

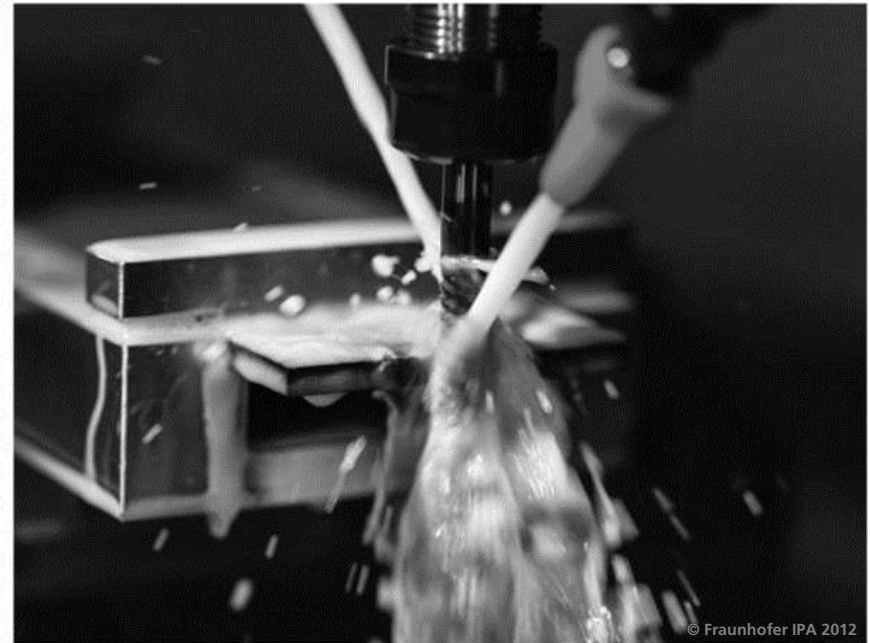
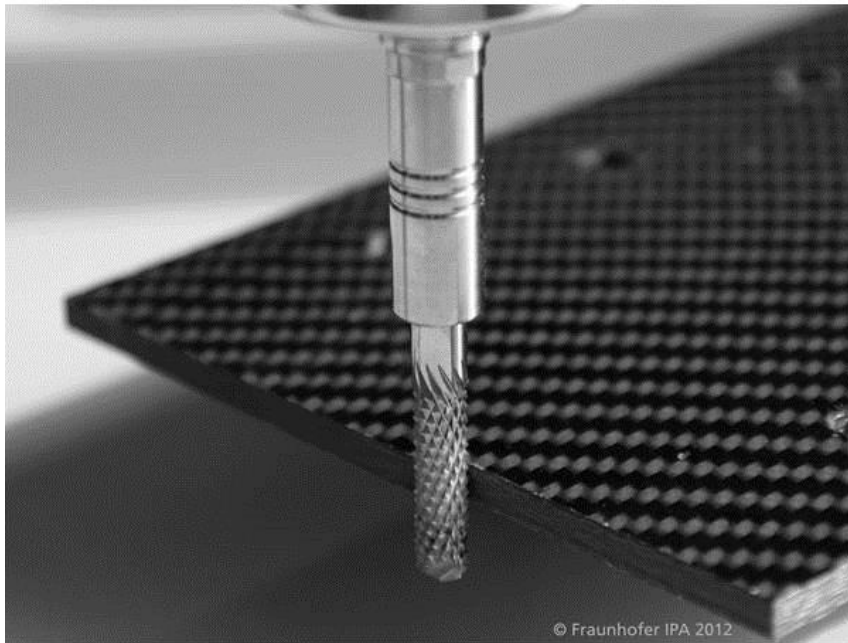
---

# KÜHLSCHMIERSTOFFE FÜR DIE SPANENDE BEARBEITUNG VON CFK

Herausforderungen – Ziele – Forschungsergebnisse – Ausblick

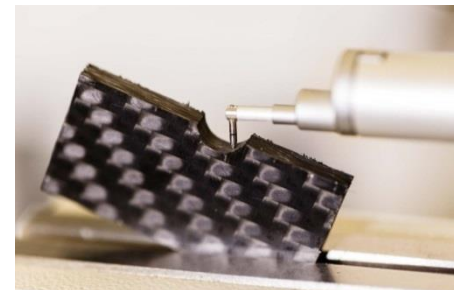
Robert Beckenlechner

---



# WER WIR SIND – ECKDATEN ZUM FRAUNHOFER IPA

- Über 50 Jahre Erfahrung in den Bereichen Produktionstechnik, Automatisierung, Maschinen- und Anlagenbau
- Bündelung von Kompetenzen aus 14 Abteilungen rund um die Herausforderungen der Produktion
- Betriebshaushalt 60,3 Mio. Euro, 490 wiss. Mitarbeiter
- Kooperation mit den Instituten der Universität Stuttgart:
  - Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF
  - Institut für Werkzeugmaschinen IfW
  - Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen ISW

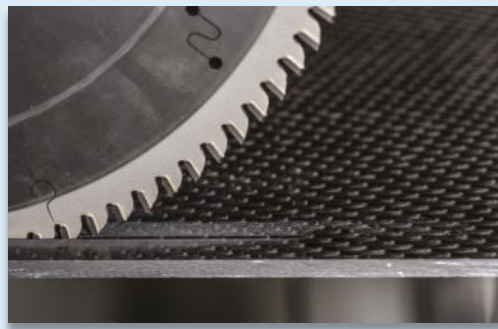


# BEARBEITUNGSTECHNOLOGIEN FÜR LEICHTBAUWERKSTOFFE

Bearbeitung mit Industrierobotern



Sägen von Faserverbundwerkstoffen



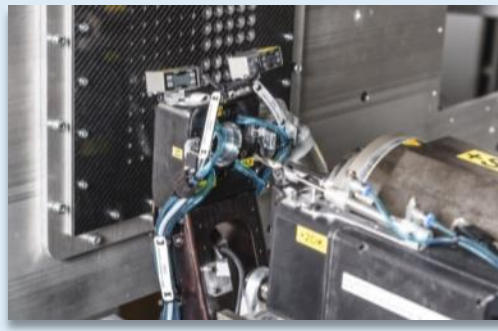
Automatisierte Qualitätsbestimmung



Trocken- & Nassbearbeitung von FVK



Bohren & Nieten von Stackwerkstoffen



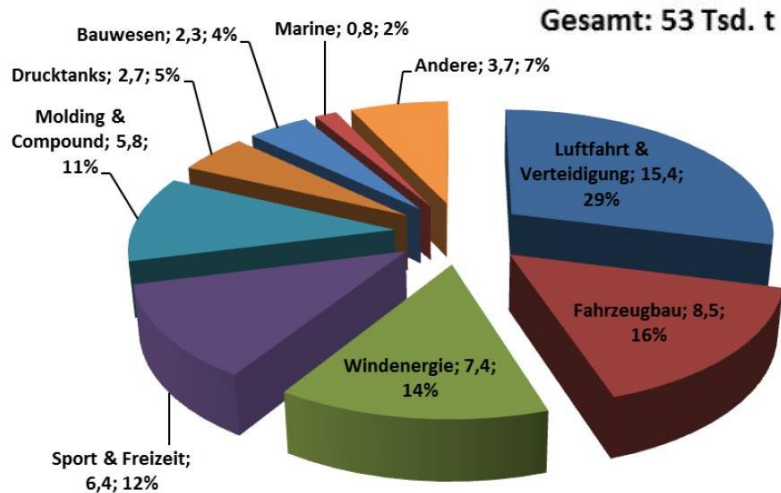
Späne- und Stauberfassung



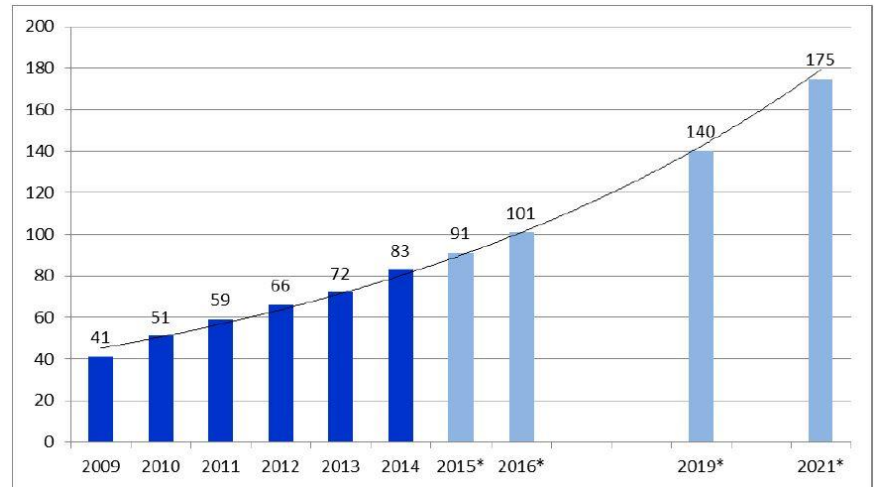
# MARKTENTWICKLUNG CFK

## ■ Globaler Bedarf an Kohlenstofffasern und CFK in Tsd. Tonnen

CF-Bedarf nach Anwendungen (2014)



CFK-Bedarf 2009–2021



(\*Schätzungen)

Quelle: Carbon Composites e.V.: Composites Marktbericht, 2015

# WERKSTOFFVIELFALT UND ANWENDUNGSFELDER

## Faserverbundmaterialien: Diverse Einstellmöglichkeiten

Matrixwerkstoff

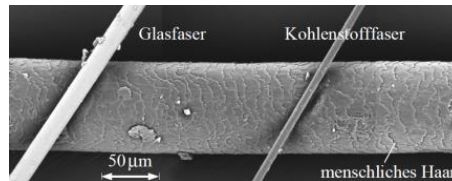
→ Kunststoff



Quelle: www.weigel.de

Verstärkung

→ C/G-Faser



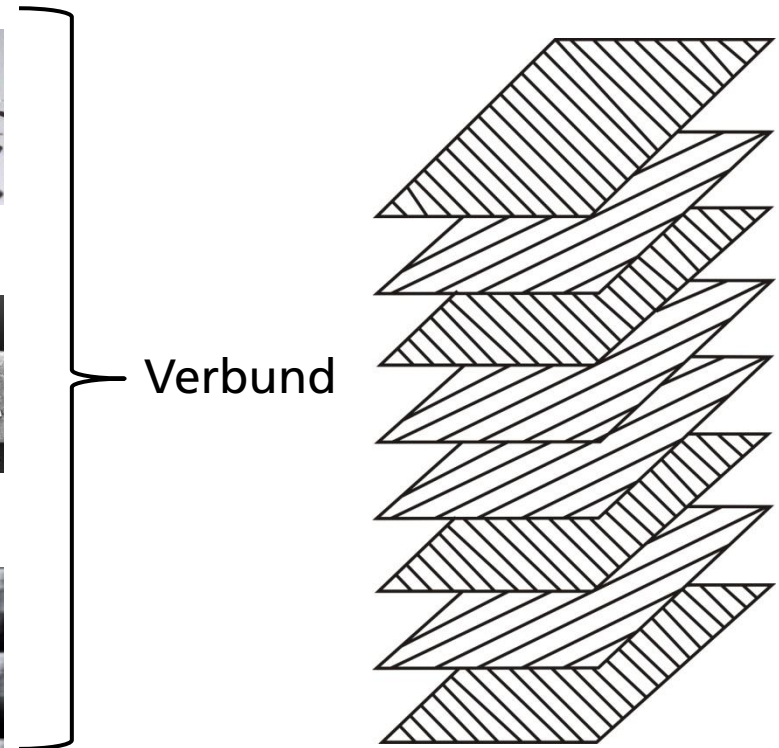
Quelle: Schürmann 2007

Faserarchitektur

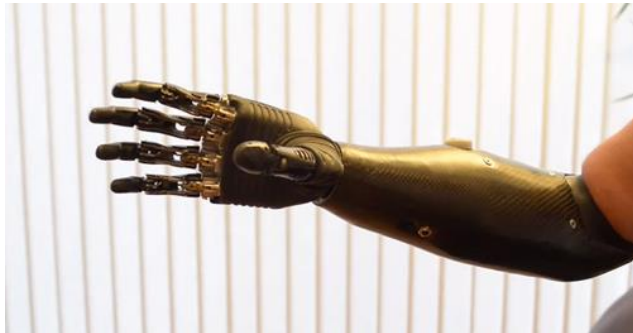
→ verschieden



Quelle: WELA 2011



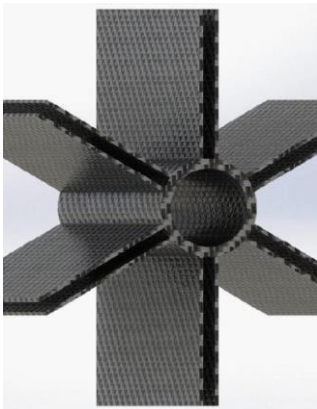
# WERKSTOFFVIELFALT UND ANWENDUNGSFELDER



Quelle: bebionic



Quelle: Airbus



Quelle: ITM/TU Dresden



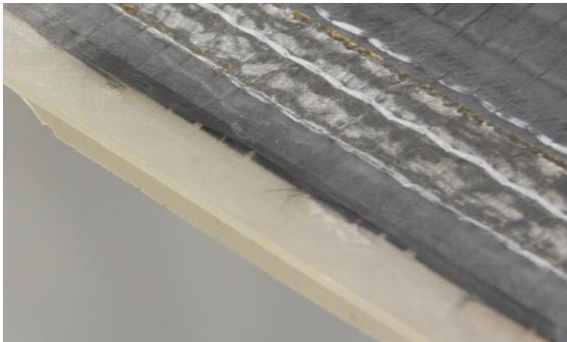
Quelle: Voith



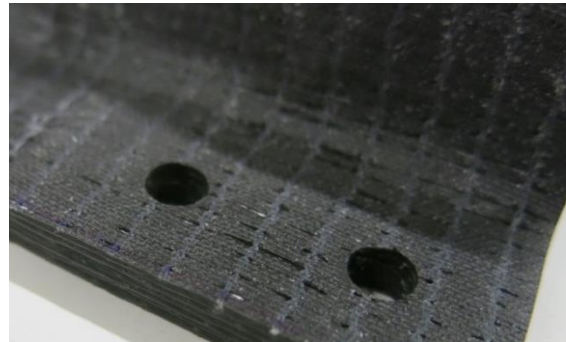
Quelle: Automobili Lamborghini SpA

# ENDBEARBEITUNG VON CFK - BEISPIELE

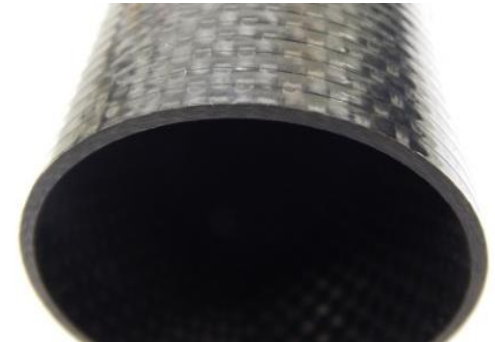
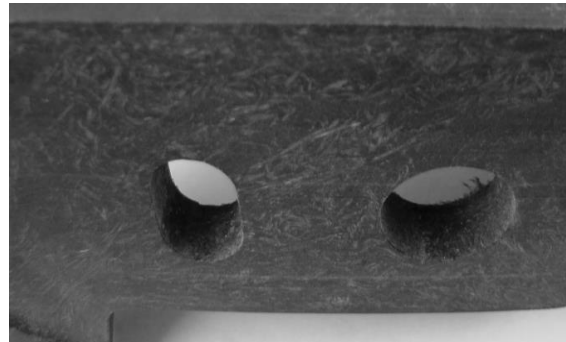
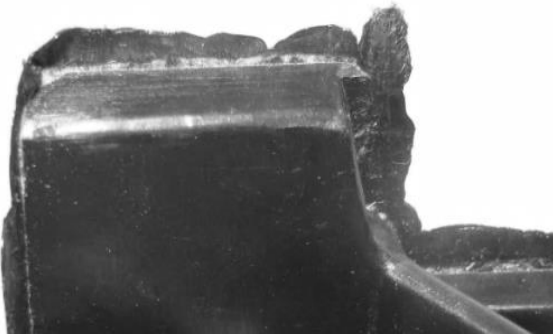
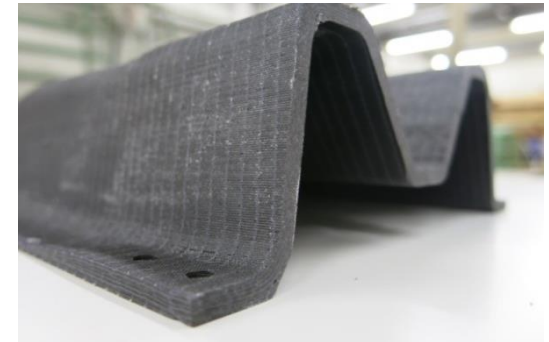
Randbeschnitt zum Entfernen von Überständen



Vorbereitung für Fügeoperationen



Trennen und Ablängen



---

# HERAUSFORDERUNGEN/ZIELE IN DER ZERSPANUNG VON CFK

---

## ■ Herausforderungen

- Trennprinzip der Kohlenstofffasern: Bruchmechanik
- Abrasive Kohlenstofffasern → Werkzeugverschleiß
- Geringe Schneidenradien → exakte Trennung der Fasern
- Prozesswärme → Schädigung des Matrixwerkstoffes
- Staubentwicklung von CFK → Gesundheitsgefährdung



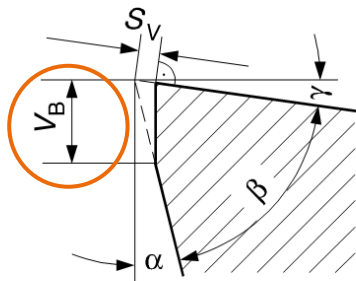
## ■ Ziele

- Standzeiterhöhung der Werkzeuge
- Produktivitätssteigerung des Bearbeitungsprozesses
- Bindung des CFK-Staubes

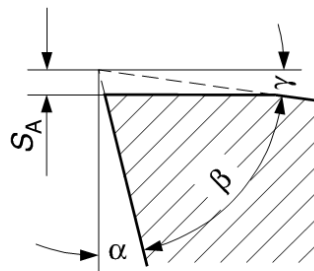


# VERSCHLEIßFORMEN BEI CFK

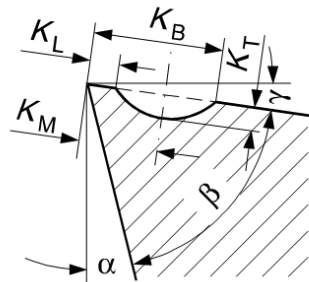
## ■ Verschleißformen an der Werkzeugschneide



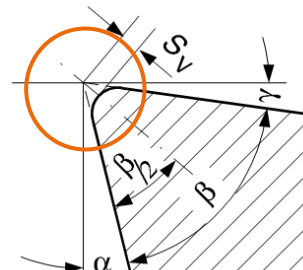
Freiflächenverschleiß  
(flank wear)



Spanflächenverschleiß  
(face wear)



Kolkverschleiß  
(crater wear)



Schneidkantenverschleiß  
(wear of cutting edge)

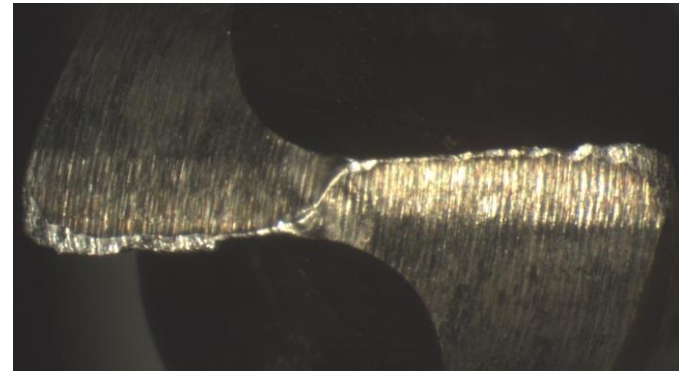
- $V_B$ : Verschleißmarkenbreite
- $S_V$ : Schneidkantenversatz
- $S_A$ : Schneidkantenabsenkung
- $K_B$ : Kolkbreite
- $K_T$ : Kolktiefe
- $K_M$ : Kolkmittenabstand
- $K_L$ : Kolkklippenbreite

Quelle: nach Vorlesungsskript IfW, Uni Stuttgart (DIN ISO 3685)

# VERSCHLEIßFORMEN BEI CFK

## ■ Verschleiß Metalle

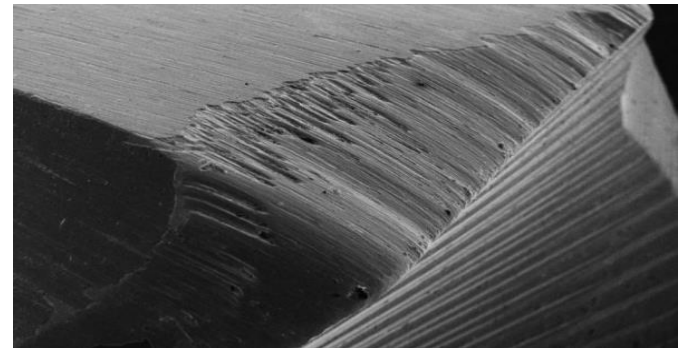
- Kolkverschleiß, Kammrisse
- Aufbauschneidenbildung
- Frei- und Spanflächenverschleiß
- Schneidenverrundung



Quelle: IfW Uni Stuttgart

## ■ Verschleiß CFK

- Schneidenverrundung
- Freiflächenverschleiß



Quelle: IfW Uni Stuttgart

# STAUBEMISSION BEI DER ENDBEARBEITUNG VON CFK



Gefährdungen



Maschinenbediener



Bearbeitungsmaschine

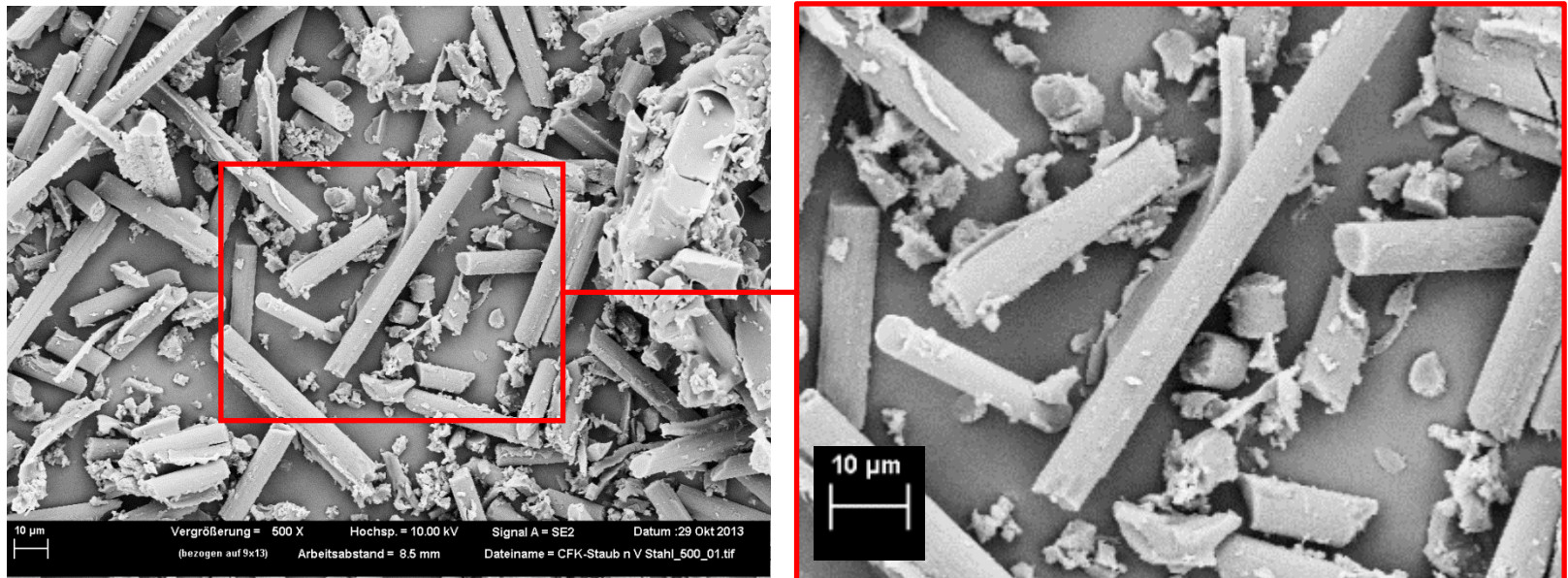


Prozess

# STAUBEMISSION BEI DER ENDBEARBEITUNG VON CFK

## ■ Staubbindung

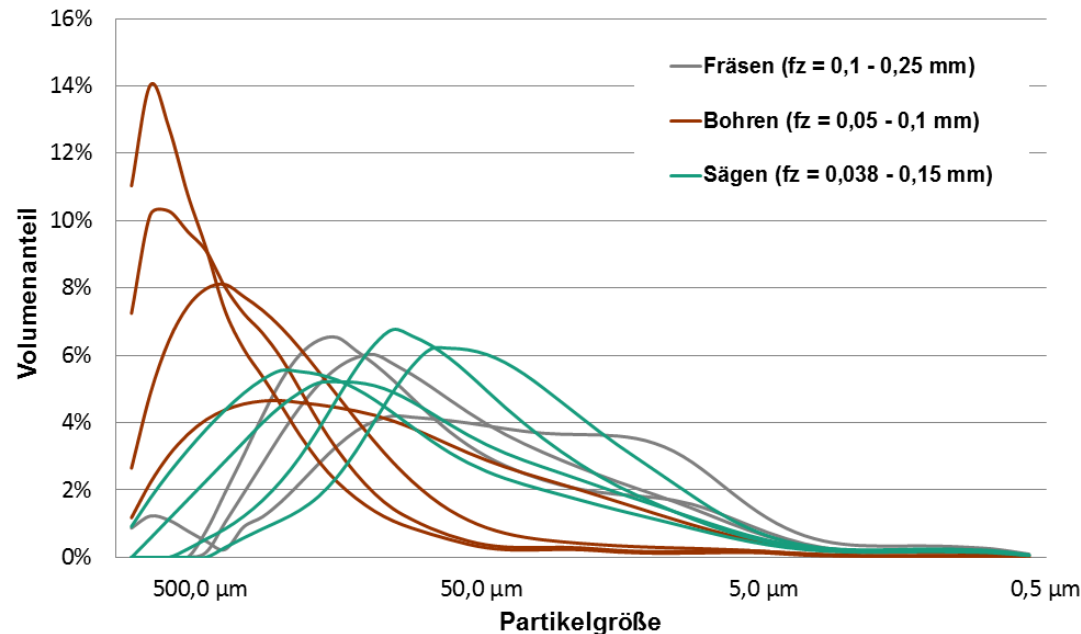
REM-Aufnahme: CFK-Spangut (Trockenfräsen)



# STAUBEMISSION BEI DER ENDBEARBEITUNG VON CFK

## ■ Staubbinding

### CFK-Partikelgrößenverteilung nach Bearbeitungsverfahren



Einatembar (E-Fraktion):

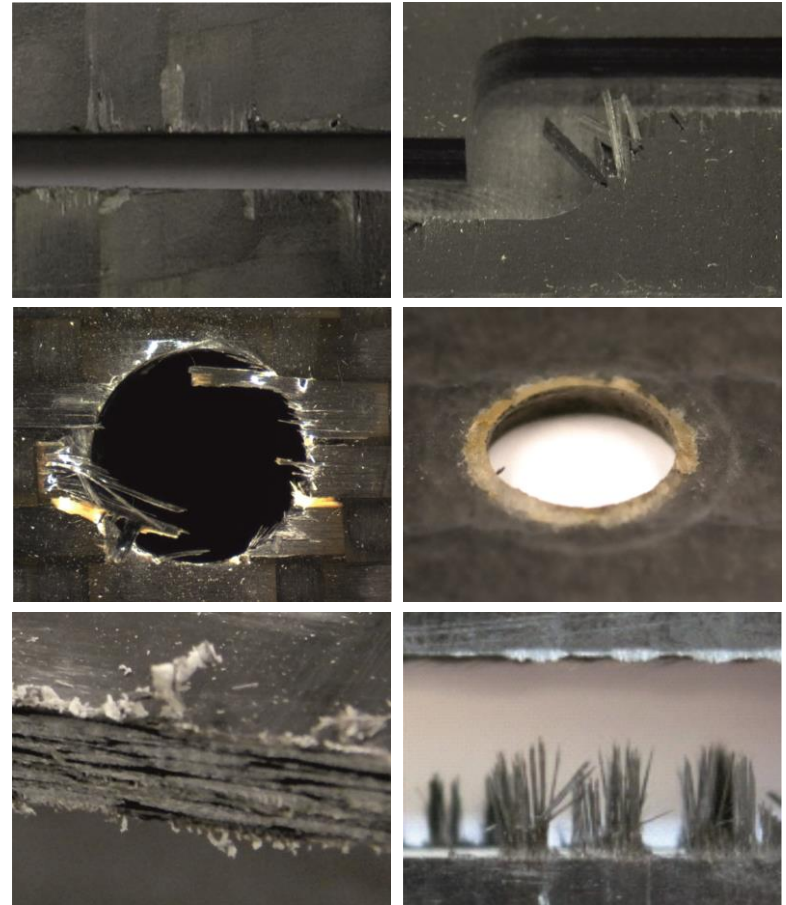
D = 0 – 100 µm

Alveolengäng (A-Fraktion):

D = 0 – 4 µm

# BEARBEITUNGSQUALITÄT CFK

- Irreversible Schädigungen
  - Abplatzungen und Ausbrüche
  - Delamination
  - Thermische Schädigungen
  
- Reversible Schädigungen
  - Gratbildung
  - Ausfransungen



# KÜHLSCHMIERSTOFFE ALS LÖSUNGSANSATZ

## ■ Potenziale

- Staubbindung
- Werkzeugstandzeit
- Produktivitätssteigerung
- Bearbeitungsqualität



## ■ Bedenken

- Mechanische Beeinträchtigung des CFK
- Filtrationsanforderungen des KSS
- Aufwändige Bauteilreinigung

# ZUSAMMENSPIEL DER KOMPONENTEN FÜR DIE RICHTIGE QUALITÄT



## Prozess

- Geschwindigkeit
- KSS
- Verschleiß

## Werkzeug

- Substrat
- Beschichtung
- Geometrie

## Maschine

- Programmierung
- Steifigkeit
- Spannsystem

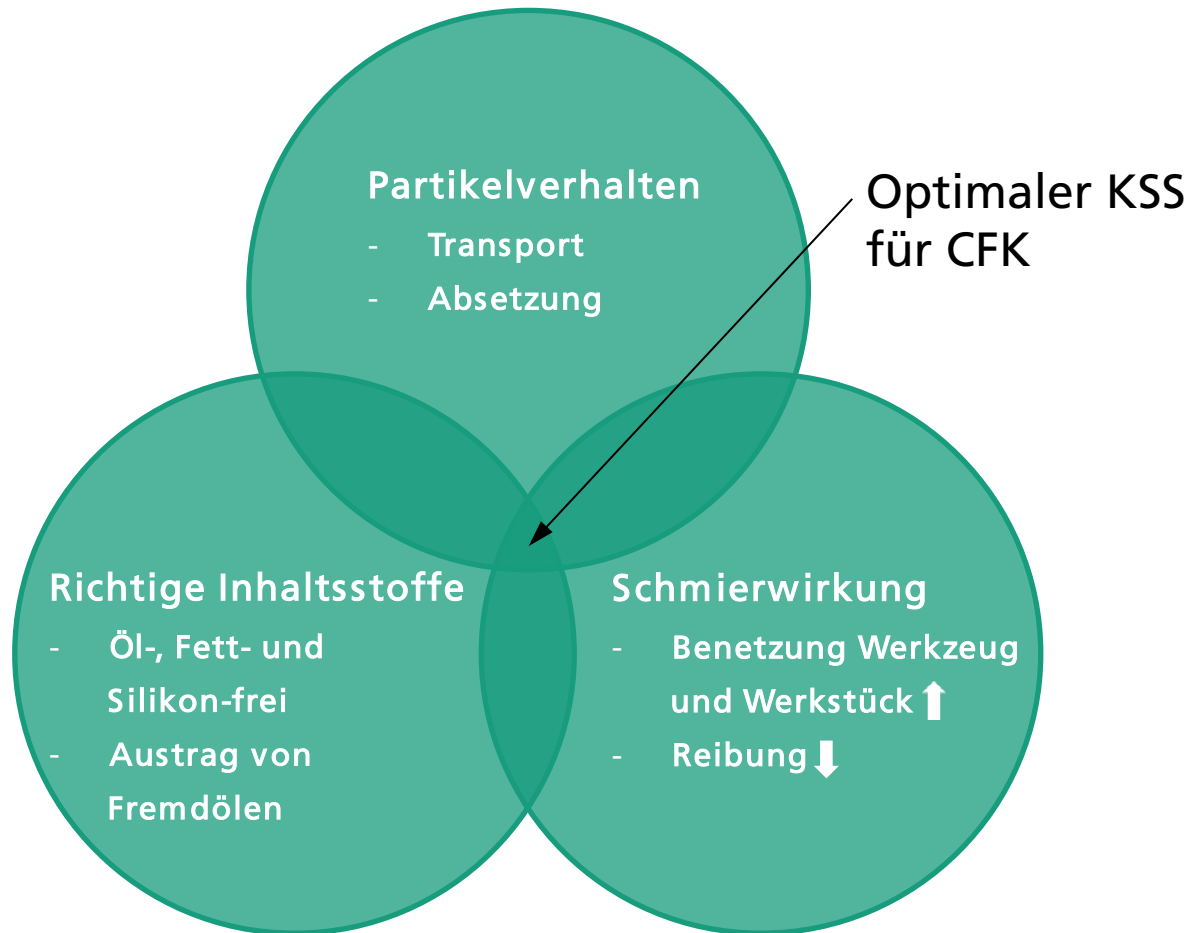
Optimaler  
Prozess



Quelle: Datron



# ANFORDERUNGEN AN OPTIMALEN KSS FÜR DIE CFK-BEARBEITUNG



# AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

## ■ Partikelmessungen Fräsen

Schnittwerte:

$vc = 150 \text{ m/min}$

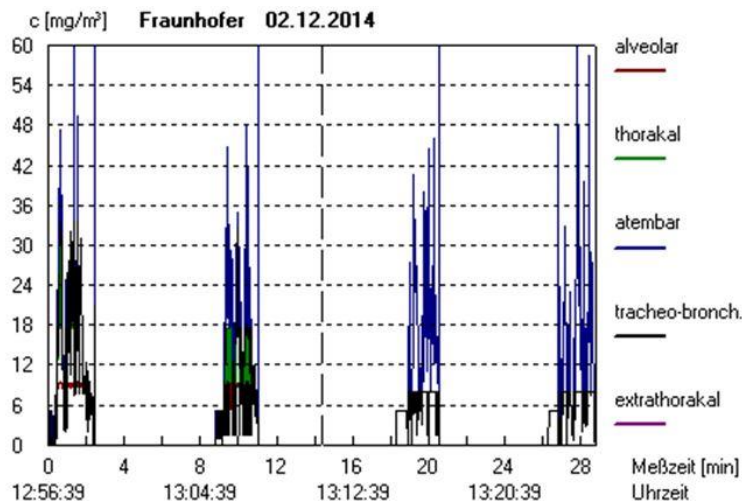
$fz = 0,06 \text{ mm}$

Versuchsmaterial:

CFK-Expoxid

Faservolumengehalt = 55 %

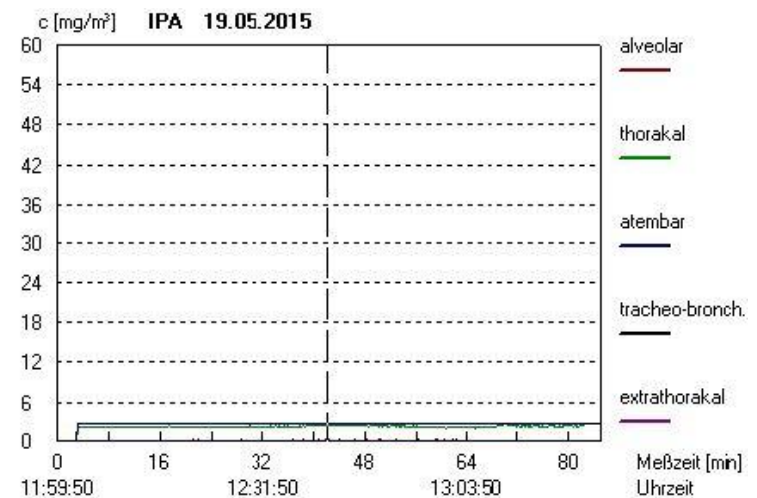
### Trocken



E-Fraktion:  $23,47 \text{ mg/m}^3 \gg 10 \text{ mg/m}^3$

A-Fraktion:  $6,18 \text{ mg/m}^3 \gg 1,25 \text{ mg/m}^3$

### Nassfräsen



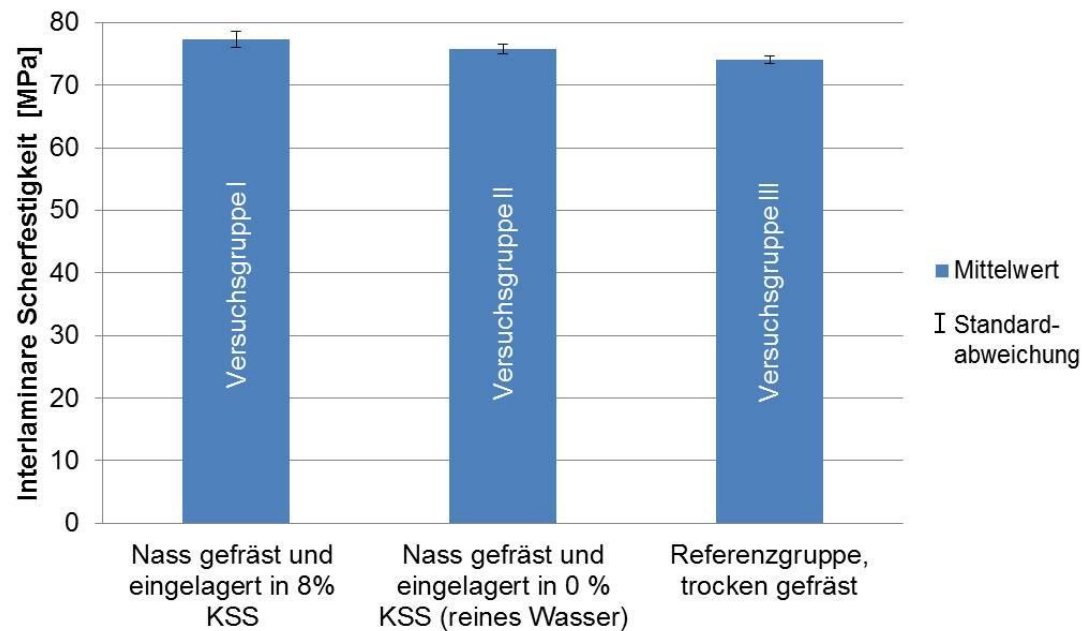
E-Fraktion:  $2,37 \text{ mg/m}^3 \ll 10 \text{ mg/m}^3$

A-Fraktion:  $0,05 \text{ mg/m}^3 \ll 1,25 \text{ mg/m}^3$

# AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

## ■ Mechanische Beeinträchtigung durch KSS

### Interlaminare Scherfestigkeitsversuche nach DIN EN 2563



Schnittwerte:

$v_c = 150 \text{ m/min}$

$f_z = 0,06 \text{ mm}$

Versuchsmaterial:

CFK-Exposit

Faservolumengehalt = 55 %

Versuchsbedingungen:

Jeweils 10 CFK-Proben

96 h Einlagerungszeit je Probe

# AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

## ■ Verschleißverläufe Fräsen

Schnittwerte:

$vc = 600 \text{ m/min}$

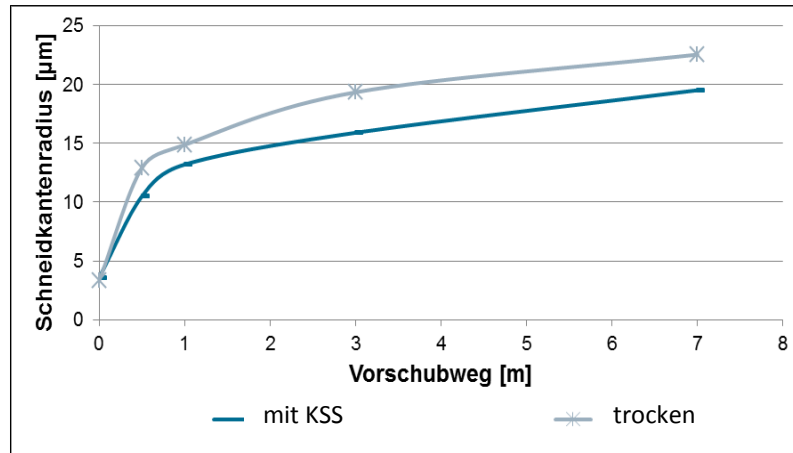
$fz = 0,06 \text{ mm}$

Versuchsmaterial:

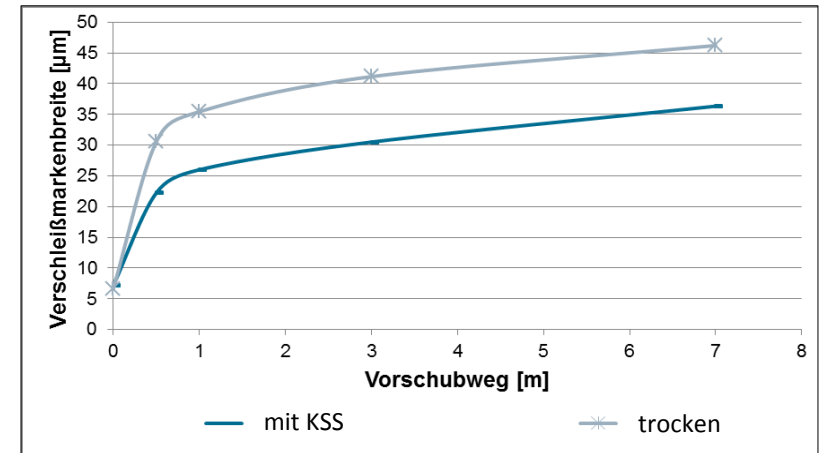
CFK-Exposit

Faservolumengehalt = 55 %

### Schneidkantenradius



### Verschleißmarkenbreite



# AKTUELLE FORSCHUNGSERGEBNISSE

- Bearbeitungsqualität nach nach 7 m Vorschubweg beim Fräsen

Schnittwerte:

$v_c = 600 \text{ m/min}$

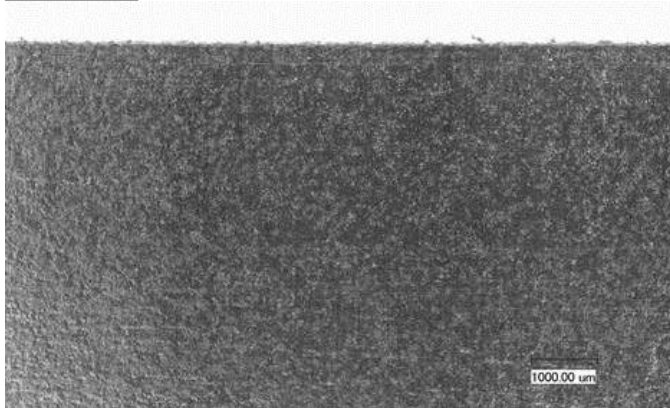
$f_z = 0,06 \text{ mm}$

Versuchsmaterial:

CFK-Exponat

Faservolumengehalt = 55 %

Mit KSS



Trocken



---

# AUSBLICK

---

- Schmierpartikel in KSS
- Flüssigpolymere als Additiv in KSS
- Werkzeuge für die spanende Nassbearbeitung von CFK

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Holzgartenstr. 17 | 70174 Stuttgart  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

M.Eng. Robert Beckenlechner  
Telefon +49 711 970-1567  
[robert.beckenlechner@ipa.fraunhofer.de](mailto:robert.beckenlechner@ipa.fraunhofer.de)