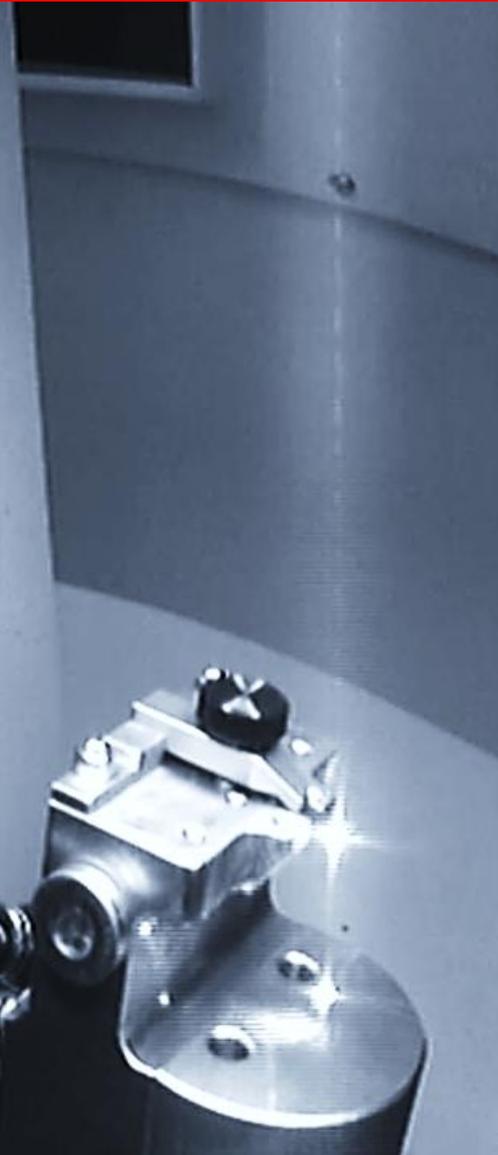


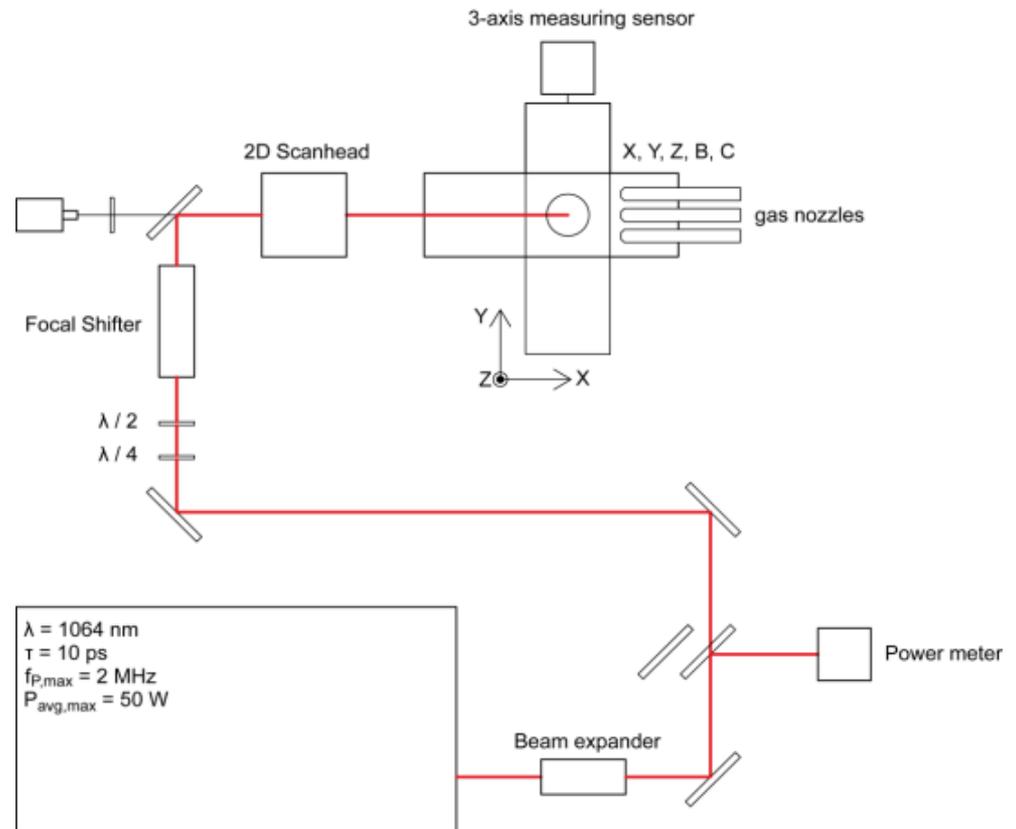
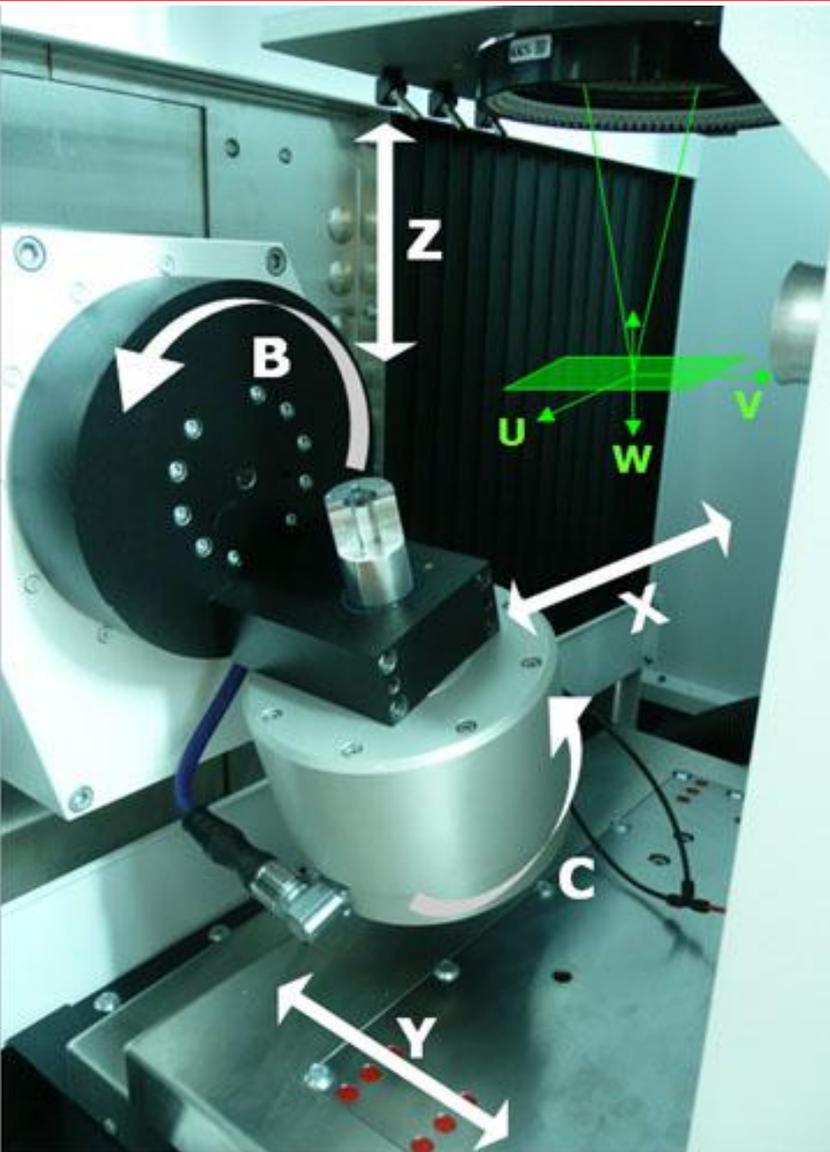
# Laserbasierte Werkzeugbearbeitung

Fertigungstechnisches Kolloquium  
22. November 2012, ETH Zürich

Konrad Wegener



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -  
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

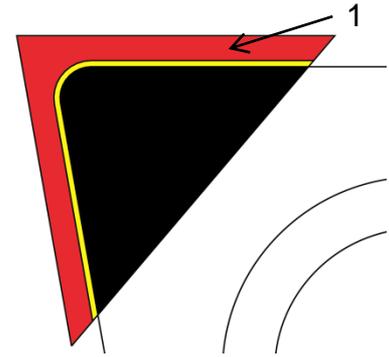


Pulsbreite  
 Wellenlänge  
 Mittl. Leistung

$t_p = 10 \text{ ps}$   
 $\lambda = 1030 \text{ nm}$   
 $P_{\text{avg max}} = 50 \text{ W}$

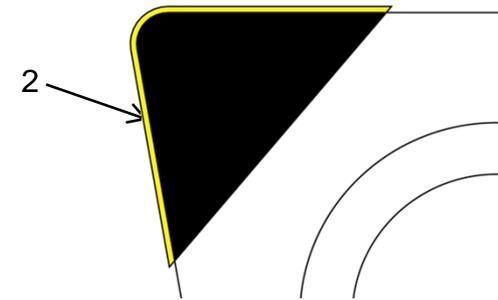
## 1. Grobkontur herstellen

- a. Bearbeitungsgeschwindigkeit  $\uparrow$
- b. Bearbeitung annähernd auf Endkontur
- c. Schneidkantenradius  $r_K < 15 \mu\text{m}$
- d. Oberflächenrauheit noch nicht kritisch



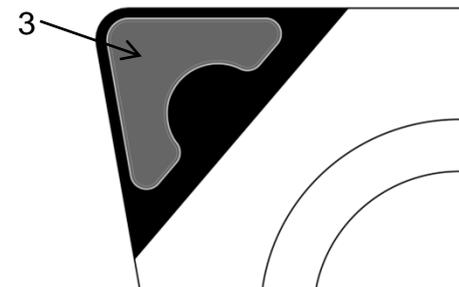
## 2. Endkontur herstellen / Zielgrößen

1. Schneidkantenradius  $r_K < 8 \mu\text{m}$
2. Rauheit Freifläche  $Ra < 0.6 \mu\text{m}$



## 3. Optional Spanbrechergeometrie

1. Nur 3D Scanbearbeitung
2. Zielgröße Rauheit  $Ra < 0.4 \mu\text{m}$



## ■ Beispiel Wendeschneidplatte

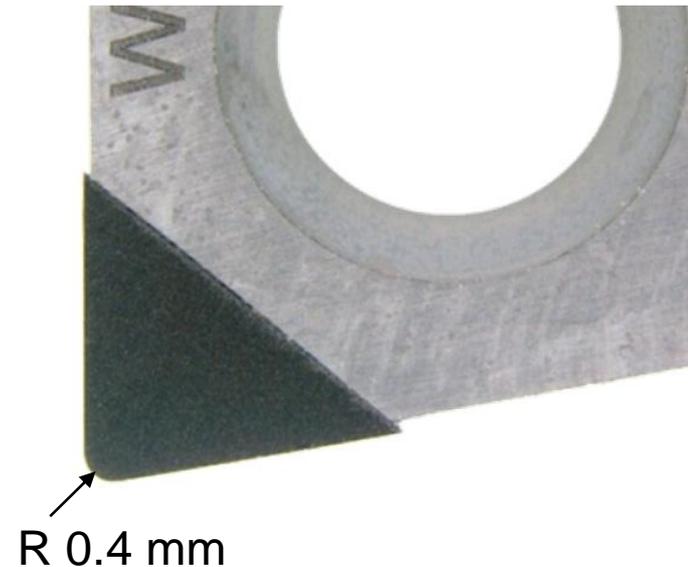
- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| 1. Grundkörper  | Hartmetall         |
| 2. Schneidstoff | PKD                |
| 3. Freiwinkel   | $\alpha = 7^\circ$ |
| 4. Spanwinkel   | $\gamma = 0^\circ$ |

## ■ Resultate

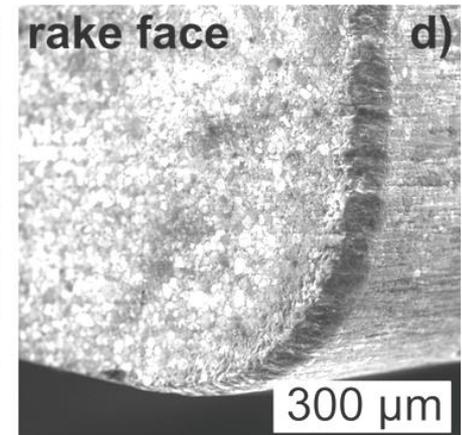
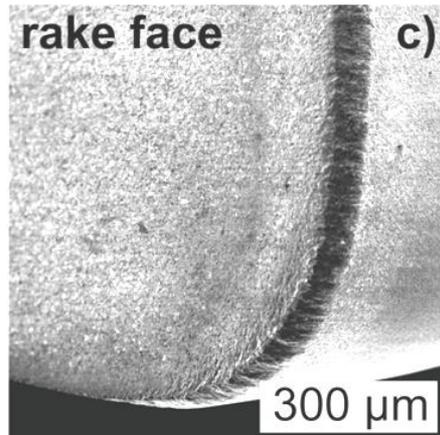
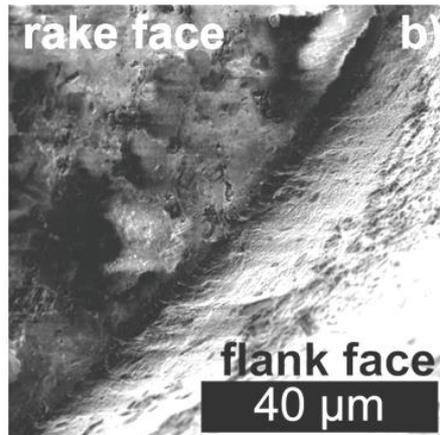
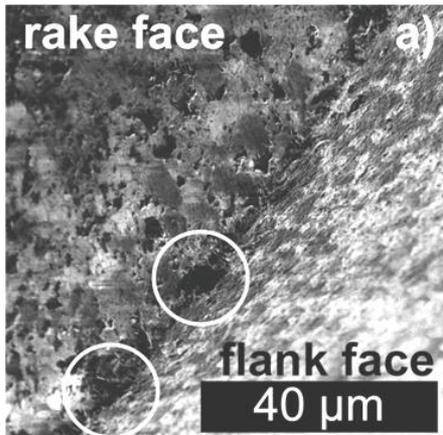
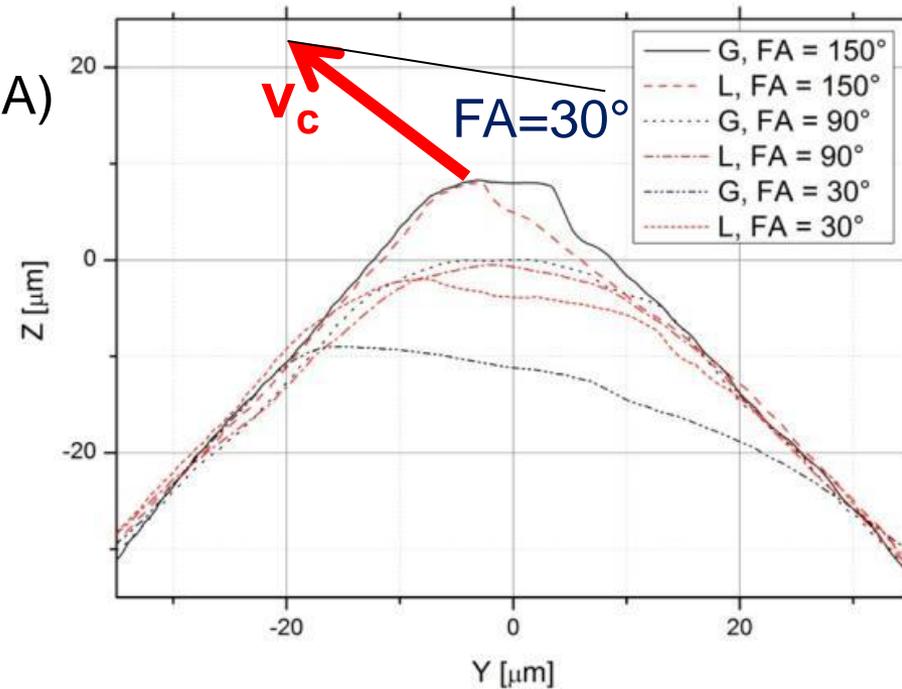
- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Schneidkantenradius | $r_K = 5 \mu\text{m}$    |
| 2. Rauheit Freifläche  | $R_a = 0.37 \mu\text{m}$ |

## ■ Bearbeitungszeit

- 3D – Bearbeitung Aussenkontour
  - Grobkontur  $t < 10 \text{ min}$
  - Endkontur  $t < 5 \text{ min}$



- Verschleiss abh. von Winkel zwischen Vorschubrichtung und Faserrichtung (FA)
  - Neu G, L  $r_K = 4.3$  to  $6.5 \mu\text{m}$
  - Nach  $V'_w = 31 \text{ cm}^3/\text{mm}$ 
    - $150^\circ$  FA  $r_K = 8.6 \mu\text{m}$
    - $90^\circ$  FA  $r_K = 30.6 / 35.9 \mu\text{m}$
    - $30^\circ$  FA  $r_K = 36.4 / 32.0 \mu\text{m}$
- Verschleiss ähnlich für (L) und (G)
- Riefenbildung bei  $FA=30^\circ$ , insbes. (G)

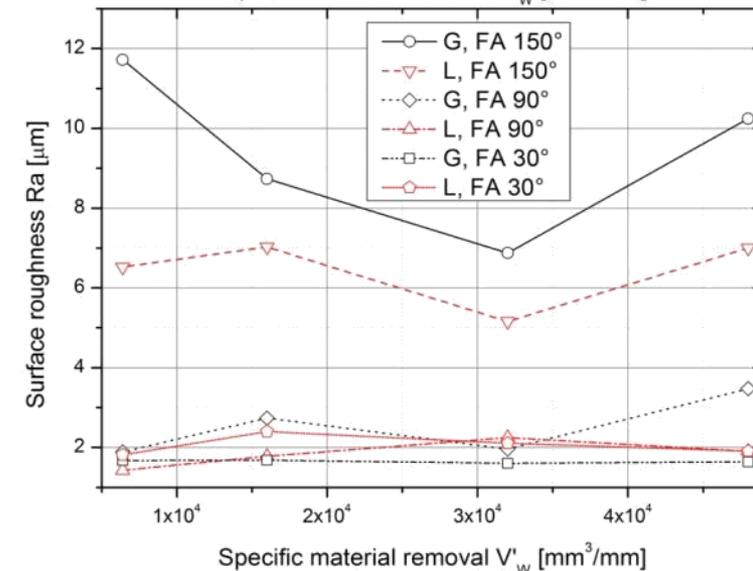
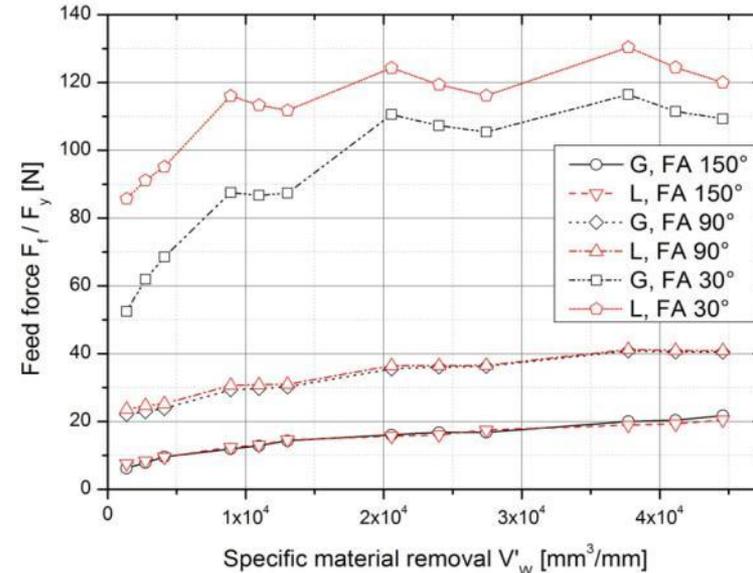


## ■ Vorschubkraft Analyse

- Steigender Verschleiss führt zu ansteigenden Prozesskräften
- Für  $FA = 30^\circ$  -> Vorschubkräfte für Laserbearbeitete Werkzeuge ist grösser, ansonsten sind Kräfte ähnlich

## ■ Werkstück Rauheit (CFK)

- $Ra = 0.9$  bis  $3.5 \mu\text{m}$ ,  $FA = 30, 90^\circ$
- $Ra = 5$  bis  $11.8 \mu\text{m}$  @  $FA = 150^\circ$
- CFK - Oberflächenrauheit gelasertes WZ  $\leq$  geschliffenes WZ



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -  
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

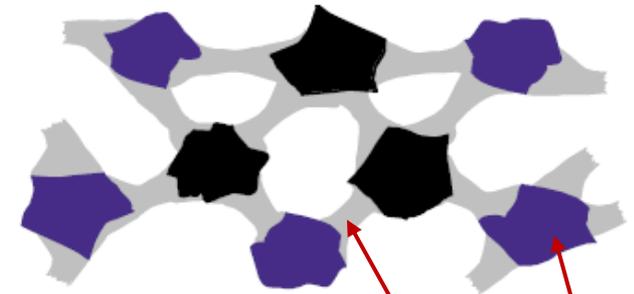
## ■ Neuartiges Bindermaterial

- Kombination der Vorteile metallischer und keramischer Bindung
- Hohe Kornhaltekraft
- Lange Werkzeug-, Profilstandzeit
- Poröse, offene Werkzeugtopographie
- Abrasives und hochschnittiges System

## ■ Konventionelles Abrichtverfahren

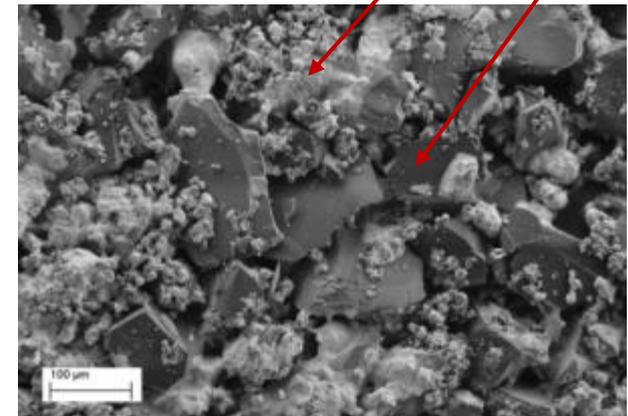
- SiC – basierte Abrichtrolle
- Hoher Werkzeugverschleiss
- Limitierte Genauigkeit / Flexibilität
- Zum profilieren ungeeignet

**-> Neues Verfahren zum Abrichten und Profilieren benötigt**



Struktur einer hybriden Kornbindung  
(Quelle: Meister Abrasives)

Bindung Korn



SEM Bild einer Hybridbindung und einer CBN Abrasivschicht

Abrichten hybrid gebundener CBN Schleifscheiben



CBN (B126)  
Scheibe  
D = 150 mm  
b = 25 mm

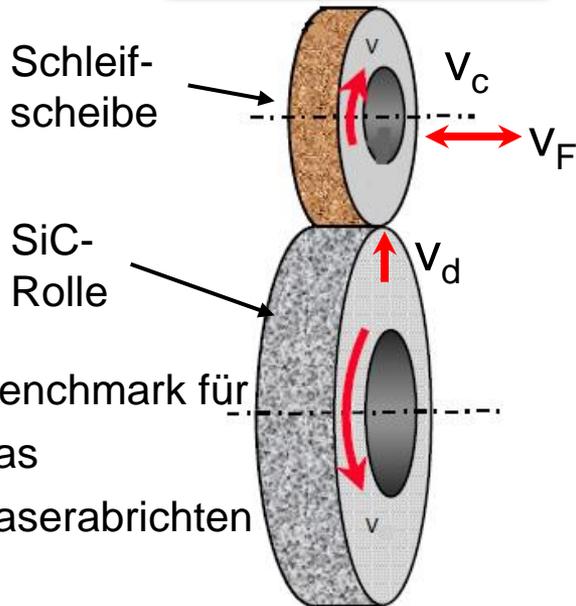
Laserabrichten

Schärfen

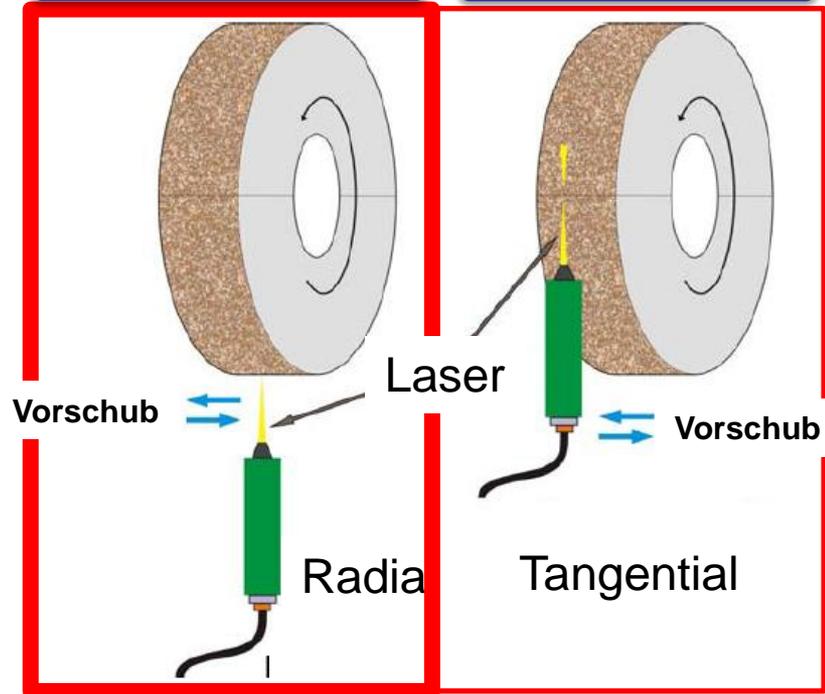
Profilieren

SiC abrichten

Schärfen



Ziel: Erzeugen der Schleifscheiben Topographie mittels Laserstrahlung





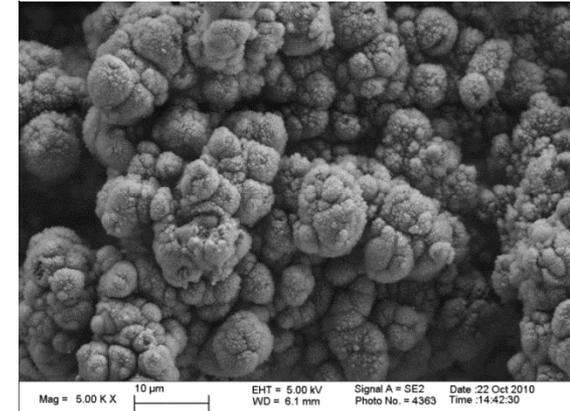
## ■ Bindung

- Hybridgebundenenes CBN (Keramik / Bronze Bindematerial)

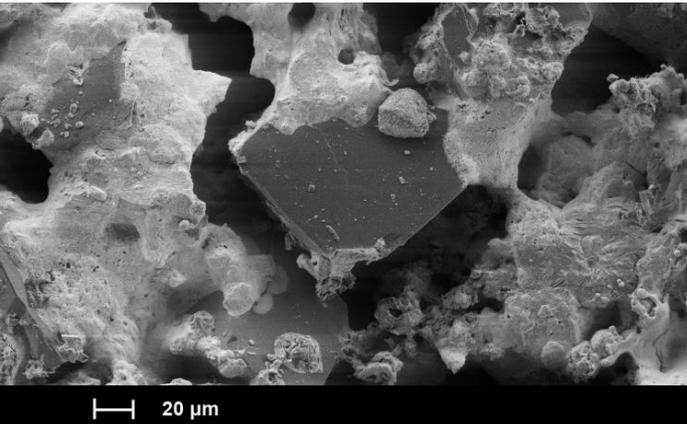
## ■ Resultate

- Prozessparameter zum selektiven Binderabtrag ermittelt
- Keine signifikante CBN Kornschädigung
- Thermische Schädigung falls Pulsenergie  $e_p > 0.5$  mJ
- Bei weit höheren Pulsenergien -> Umwandlung von CBN in HBN

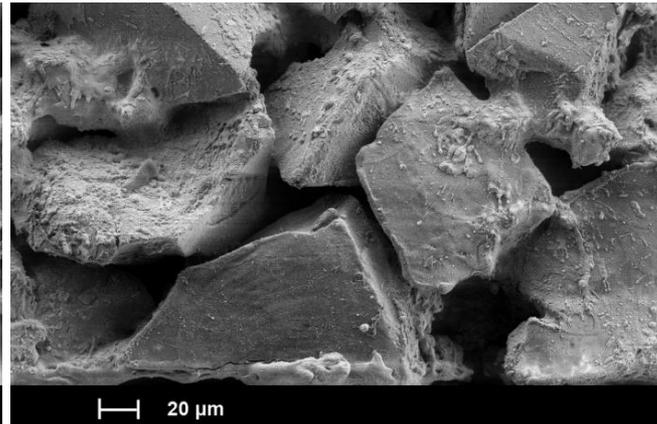
SEM Bild: Pulsenergie ( $e_p \gg 0.5$  mJ)



SEM Bild: Unbearbeitet



SEM Bild: Nach Laser Bearbeitung

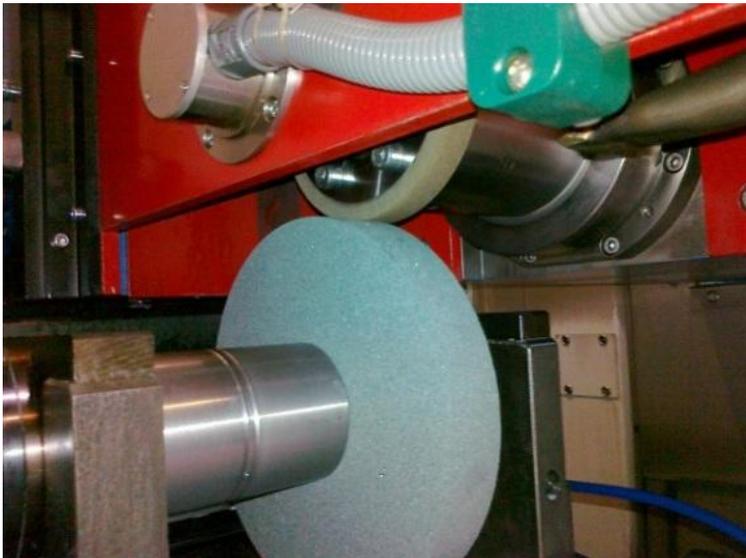


SEM Bild: Einzelpulse ( $e_p > 0.5$  mJ)



## ■ Abrichtprozess

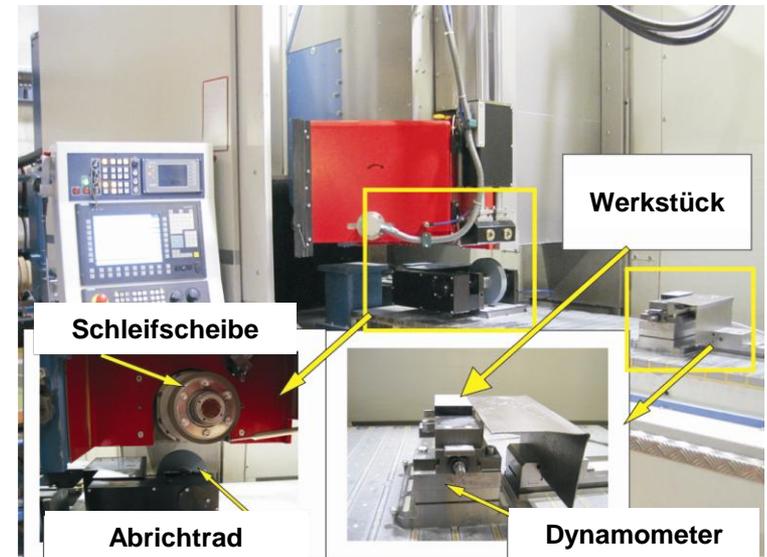
- SiC: 31C-100-L-11-310-V138-12
- Konventionelle Abrichteinheit



Abrichtparameter		
Geschwindigkeitsverhältnis	4	[-]
Zustelltiefe	10	[ $\mu\text{m}$ ]
Vorschub	1'000	[mm/min]

## ■ Schleifprozess

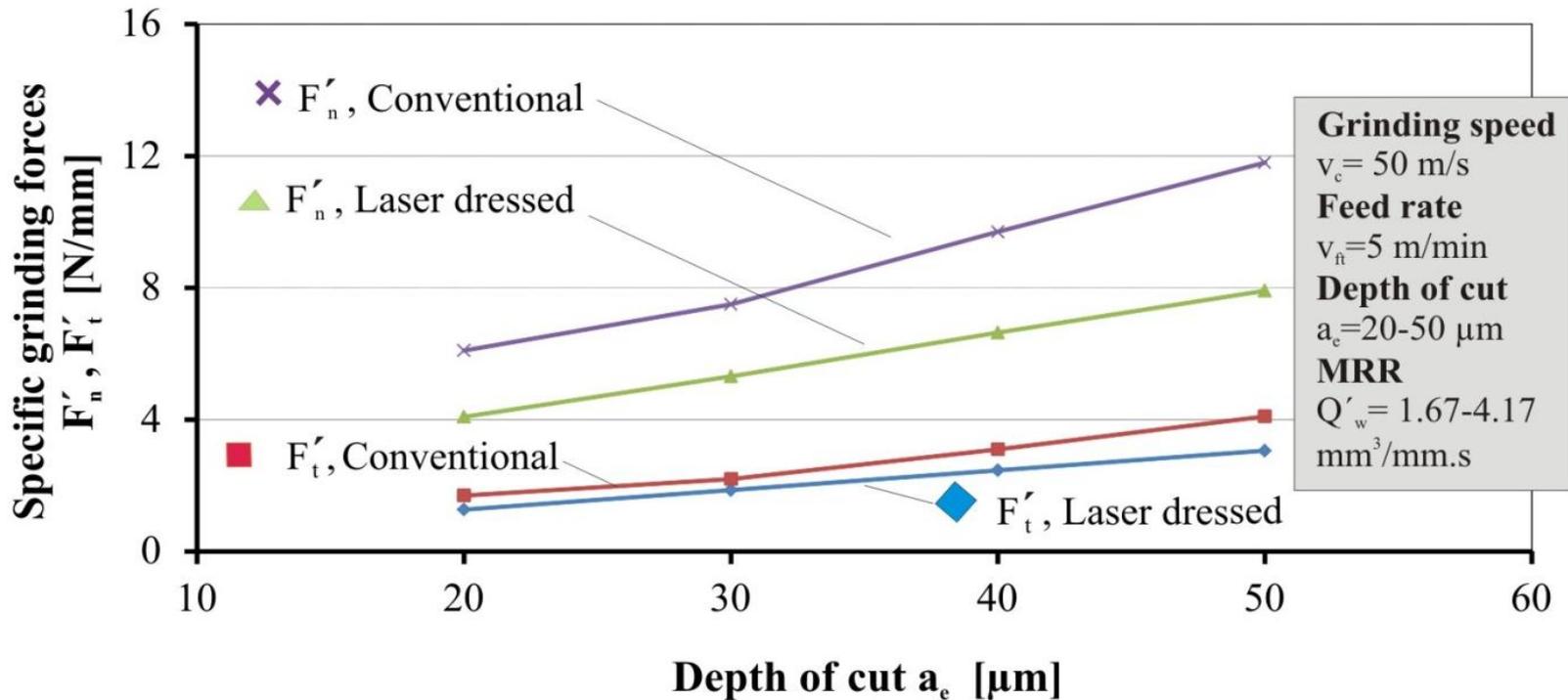
- Flach- / Gleichlaufschleifen
- Material: 100Cr6 (Härte 60 HRC)



Schleifparameter		
Schleifgeschwindigkeit	50	[m/s]
Zustelltiefe	10-300	[ $\mu\text{m}$ ]
Vorschub	1-6	[m/min]

## ■ Tangential- und Normalkraftanteile ( $F_t$ , $F_n$ )

- signifikant tiefer bei Bearbeitung mit gelasertem Werkzeug
- Gleichbleibender Abstand zu konventioneller Kraftkurve selbst bei hohen Materialabtragsraten
- Leicht höherer Verschleiss durch grösseren Kornüberstand



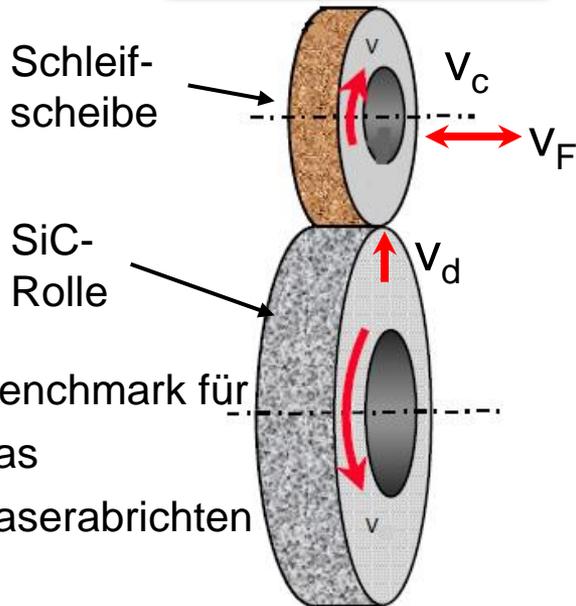
## Abrichten hybrid gebundener CBN Schleifscheiben



CBN (B126)  
Scheibe  
D = 150 mm  
b = 25 mm

SiC abrichten

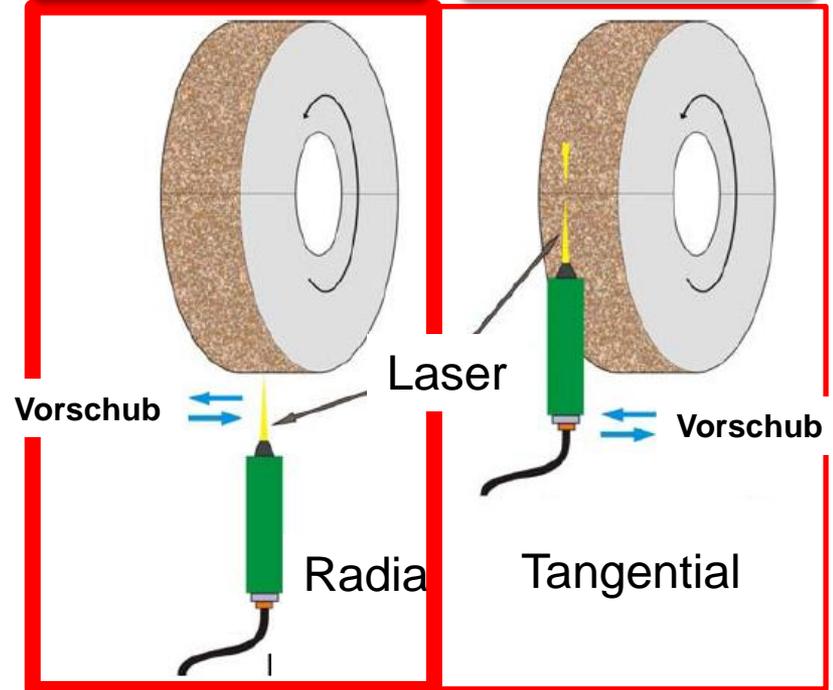
Schärfen



Laserabrichten

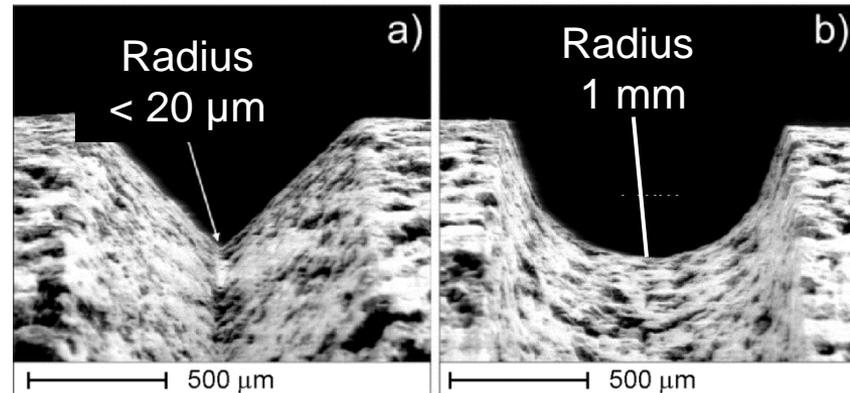
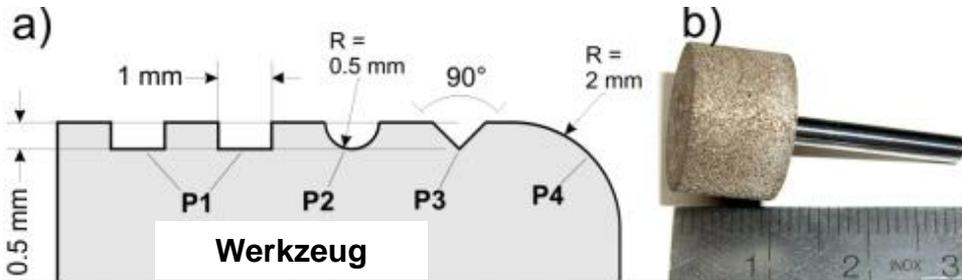
Schärfen

Profilieren

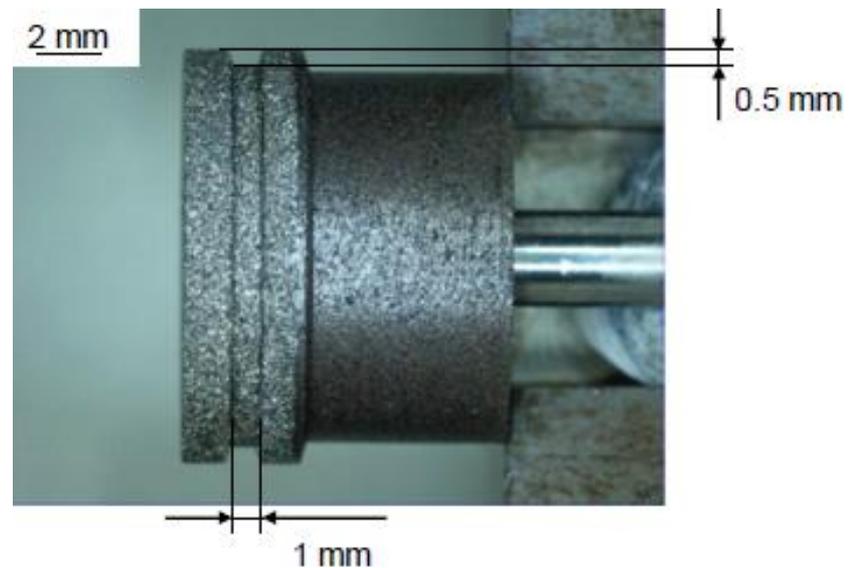
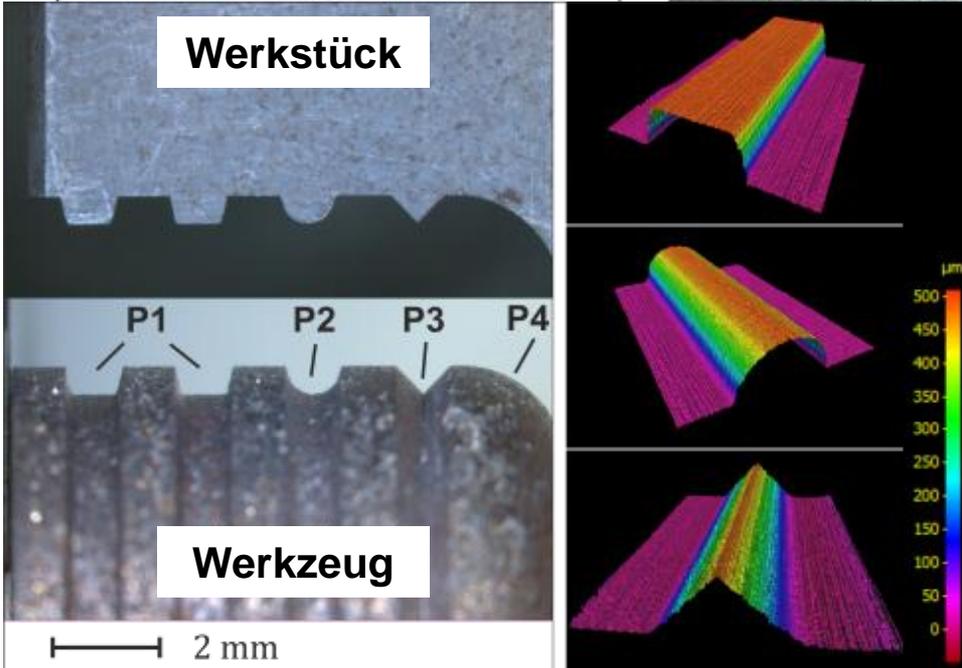


Ziel: Erzeugen der  
Schleifscheiben  
Topographie mittels  
Laserstrahlung

- Definierte Schneidkantengeometrie bei grossen Körnern möglich



- Geometrie Standzeitversuch

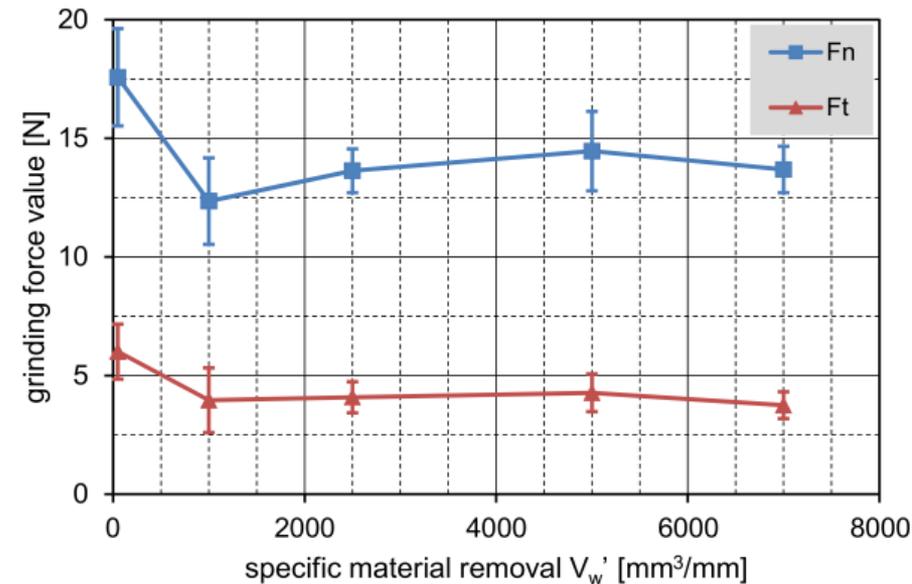


## ■ Standzeitversuch

- Monitoring auftretender Kräfte
- Standzeitversuche

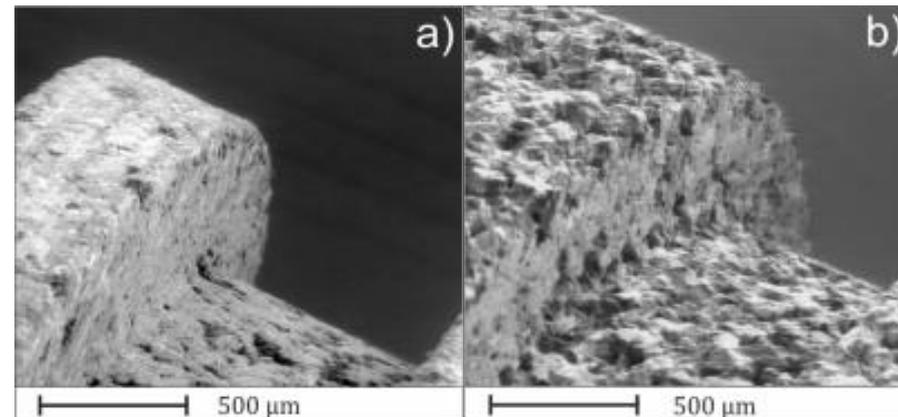
## ■ Resultate

- Schleifbedingungen stabil nach einlaufen mit erhöhten Prozesskräften
- Kompakte Oberfläche durch tangenciales Laserprofilieren
- Beim einlaufen erfolgt Selbstschärfung und teilweise Auftreten von Kornausbrüchen
- Kornbeschädigung durch Lasereinfluss vernachlässigbar



SEM Bild: Nach Laserprofilieren

SEM Bild: Nach Bearbeitung von  $V_w' = 7'000 \text{ mm}^3/\text{mm}$



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -  
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

## ■ Allgemein: Erzeugen einer Abrichtscheibe

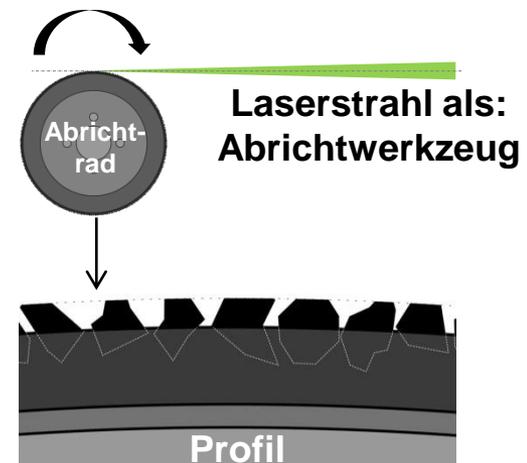
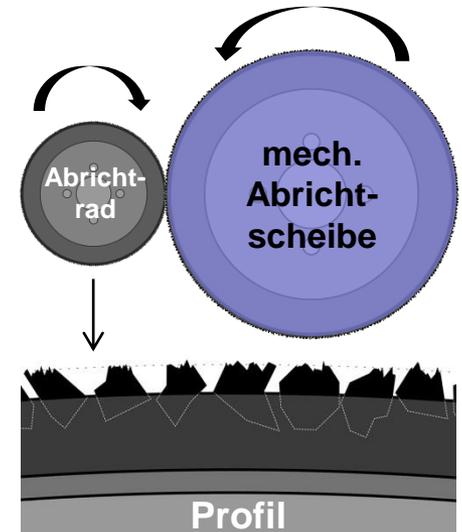
- Scheibe zum Abrichten von Schleifscheiben
- Mit der Schleifscheibe -> Bearbeitung eigentliches WS
- Ziel: Erzeugen eines genauen Profils mit definiertem Kornüberstand

## ■ Konventionelle Bearbeitung = mech. Abrichten

- Diamantabrichtrad zum Berührungsabrachten verwendet
- Diamant bearbeitet Diamant -> Kosten- und Zeitintensiv

## ■ Laser Touch Abrichten

- Tangentiale Strahlführung, präzise Profilierung möglich
- Strahlquelle: Trumpf Tru Micro 5050
  - $P_{max} = 50 \text{ W}$ ,  $t_p = 10 \text{ ps}$ ,  $f_p = 400 \text{ kHz}$ ,  $e_{p,max} = 125 \mu\text{J}$
- Durch kleine Pulsdauer kalte Ablation möglich -> keine signifikante Materialschädigung der Diamantkörner (Graphitisierung, Risse, etc.)

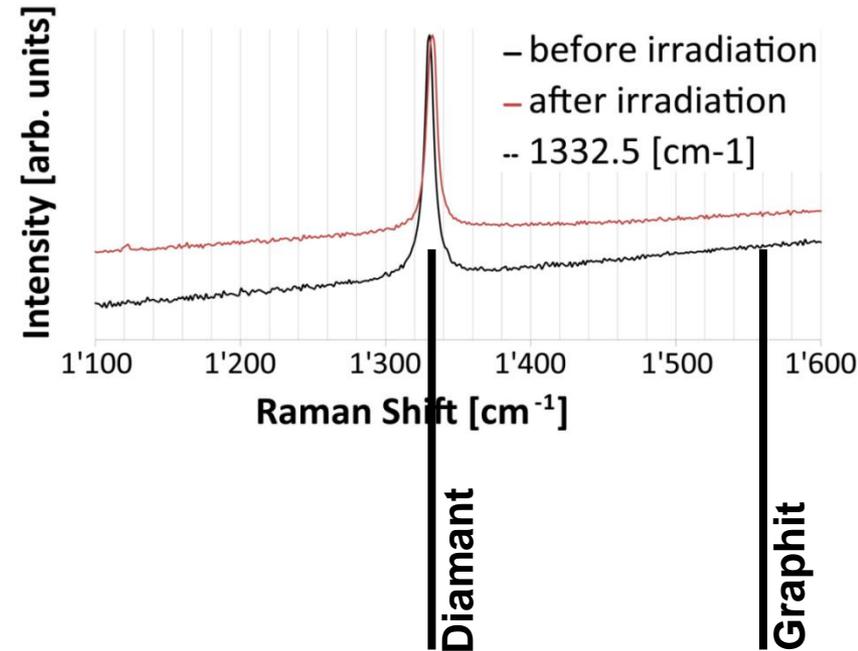


## ■ Raman Spektroskopie

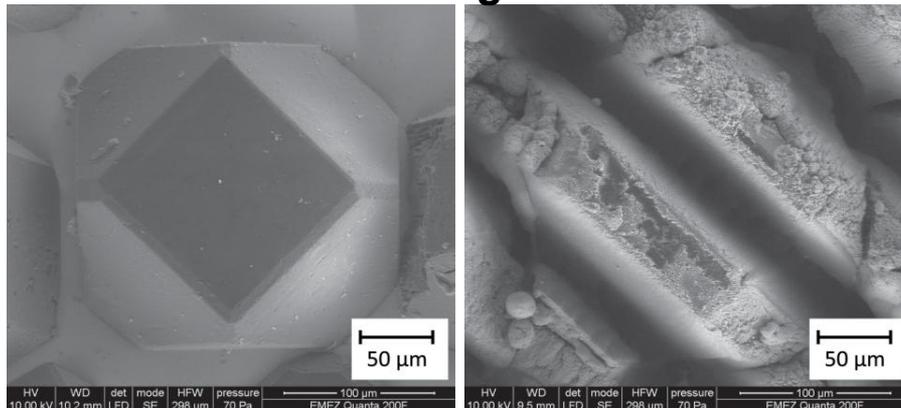
- Analyse von 10 Diamantkörnern vor & nach Laserbearbeitung
- Graphitisierungseffekte vernachlässigbar

## ■ Einfluss Einstrahlrichtung

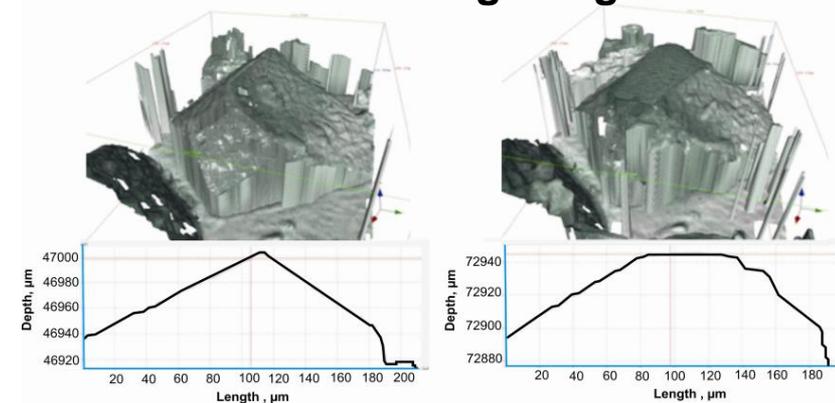
- Radiale Einstrahlung: Bindermaterial mitbearbeitet -> Oberfläche wird durch wieder erstarrende Binderpartikel stark verunreinigt
- Tangentiale Einstrahlung: Keine Interaktion zwischen Binder und Laserstrahl -> sehr sauberes Abtragsverhalten



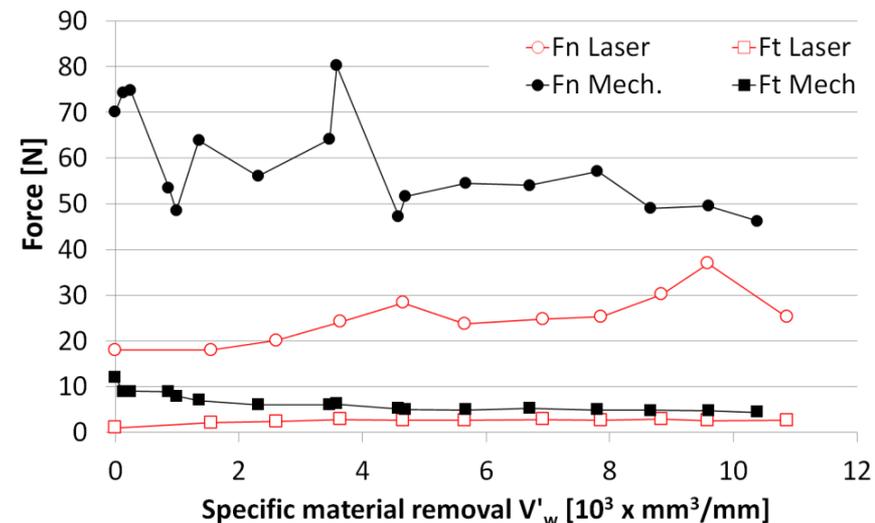
Einstrahlrichtung: radial



Einstrahlrichtung: tangential



- Abrichtzeit auf die Hälfte reduziert
- Keine signifikante Graphitisierung beobachtet
- Entfernen ungewünschter (negativer) Flanken auf Profil
- Niedrigere Prozesskräfte beim Abrichten
- Weniger Energieeintrag in Werkstück bei Bearbeitung



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -  
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

## ■ Prozesse und Verfahren

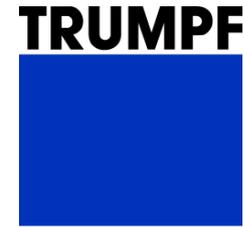
- Laserbasierte Bearbeitung kann Schleifbearbeitung bei ultraharten Materialien substituieren
- Tangentiales Laserabrichten mittels Laserpulsen im Pikosekundenbereich erzeugen deutlich besser als mechanisches Berührungsabrichten

## ■ Geometrie und Formelemente

- Drastische Erhöhung der Flexibilität
- Profilierung von Geometriemerkmale bis zu einigen Mikrometern möglich
- Wahlweise selektives Profilieren einzelner Bereiche auf dem Abrasivbelag möglich

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit

inspire



# KTI/CTI

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

**ETH**

24 Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich