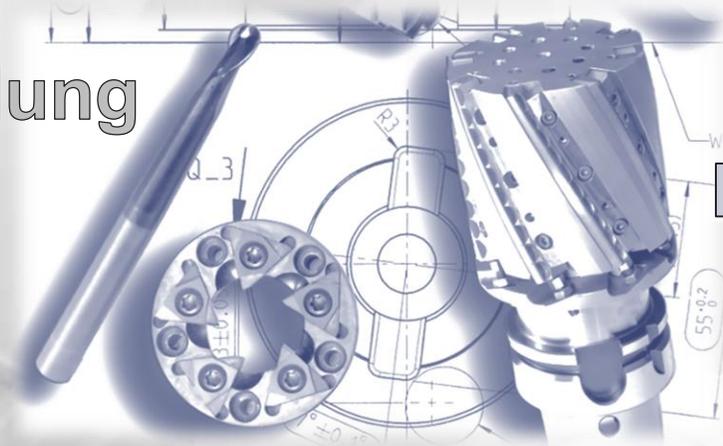




Entwicklung



Forschung



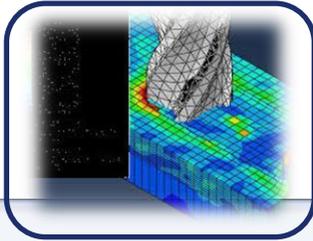
Dienstleistung

# „Potentiale zur Leistungssteigerung von PKD-Werkzeugen“ ...von der Makrogeometrie über die Schneidkante bis zu Verschleißschutzschichten

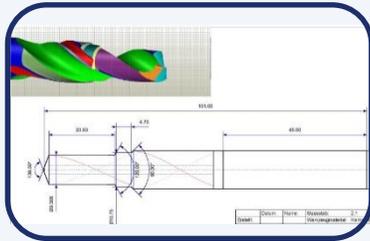
Dr. Florian Welzel, Dr. Heiko Frank

# Entwicklung von Präzisionswerkzeugen

## Prozesssimulation

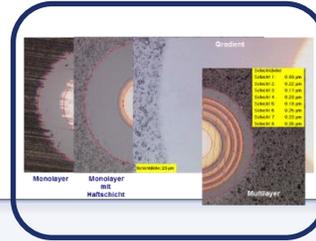


## Tool Design

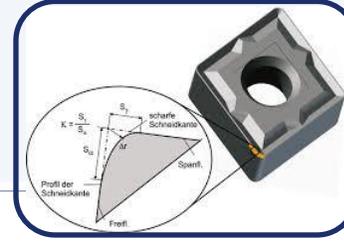


## Fertigung von Grundkörpern

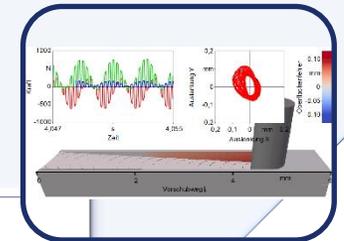
## Beschichtung



## Tool Inspect



## Schneidkantenbearbeitung



## Tool Performance

## 1. Steigerung der Leistungsfähigkeit von PKD-Werkzeugen

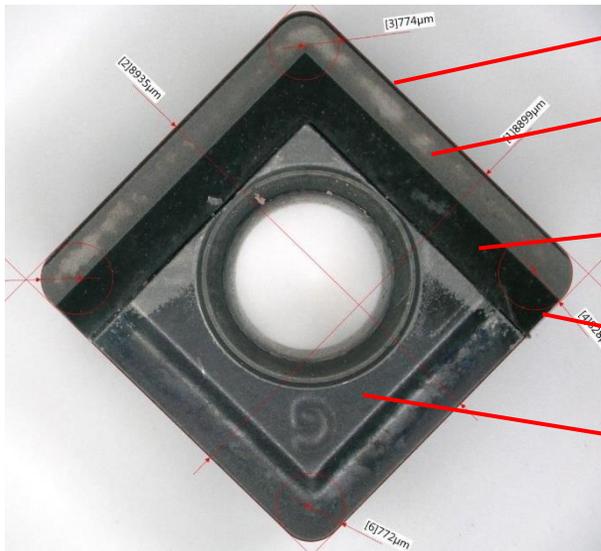
- **Optimierung der Makrogeometrie zur Gratminderung beim Bohren**
- **Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens**
  - Herausforderungen bei der Beschichtung von PKD-Schneidstoffen
  - Einsatz multifunktionaler Beschichtungen
  - Ergebnisse beim Zerspanen von EN-GJS-600-3
  - geplante systematische Untersuchungen zur PKD-Beschichtung / IGF-Projekt „DiaCoat“
  - Vergleich von PKD-Schneidstoffen mit DLC-Beschichtungen

## 2. Wirtschaftliche Alternativen

- **Einsatzpotenzial von ta-C Schichten auf Hartmetall**

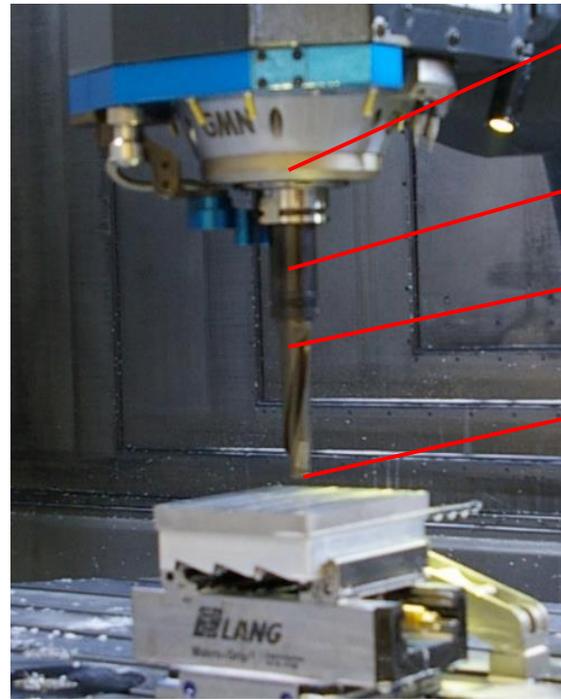
# Optimierung der Makrogeometrie zur Gratminderung beim Bohren

**Ziel:** Entwicklung eines Bohrwerkzeugs mit PKD-bestückten Wendeschneidplatten zum gratminimalen Bohren von Querbohrungen bzw. Bohrungen mit schrägen Austrittsflächen in Aluminiumgusslegierungen



- gelaserte WSP-Kontur
- gelaserte Spanleitstufe
- geschliffene PKD-Oberfläche (vom Hersteller)
- eingelöteter PKD-Blank
- Hartmetall-WSP als Träger für PKD-Blank

Referenz (CVD):  
WSP 880-05 03 W08H-P-MS N124  
WSP 880-05 03 05H-C-LM N134

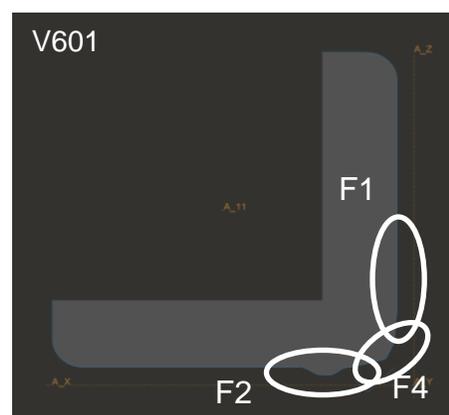
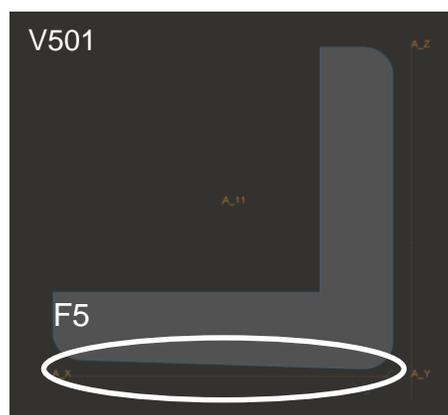
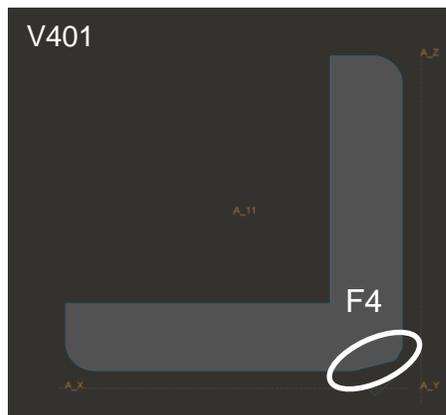
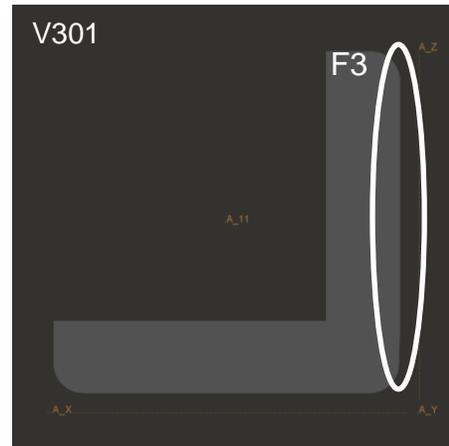
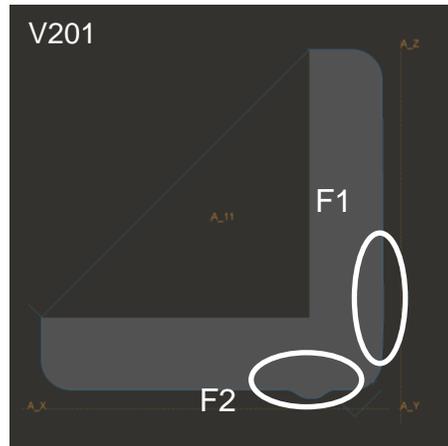
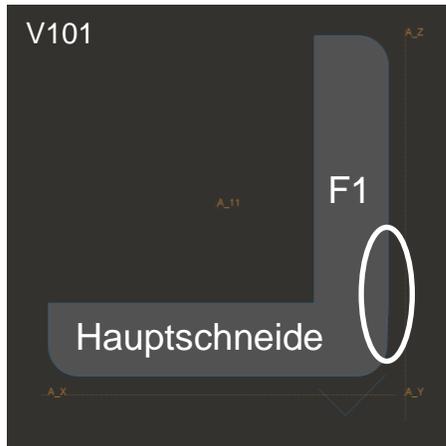


- Maschinenspindel DMU 125 Duoblock
- Werkzeug Sandvik:
  - Adapter C4-390.410-63 080C
  - Bohrer CoroDrill 880-D2500C4-04
- Werkstück: AlSi10Mg
- Aufspannung: Lang Makro-Grip

# Optimierung der Makrogeometrie zur Gratminderung beim Bohren

## Geometrische Variationen

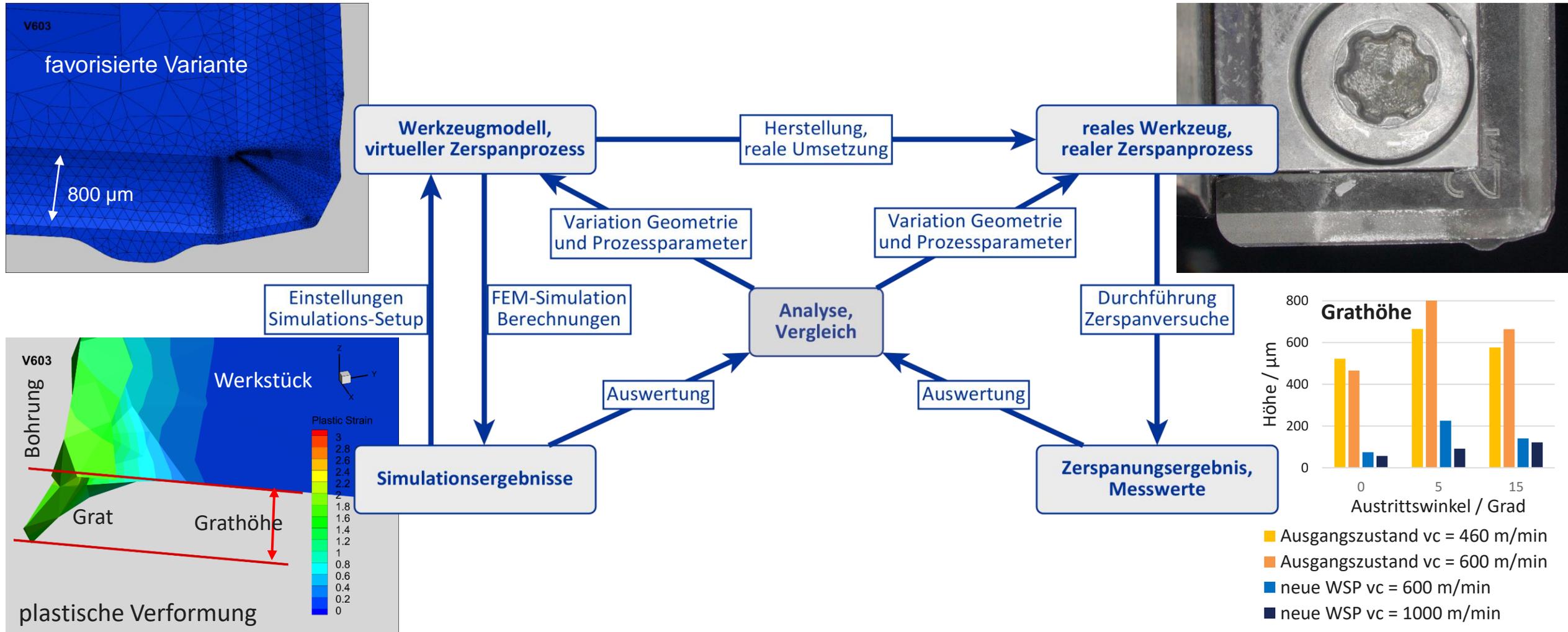
Bestückungsvariante: PKD-Blanks Fa. Saint Gobain



Feature	Beschreibung
F1	<b>Übergang Schneidecke zur Umfangschneide mit einer Stufe</b> , sodass der fertige Bohrungsdurchmesser im Prinzip nicht in einem Schnitt gefertigt wird
F2	<b>Kontur Hauptschneide</b> so geformt, dass bei einer Neigung zur Kappenbildung die Kappe abgetrennt wird bevor die Schneidecke am Bohrungsaustritt in den Schnitt kommt
F3	<b>Verlauf der Schneidecke</b> so ausgeformt, dass der Winkel zur Umfangsschneide gleichbleibend verläuft; Winkel zwischen Umfangsschneide und Bohrungswand wird verringert
F4	<b>Form der Schneidecke</b> in einzelnen Stufen ausgeführt, sodass sich der Druck auf das Werkstückmaterial stufenweise erhöht und nicht undefiniert kontinuierlich (wie bei durchgehendem Radius)
F5	<b>Winkel der gesamten Hauptschneide</b> so geändert, dass die Schneidecke in Vorschubrichtung vorragt und zuerst an der Bohrungswand geschnitten wird
Spanleitstufe	für verbessertes Einrollen des Spans und damit bessere Spanbildung allgemein

# Optimierung der Makrogeometrie zur Gratminderung beim Bohren

## Entwicklungsprozess & Ergebnisse

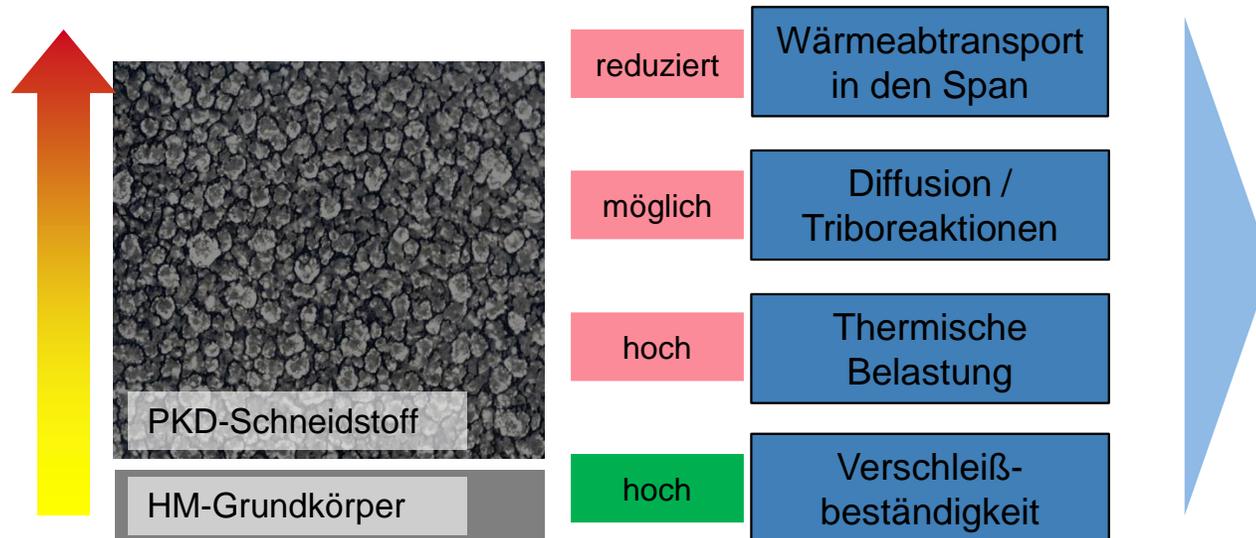


# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Randbedingungen beim Einsatz von PKD-Schneidstoffen

Affinität des PKD (Kohlenstoff) zu eisenhaltigen Werkstoffen  
(Diffusion und FeC-Bildung)

Hohe Kühlung zur Reduzierung des Verschleißfortschritts bei PKD  
notwendig



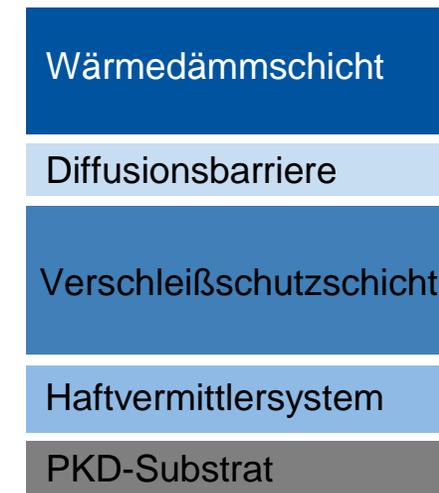
Randbedingungen beim Einsatz von PKD-Schneidstoffen

## Herausforderungen bei Beschichtung von PKD

Beschichtung kommt bisher nicht zum Einsatz  
(Nutzeffekt bisher noch nicht nachgewiesen)

thermisch isolierende und diffusionshemmende  
Verschleißschutzschicht notwendig

Gewährleistung der Schichthaftung auf chemisch inerte  
Oberfläche herausfordernd



Anforderung an den Schichtaufbau

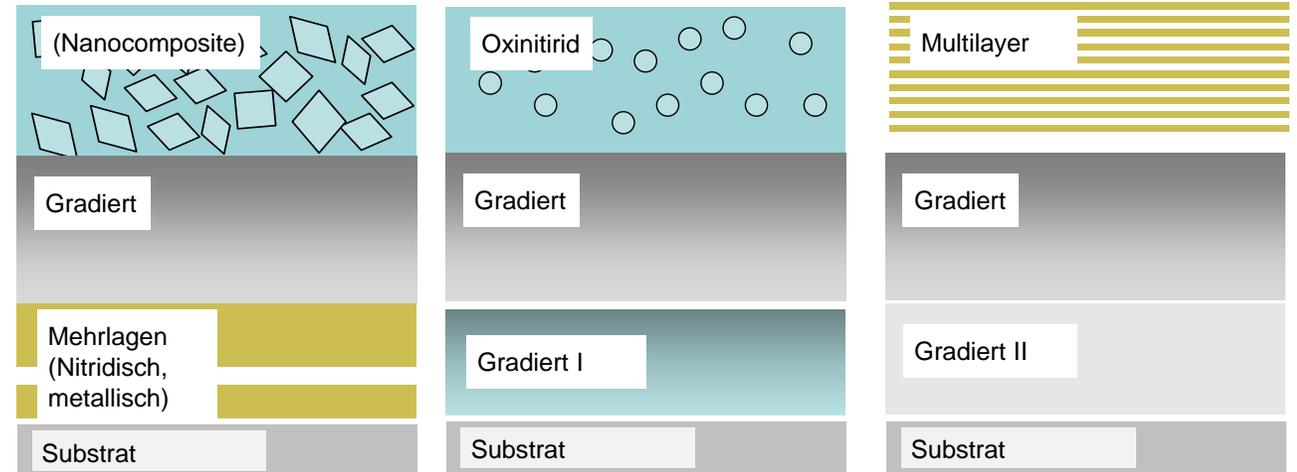
# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Einsatz multifunktionaler Beschichtungen

### Lösungsansatz

- Wärmedämmung / Thermische Isolation
  - O / Si-dotierte Decklage
  - Monoblock / Gradierte Struktur
- Diffusionsverhalten
  - Si / Cr -dotierte Zwischenlage
  - Monoblock / Gradierte Struktur
- Verschleißverhalten
  - AlTiN / AlCrN-basierte Schicht
  - Multilagenstruktur
- Eigenspannungsausgleich
  - Modifizierte Abscheidebedingungen
  - Dotierung
- Haftungsoptimierung
  - Haftvermittlerschichtsystem

### Schichtstrukturen



# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Haftung auf schwer beschichtbaren Werkstoffen

### Spezielle Haftvermittlerschichten

- Verbesserung der Haftfestigkeit durch:
  - Mechanische Vorbehandlung
  - Chemisches Ätzen
  - Ionenätzen
  - Auf das jeweilige Substrat abgestimmt
  - Haftvermittlerschicht
- Nutzen spezieller Haftvermittlerschichten



Mehrlagig



gradiert I



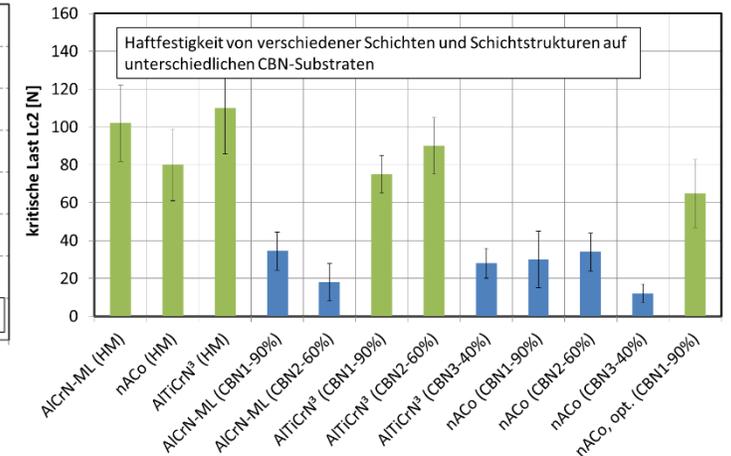
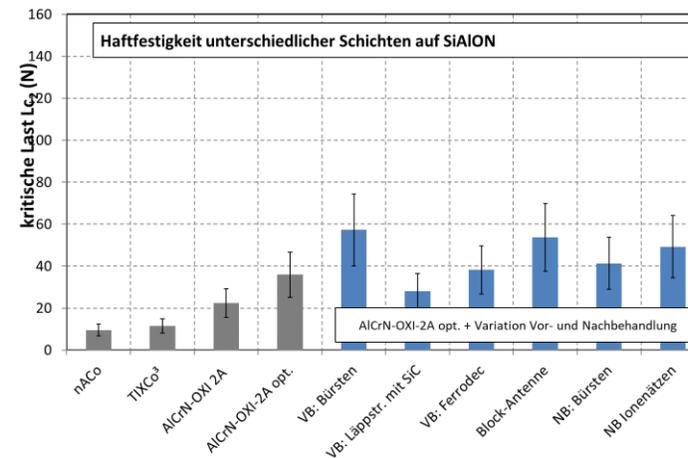
gradiert II

Patent DE 10 2008 015 013: Haftfestes Schichtsystem auf CBN-Substraten

Patent DE 10 2010 006 267: Haftfestes mehrlagiges Schichtsystem und Verfahren zu dessen Herstellung

### Haftung auf CBN und Keramik

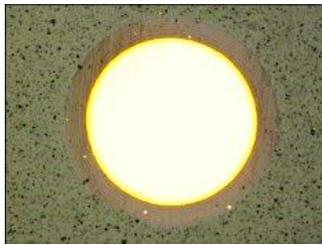
- Nachweis der Gewährleistung der Haftung
  - Auf verschiedenen Grundwerkstoffen
  - Gute Haftfestigkeit auf Keramik und CBN möglich
  - Haftung auf HM noch nicht erreicht
- Haftfeste Beschichtung von PKD
  - Qualitativer Nachweis der Haftung in Zerspanversuchen
  - Systematische Untersuchungen stehen noch aus



# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Einsatz multifunktionaler Beschichtungen auf PKD – Zerspanung von EN-GJS-600-3

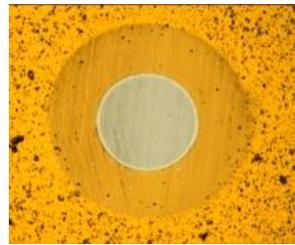
### Erarbeitung verschiedener Beschichtungen



ZrN-OXI-2A



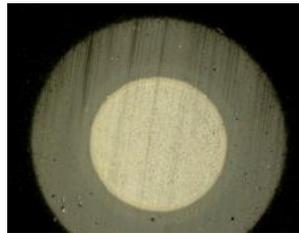
nACrO<sub>3</sub>-LGD



TiN



AlCrN-OXI-2D



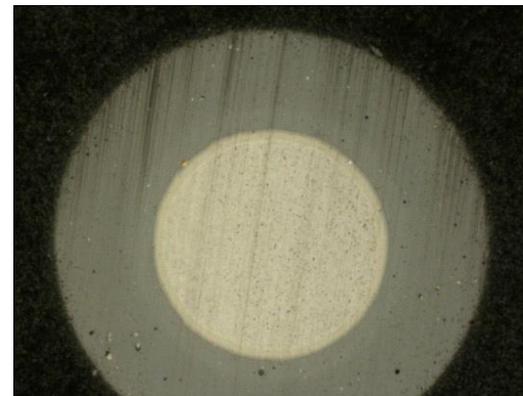
AlCrN-OXI-2A-E4



AlTiCrN-G-V2

### Erfolg versprechende Schichtsystem für die Zerspanung

#### AlCrN-OXI-2A (Oxinitrid)



- Gradierte CrN-Haftvermittlerschicht
- Dünne AlCrN-Kernschicht (0,5 µm)
- AlCrON-Deckschicht (10% O-Anteil)
- Haftfestigkeit (auf HM) Lc2=111 N
- Härte H<sub>U</sub>=38 GPa
- Eindringmodul E<sub>IT</sub>=413 GPa
- Thermische Leitfähigkeit 2 W/m/K

#### AlTiCrN-G (gradiert)



- Gradierte CrTiN-Haftvermittlerschicht
- Gradierte AlTiCrN-Kernschicht
- Dünne AlTiCrN-Deckschicht (0,5 µm)
- Haftfestigkeit (auf HM) Lc2=103 N
- Härte H<sub>U</sub>=48 GPa
- Eindringmodul E<sub>IT</sub>=421 GPa
- Thermische Leitfähigkeit 3 W/m/K

# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Ergebnisse beim Zerspanen von EN-GJS-600-3

### (I) Einsatzbedingungen und Werkzeugverschleiß

#### Prozess

Maschine: 3-Achs-Fräsmaschine DMC 64V linear (Deckel Maho)

Werkstoff: EN-GJS-600-3

KSS: Trockenbearbeitung, Luftkühlung

Werkzeug: SNGA 120412, Schneidstoff: PDC-S-MW (PKD, mittlere Korngröße 8-10  $\mu\text{m}$ )

#### Parameter

$v_c = 300 \text{ m/min}$ ,

$f_z = 0,20 \text{ mm}$ ,

$a_p = 2,0 \text{ mm}$ ,

$a_e = 18,7 \text{ mm}$

langsames Ein- und Ausfahren mit

$f_z \text{ (mm/U): } 0,04 \text{ von außen beginnend}$



Verschleißmarke zum Standzeitende: Unterschiedliche Standzeit der verschiedenen Schichten



Unbeschichtet

1,4 m

AlTiCrN-G

3,6 m

nACrO3-LGD

2,8 m

TiN

2,4 m

AlCrN-OXI-2D-E4

2,4 m

AlCrN-OXI-2A-E4

3,2 m

ZrN-OXI 10%

2,4 m

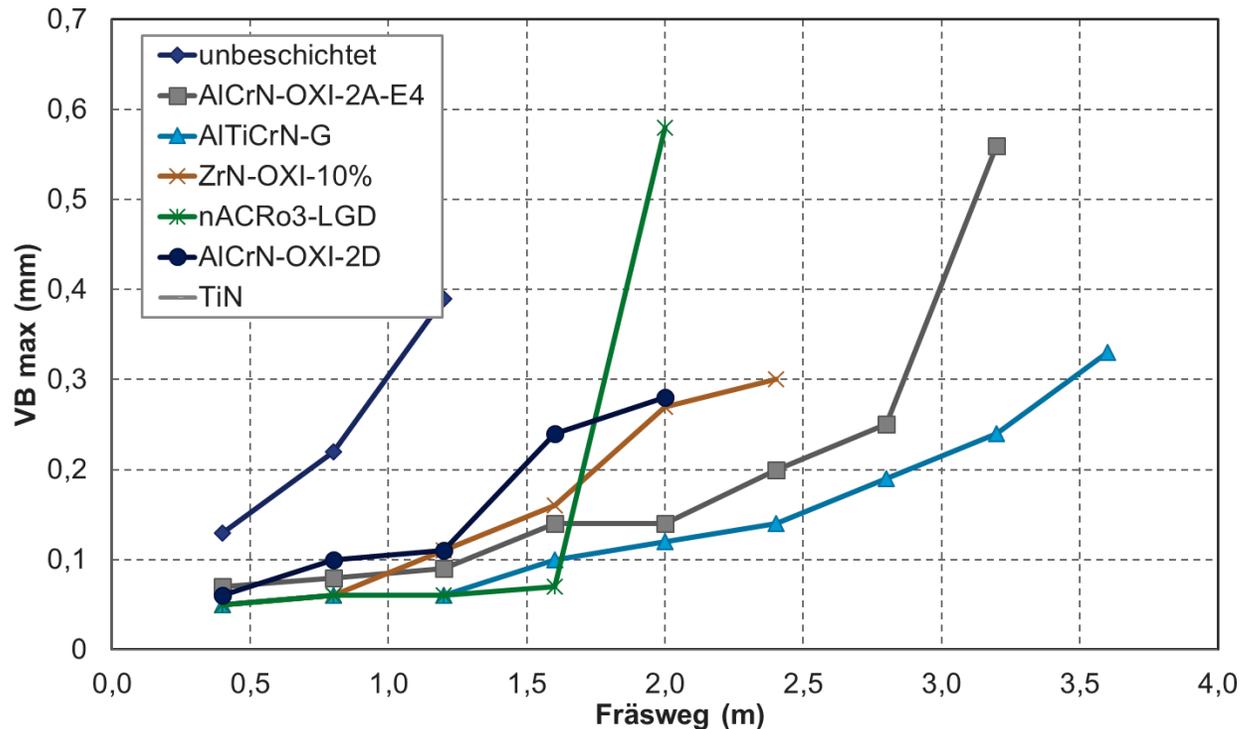
# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Ergebnisse beim Zerspanen von EN-GJS-600-3

### (II) Analyse verschiedener Schichtsysteme

Verschleißmarkenbereite in Abhängigkeit vom Fräsweg

Oxidschichten und Nanocomposite-Schichten mit gleichmäßigen und geringerem Verschleiß



### Parameter

$v_c = 300$  m/min,

$f_z = 0,20$  mm,

$a_p = 2,0$  mm,

$a_e = 18,7$  mm

Druckluftkühlung (6 bar) / Trockenbearbeitung

# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

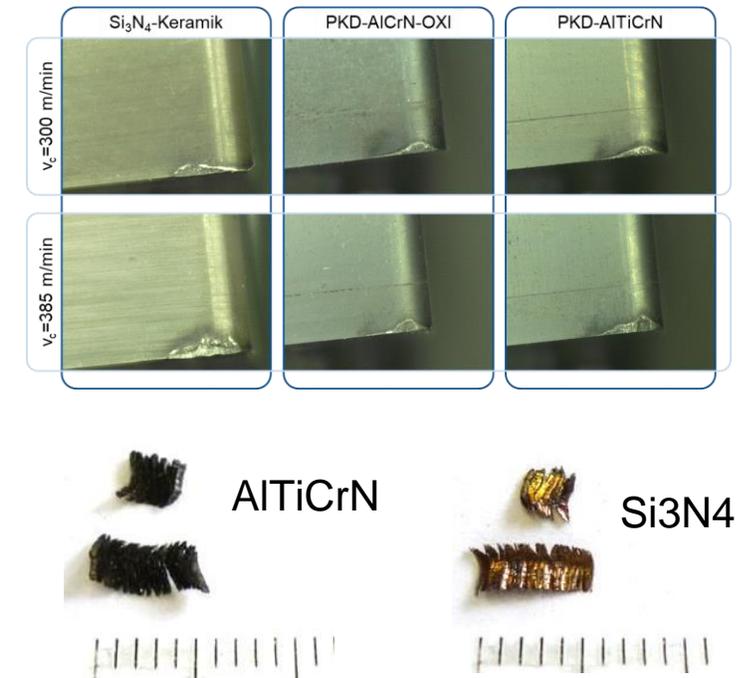
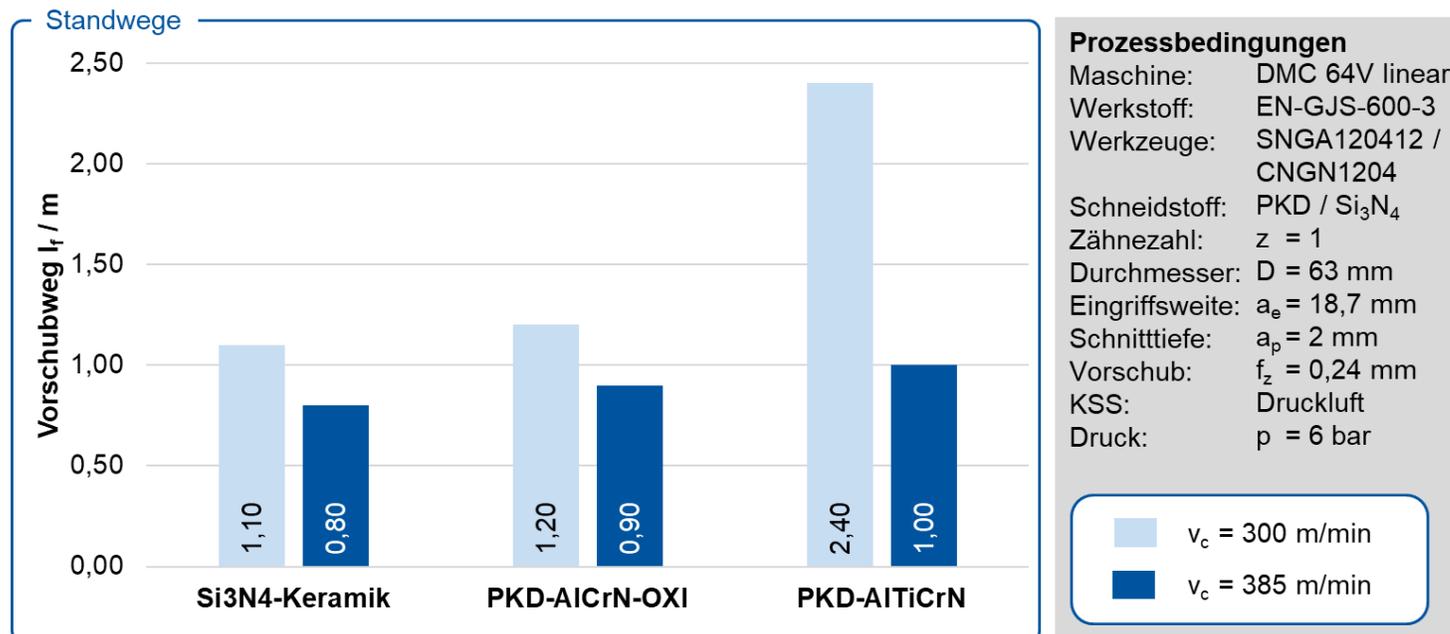
## Ergebnisse beim Zerspanen von EN-GJS-600-3

### (III) Standzeitversuche gegen keramische Schneidstoffe

Bei geeigneter Parameterwahl: beschichtete PKD mit Steigerung des Standwegs im Vergleich zu Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

Unterschiedliches Verschleißbild bei der Bearbeitung mit Keramik (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) und PVD beschichtetem PKD (PDC-S)

Höhere Temperatur der Späne bei Einsatz beschichteter Wendeschneidplatten (Wärmedämmeigenschaften).



# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Geplante systematische Untersuchungen zur PKD-Beschichtung / IGF-Projekt „DiaCoat“

Hohe Werkzeugbelastung bei der Zerspanung von Guss erfordern hochharte Schneidstoffe



PKD-Schneidstoffe  
(hohe Härte / Abrasionswiderstand)

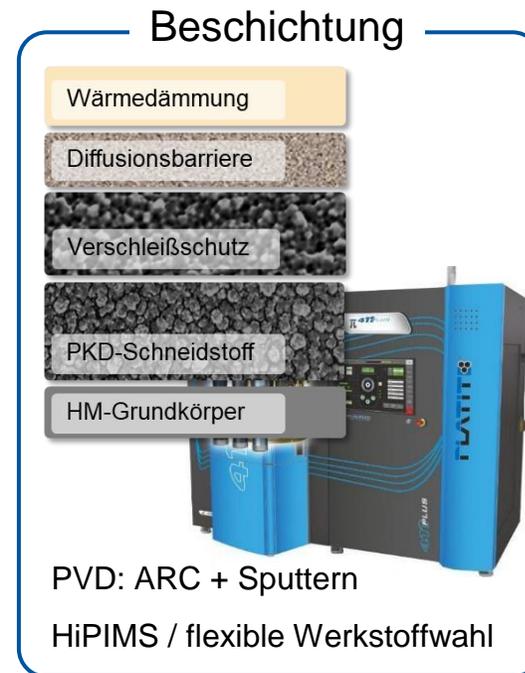


Thermische Instabilität bei hohen  $v_c$  bzw. Temperaturen  $> 700\text{ °C}$

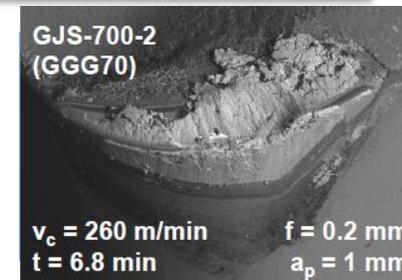
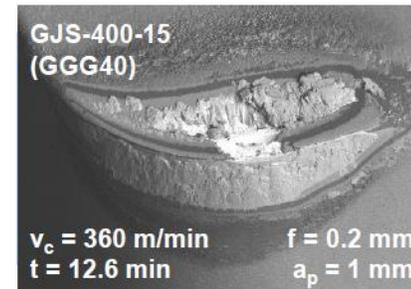


### Zielstellung

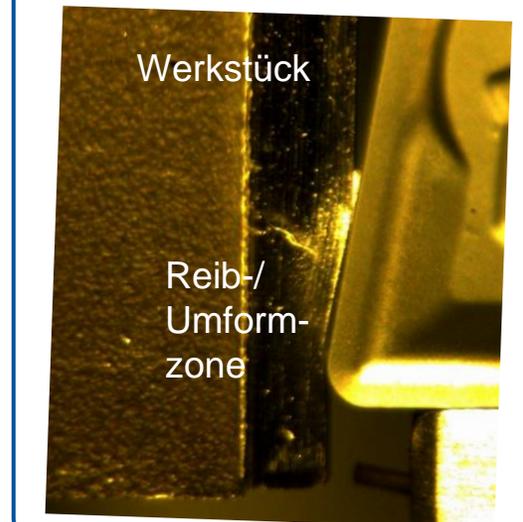
Reduktion thermischer Verschleißeffekte und Diffusionseffekte durch wärmedämmende und diffusionshemmende Beschichtung



### Verschleißmechanismen



### Tribologie



# Beschichtung von PKD zur Verbesserung des Einsatzverhaltens

## Geplante systematische Untersuchungen zur PKD-Beschichtung / IGF-Projekt „DiaCoat“

### Entwicklungsschwerpunkte



GFE – Gesellschaft für  
Fertigungstechnik und Entwicklung  
Schmalkalden e.V.



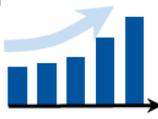
#### Entwicklung von Beschichtungen

- Entwicklung thermisch optimierter Schichten
- Abscheiden von Beschichtungen



#### Optimierung der Schichthaftung

- Haftungsanalyse von Schichten auf PKD-Schneidstoffen
- Haftungs- und Schichtoptimierung



#### Schichtcharakterisierung

- Metallographische Analyse
- Werkzeugcharakterisierung
- Beurteilung der Schichteigenschaften



#### Schicht- und Haftungsoptimierung

- Anpassung der Schichteigenschaften
- Optimierung der Schichthaftung
- Schichtcharakterisierung



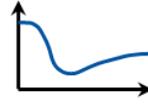
#### Zerspanbarkeitsuntersuchung

- Dreh- und Fräsversuche
- Bewertung der Beschichtungen anhand der Zerspanbarkeitskriterien



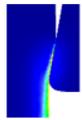
#### Tribologische Untersuchungen

- Aufbauen eines Analogieprüfstands
- Tribologische Untersuchungen



#### Simulation des thermischen Einflusses

- Aufbauen eines Simulationsmodells
- Analyse der thermischen Wirkung der Beschichtungen

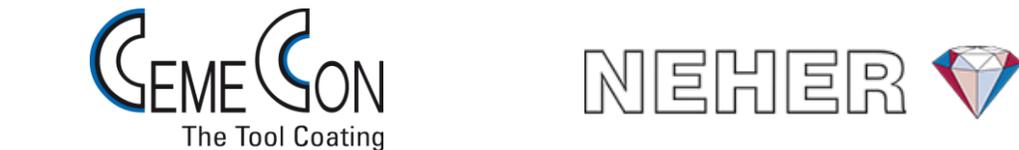


#### Technologieoptimierung

- Optimieren des Zerspanprozesses
- Möglichst großer Parameterraum
- Dreh- und Fräsversuche



### Projektbegleitender Ausschuss



# ta-C Beschichtungen als Alternative für PKD und CVD?

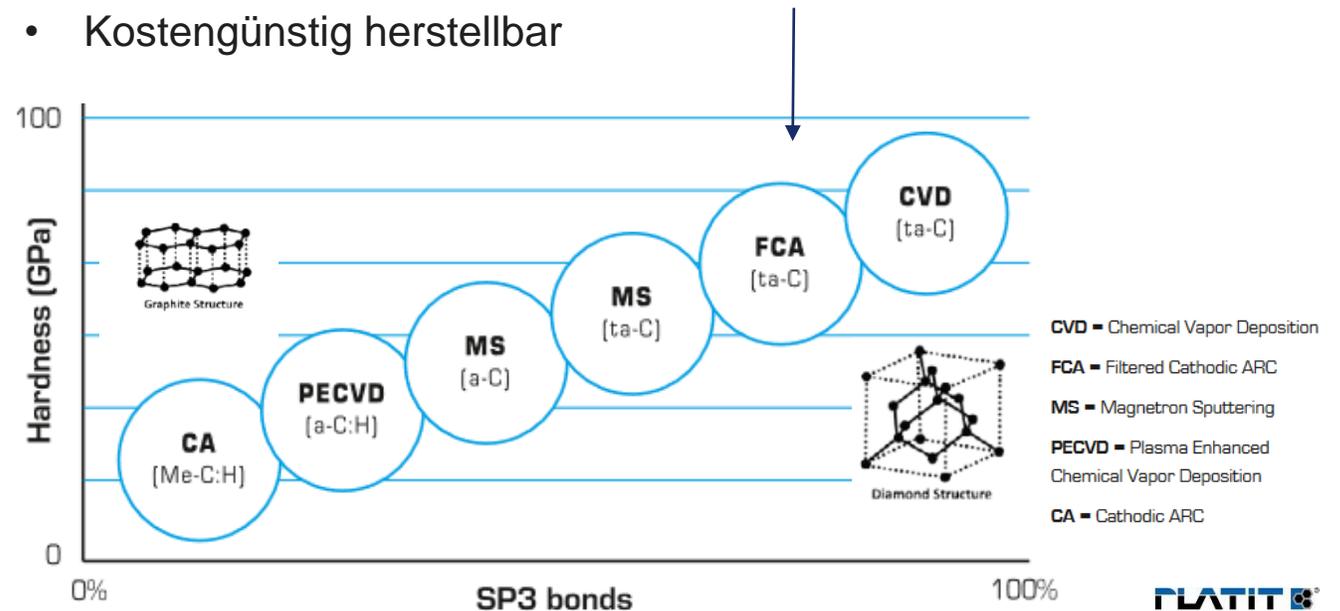
## Diamant und diamantartige Schneidstoffe:

- Höchste Härte und Verschleißbeständigkeit
- Sehr gutes Einsatzverhalten
- Hoher Kostenaufwand



## DLC- und ta-C Schichtsysteme

- Diamant-Eigenschaften realisierbar (z.B. hinsichtlich Härte/Verschleiß)
- Schichtstruktur an Aufgabenstellung anpassbar
- Kann konturnah abgeschieden werden
- Kostengünstig herstellbar



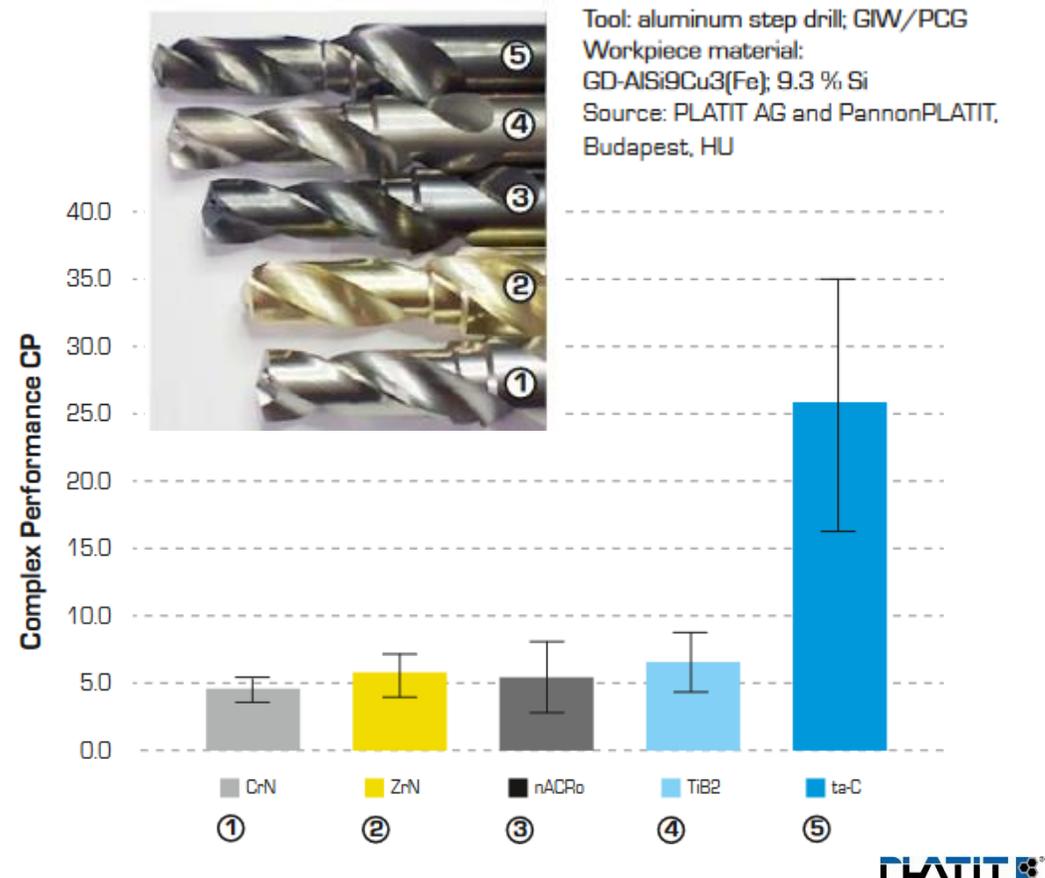
## Großes Einsatzpotenzial von ta-C Schichten:

Bearbeitung abrasiver Werkstoffe  
Hartmetallbearbeitung

# ta-C Beschichtungen als Alternative für PKD und CVD?

## Bohren abrasiver Werkstoffe mit ta-C Schichten

ta-C beim Zerspanen von AlSi9Cu3(Fe)  
sehr hohe Standzeitvorteile

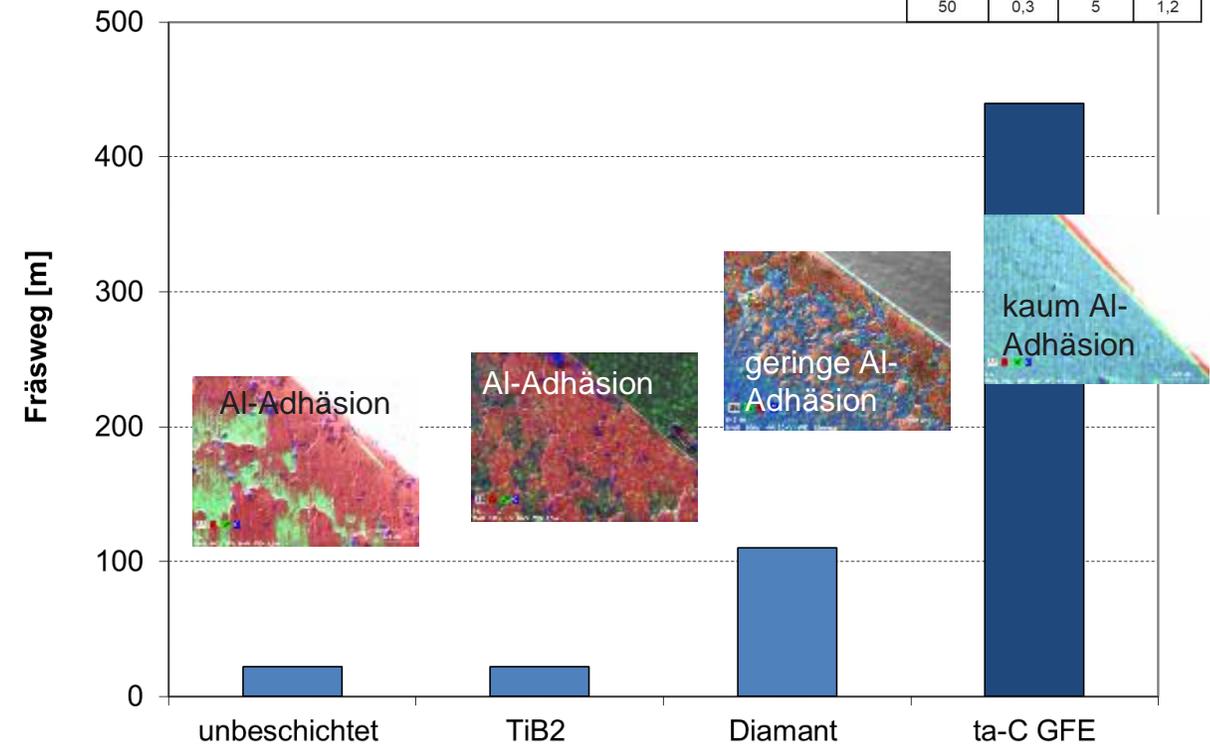


## Fräsen adhäsiver Werkstoffe mit ta-C Schichten

ta-C beim Zerspanen von AlMg4,5Mn0,7  
Reduzierung der Adhäsionsneigung

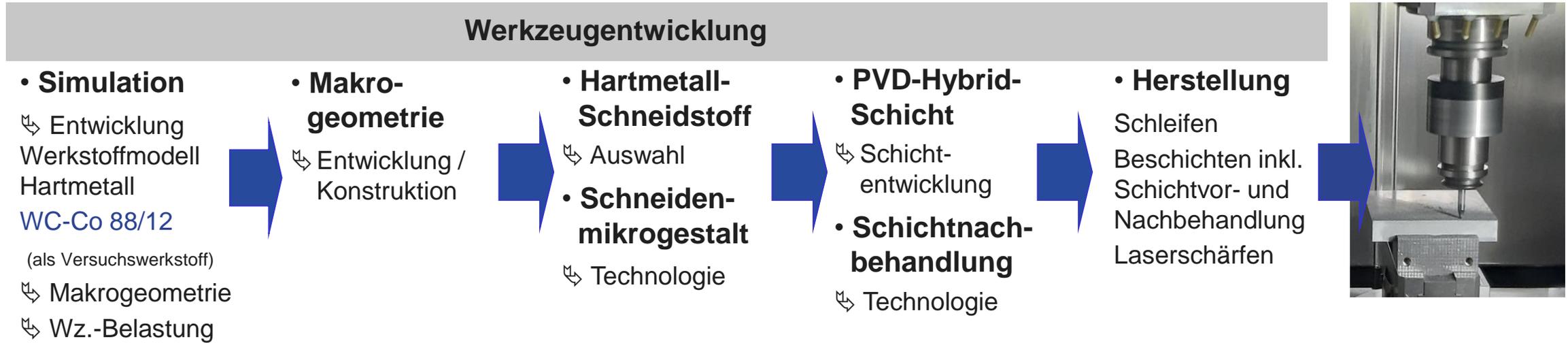


$v_c$ (m/min)	$f_z$ (mm)	$a_p$ (mm)	$a_e$ (mm)
50	0,3	5	1,2



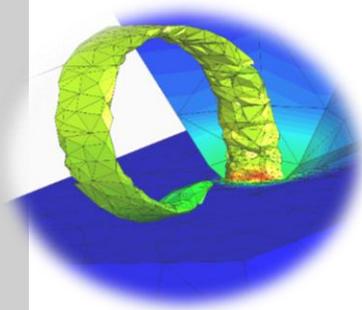
# Alternativen zu CVD und PKD – HM Zerspanung

## Fräsen von Hartmetallwerkstoffen mit PVD-beschichteten Vollhartmetall-Präzisionswerkzeugen



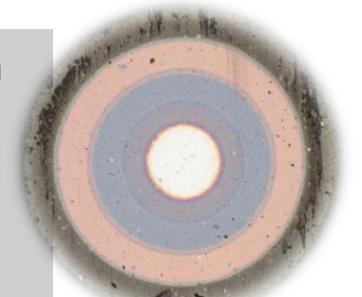
### Schwerpunkte:

Erweiterung der numerischen Zerspannsimulation auf spröde Materialien bzw. Materialien mit spröduktilen Übergang bei höheren Temperaturen (Zerspanung vom HM mittels PKD)



Hybrider PVD-Prozess: Arc + Sputtern mit ta-C- Decklage:

- extrem hart,
- sehr glatt



Kalottenschliff einer PSiX+ta-C-Schicht

