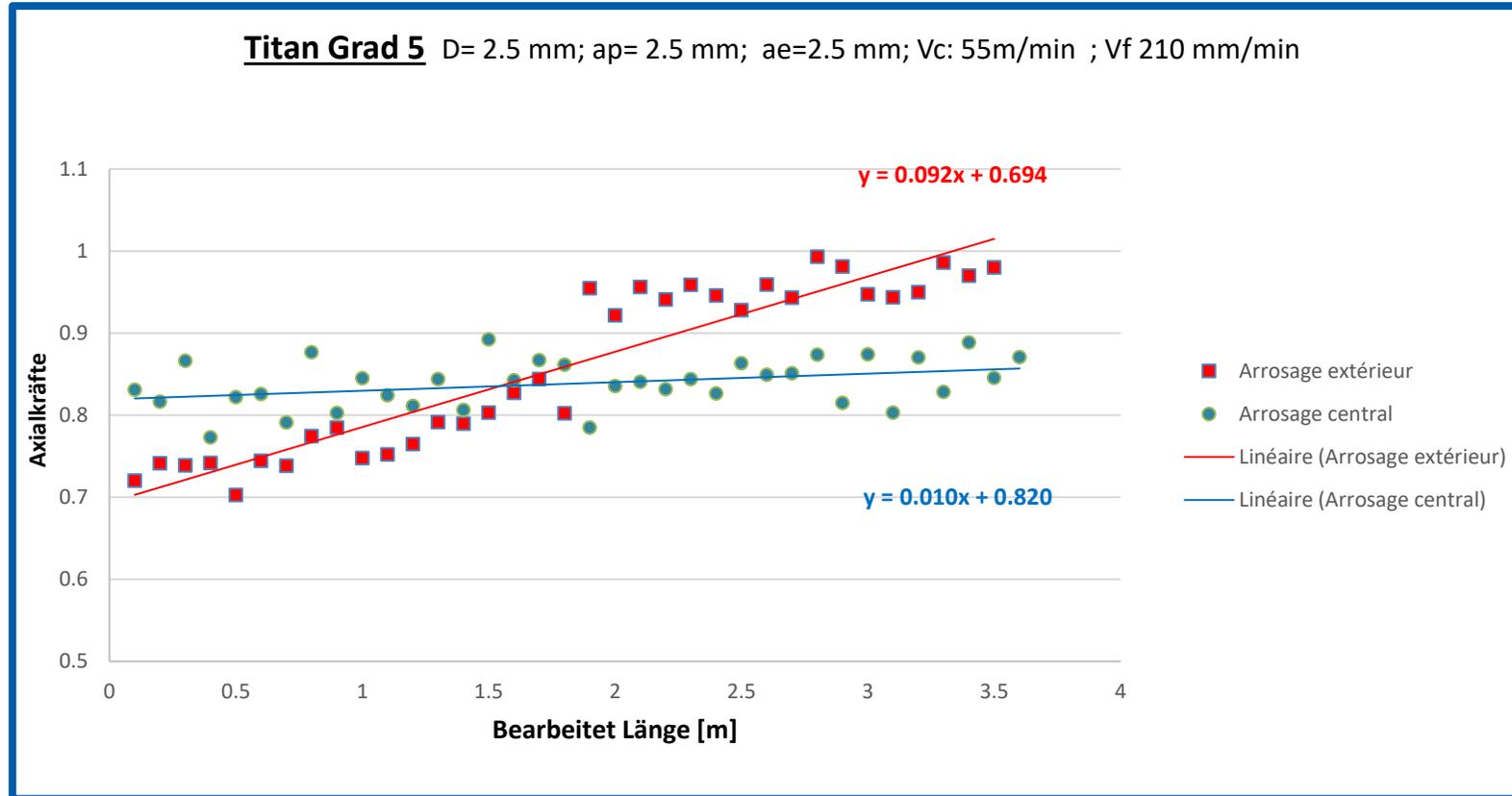
Öl: Schmierung aus der Mitte (40 bar) oder von außen



Öl: Schmierung aus der Mitte (40 bar) oder von außen

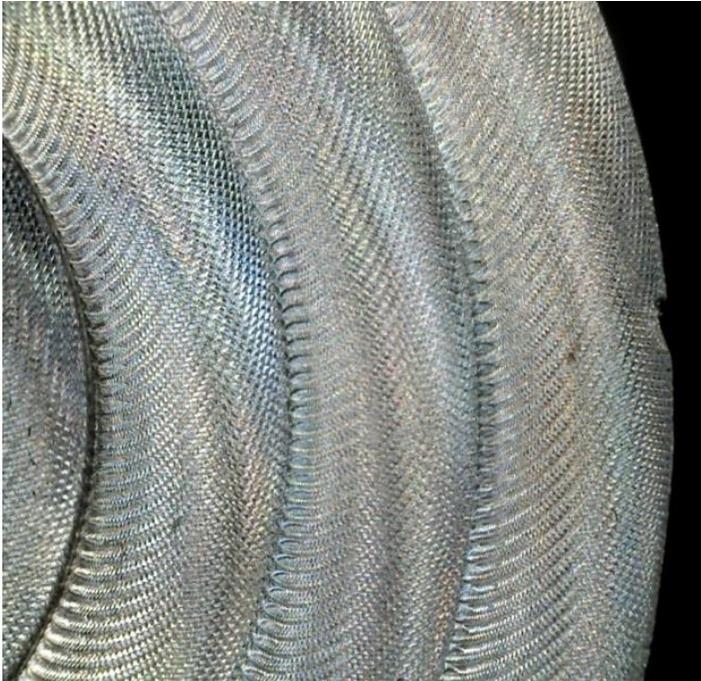


Öl: Schmierung aus der Mitte (40 bar) oder von außen



Öl: Schmierung aus der Mitte (40 bar) oder von außen

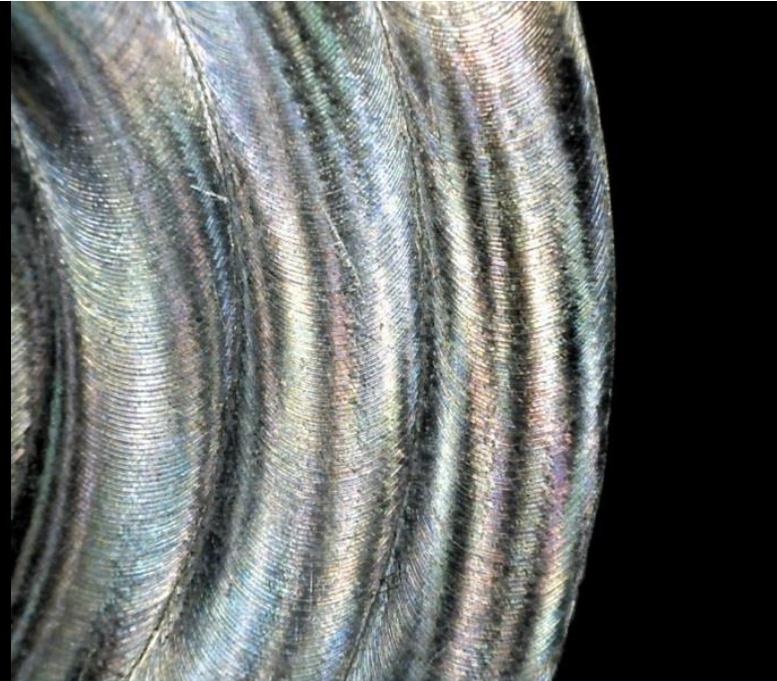
Inox 316L S21036A-2.5 Beschichtung Ezi-Alpha 3, $A_p = 0.75$, $A_e = 2$, $V_c = 90$, $V_f = 550$



Öl an der Peripherie 100 bar

$P = 49 \text{ W}$

$R_a = 0.842 \text{ } \mu\text{m}$

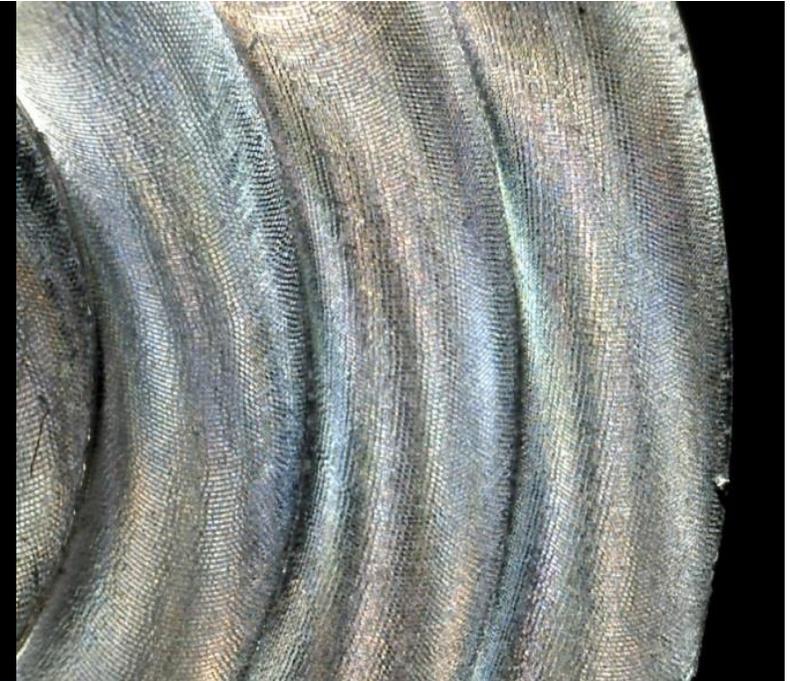


**scCO₂ durch die Mitte 100 bar
(ohne Peripherie)**

Fräser Rot Stopp

$P = 109 \text{ W}$

$R_a = 0.682 \text{ } \mu\text{m}$

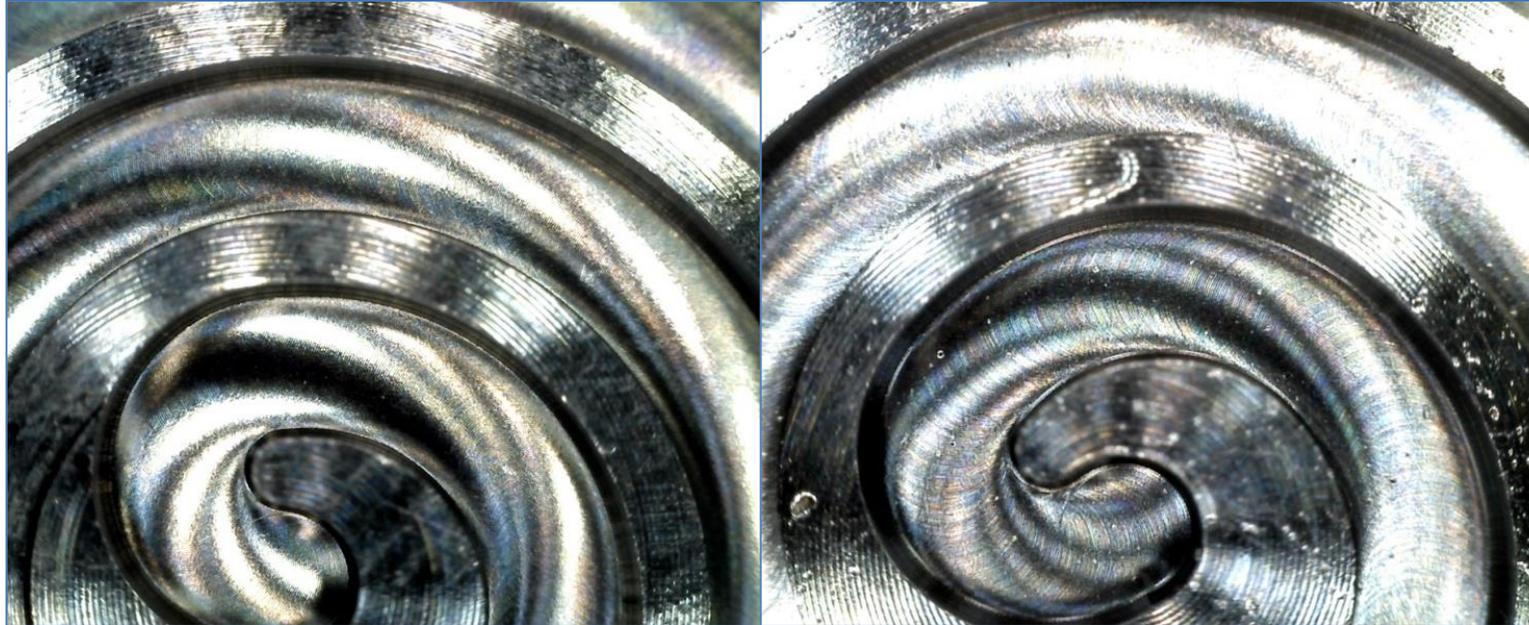


**Öl durch die Mitte 100 bar
(ohne Peripherie)**

$P = 64 \text{ W}$

$R_a = 0.491 \text{ } \mu\text{m}$

Titan Grad 5 S21525A-2.0 Beschichtung Ezi-Alpha 3, $A_p= 2$, $A_e = 2$, $V_c= 90$, $V_f= 440$



**scCO₂ durch die Mitte 100 bar
(ohne Peripherie)**

$P = 60 \text{ W}$

$R_a = 0.749 \text{ }\mu\text{m}$

**Öl durch die Mitte 100 bar (ohne
Peripherie).**

$P = 58 \text{ W}$

$R_a = 0.115 \text{ }\mu\text{m}$

Schlussfolgerungen

- Die Kühlung durch die Mitte des Werkzeugs ist zweifellos eine deutliche Verbesserung: Lebensdauer. Leistung – Oberflächenzustand.
- Wirksam mit Öl. Emulsion und scCO₂.
- Sehr deutliche Verbesserung des Oberflächenfinishes mit scCO₂ oder Öl aus der Mitte im Vergleich zur externen Bewässerung.
- Möglichkeit, unregelmäßige Indexe der Zähne beizubehalten.
- scCO₂: Möglichkeit der Durchflussbegrenzung durch Anpassung des Durchmessers der Seitenkanäle.

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Prof. Georg Wälder
Prof. Patrick Haas
Walter Gilli
Adilji Agim
Hervé Sthioul



Gilbert Grosjean
Livio Elia
Rémy Vincent
Jérôme Vincent
Pierre Jetzer



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Kommission für Technologie und Innovation KTI



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia CIRP 95 (2020) 869–874



www.elsevier.com/locate/procedia

20th CIRP CONFERENCE ON ELECTRO PHYSICAL AND CHEMICAL MACHINING

Laser drilling of micro-holes in cutting tools

Georg Wälder^{a*}, Walter Gilli^a, Patrick Haas^a, Gilbert Grosjean^b

PATENT PENDING EP3741500A1



<https://authors.elsevier.com/sd/article/S2212827120310076>

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

GALLUS ZOSSO

Technischer Aussendienst

Eskenazi SA

+41 79 446 04 55

gallus.zosso@eskenazi.com

