

# Erosionsschutz von CFK für Triebwerksteile

**Christoph Maurer** und Uwe Schulz

Institut für Werkstoff-Forschung

Abteilung Hochtemperatur- und Funktionsschichten

**Werkstoff-Kolloquium: Leichtbauwerkstoffe für das Triebwerk von Morgen**

**3.12.2013**

Wissen für Morgen



# Einleitung: Erosion in der Luftfahrt

Sand und Staub      Vulkanasche      Regen



Quelle: Airbus S.A.S.



Quelle: MTU

Erosionskritische Bereiche am Flugzeug



Volcanic ash, Iceland 2010

Quelle: DLR IPA

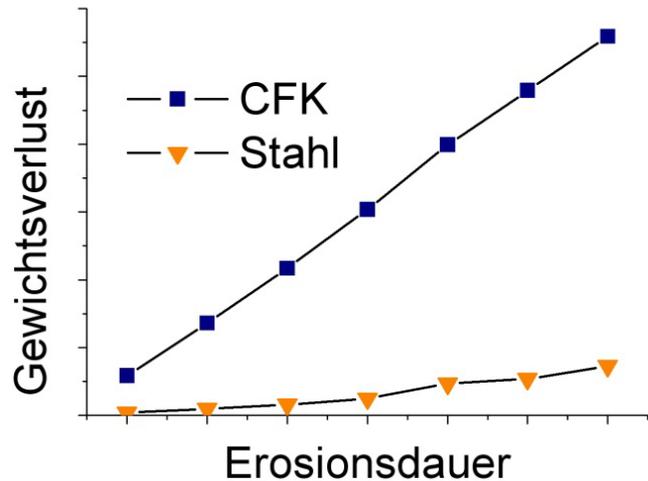


Desert dust, Libyan  
31 May 2009

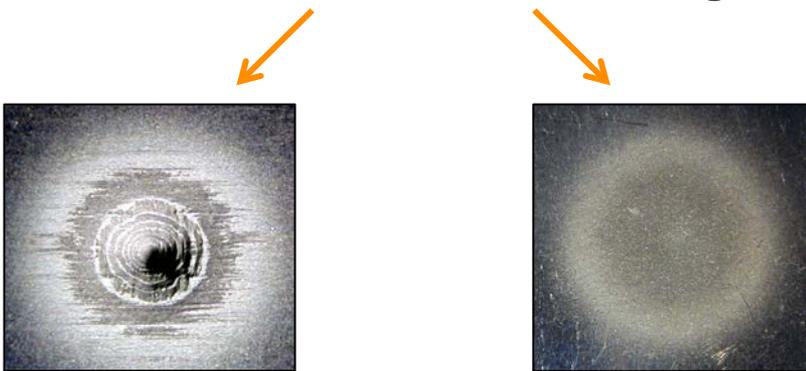
Quelle: DLR IPA



# Einleitung: Erosionsverhalten von CFK



## Erosion von CFK und Stahl im Vergleich:



## Einsatz von CFK im Triebwerk:

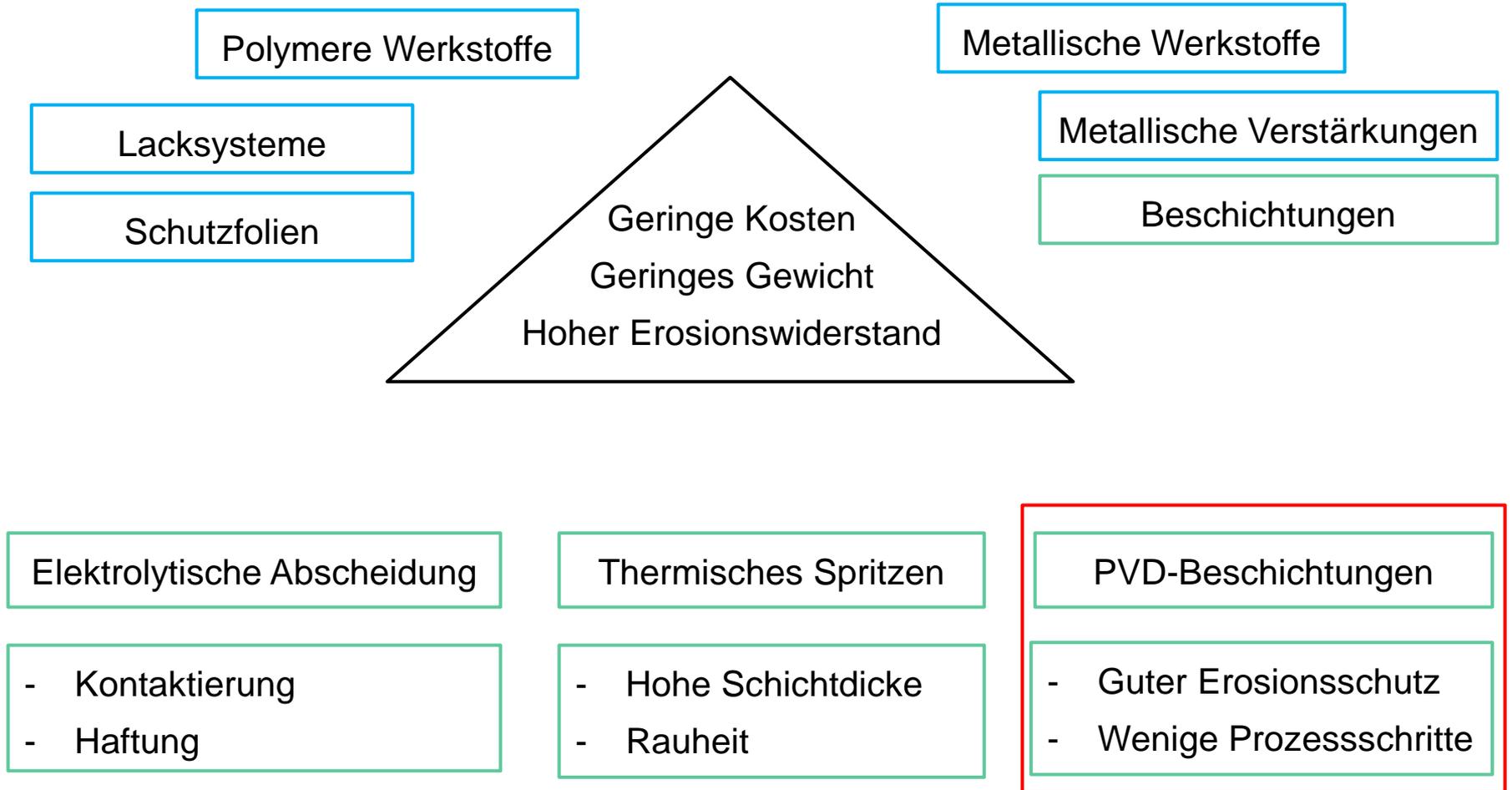


Strukturell tragende Leitgitterschaufel

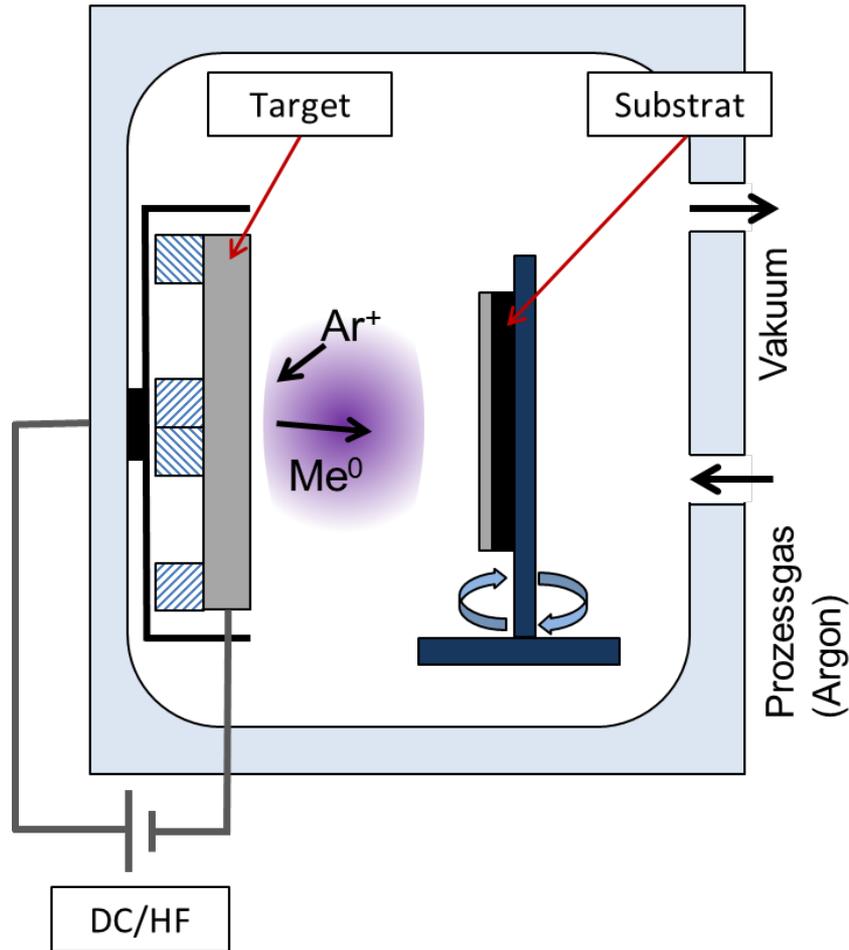
(DLR BK/Projekt Vital)



# Einleitung: Erosionsschutz von CFK



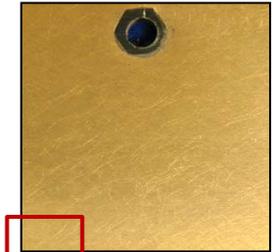
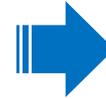
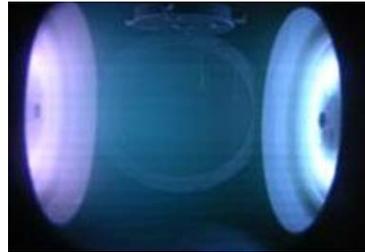
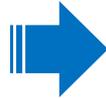
# Einleitung: Magnetronsputtern



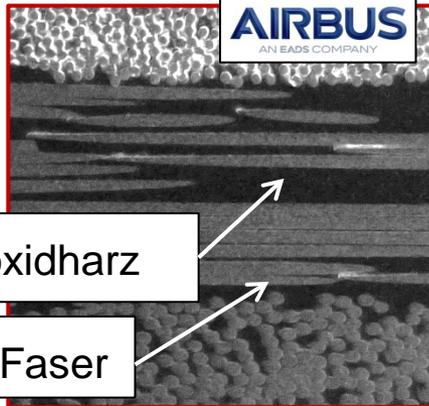
- Prozesstemperatur: 70-150°C
- Sehr gute Schichthftung durch Plasma-Vorbehandlung
- Vielzahl von Schichtmaterialien
- Geringe Rauheit



# Experimentelles: CFK- und Schichtmaterial



CFK: Zur Verfügung gestellt von:



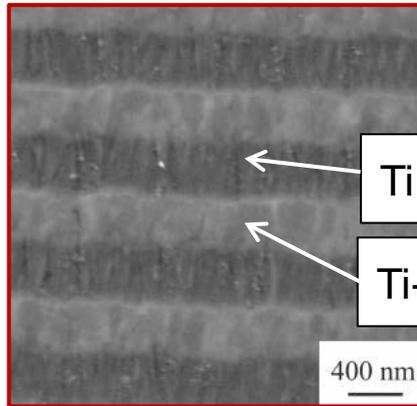
Epoxidharz

UD-Faser

Magnetronspütern

Titan

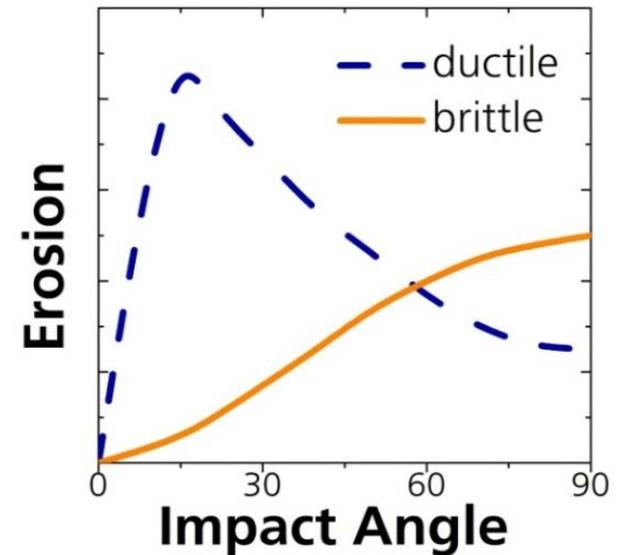
Ti/TiN Multilayer



TiN-Lage

Ti-Lage

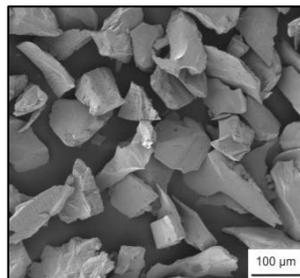
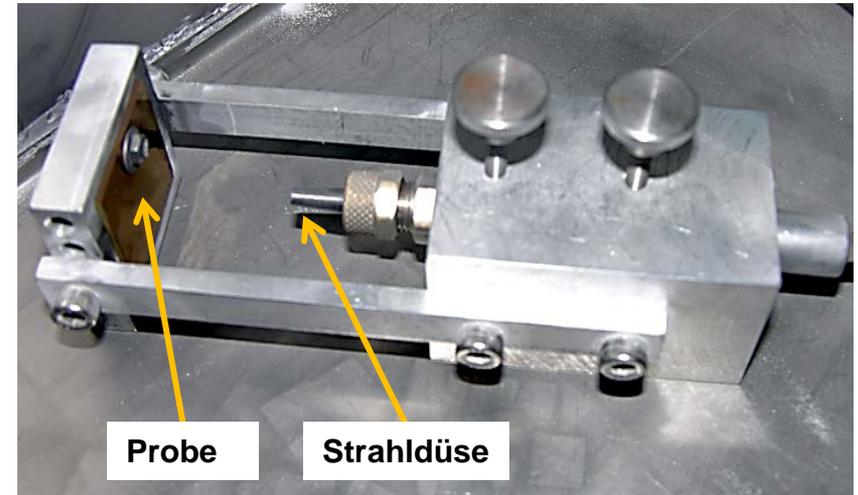
400 nm



# Experimentelles: Erosionstests

## Modifizierte Sandstrahlanlage:

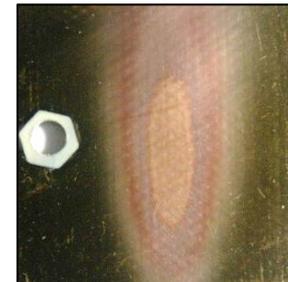
- Strahlgut Edelkorund ( $\varnothing$  90  $\mu$ m)
- Partikelgeschwindigkeit: 65 oder 94 m/s
- Prüfwinkel: 20 oder 90°
- Bestimmung des Massenverlustes



Edelkorund F180



Erosionskrater 90°



Erosionskrater 20°



# Einflussfaktoren auf das Erosionsverhalten von CFK

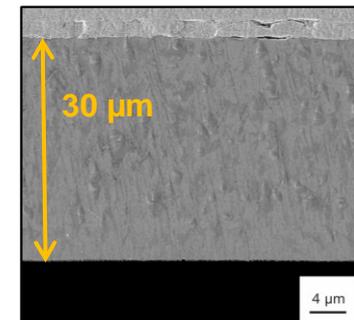
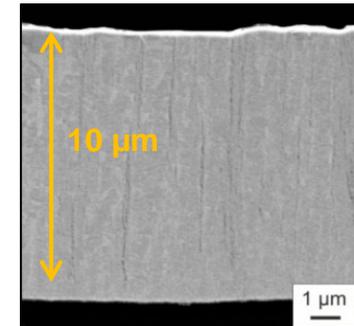
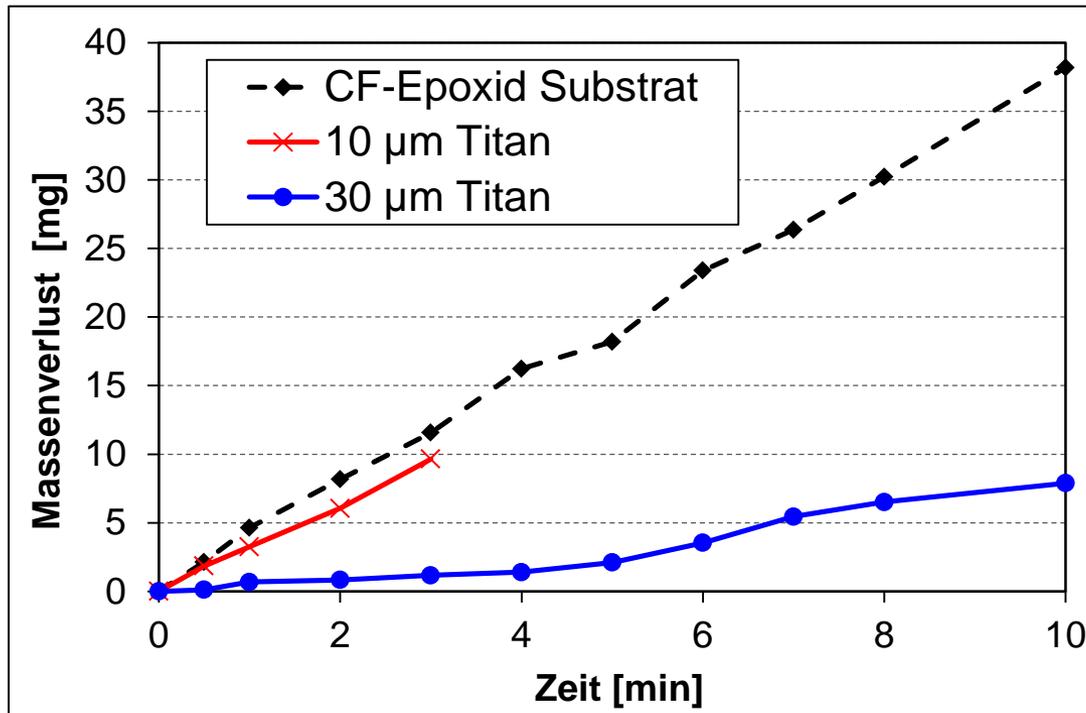
1. Einfluss der Schichtdicke

2. Einfluss des Schichtwerkstoffes

3. Einfluss der Partikelgeschwindigkeit



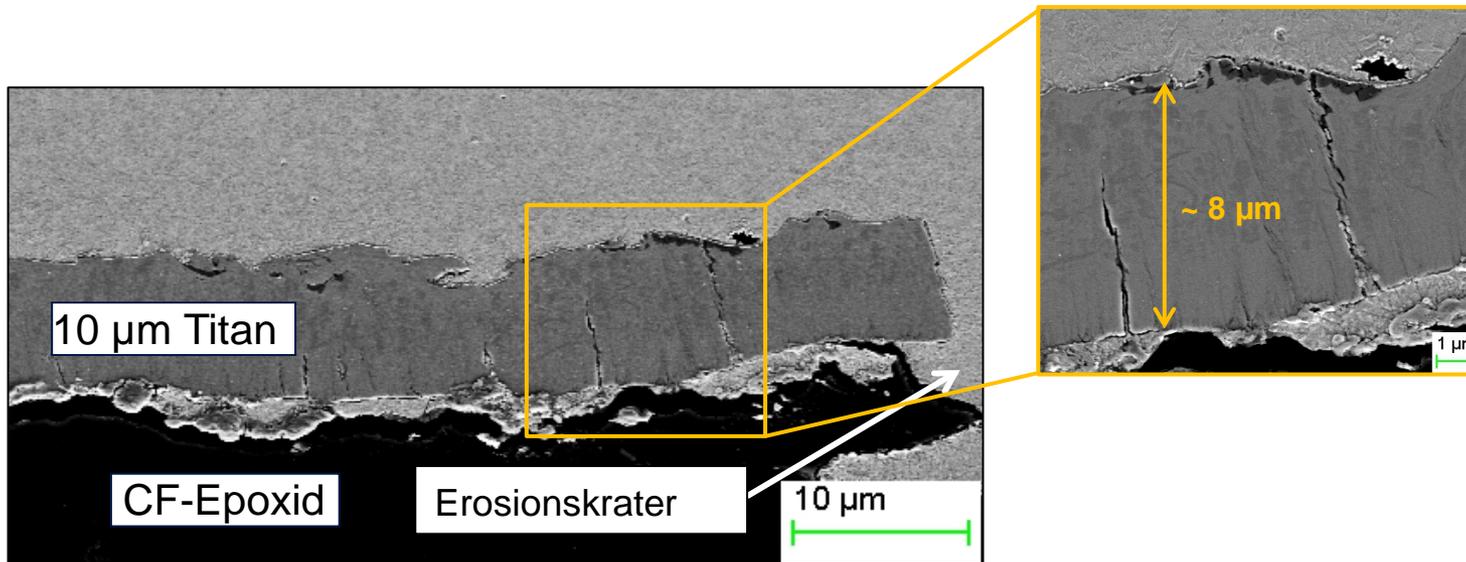
# 1. Einfluss der Schichtdicke: Ti-Beschichtungen (65 m/s & 90°)



- 10 µm Titan: schnelles Schichtversagen und schlechte Schutzwirkung
- 30 µm Titan: gute Verbesserung des Erosionswiderstandes

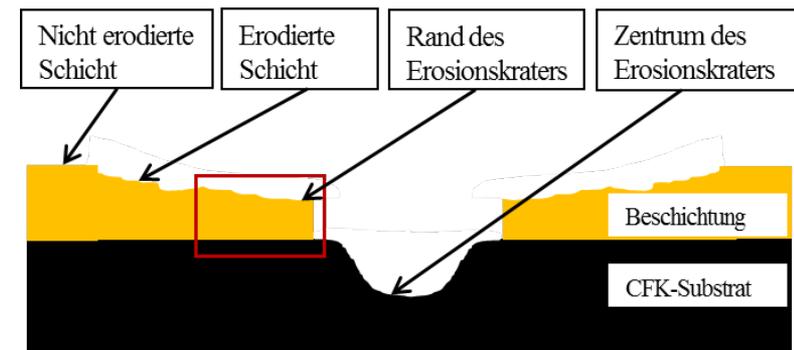


# 1. Einfluss der Schichtdicke: 10 $\mu\text{m}$ Titan im Querschliff

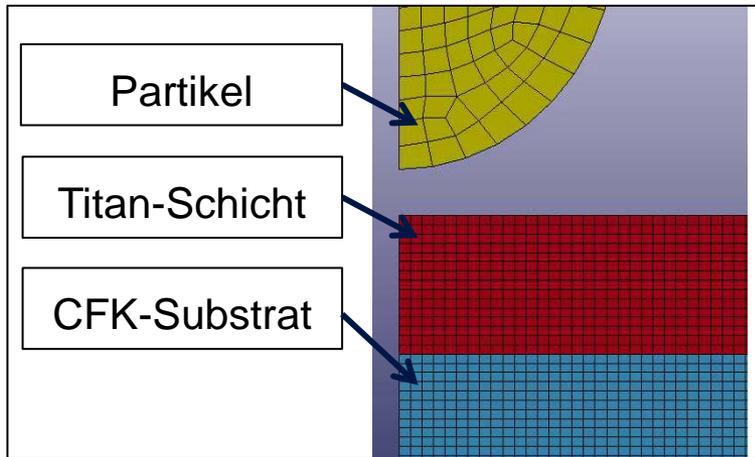


## Versagensmechanismen:

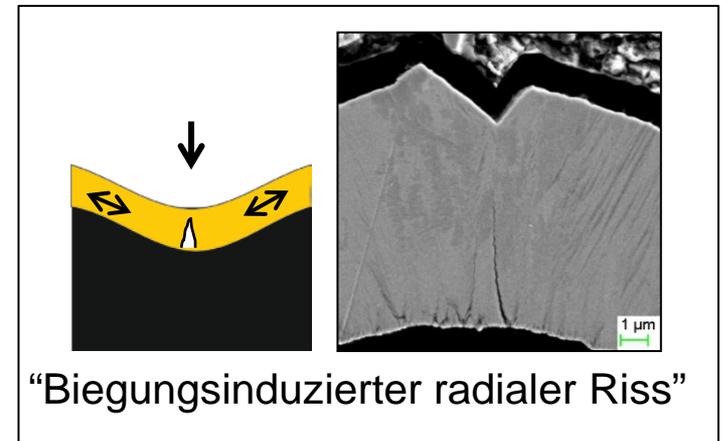
- Vertikale Rissbildung
- Abtrag der gesamten Beschichtung in Segmenten



# 1. Einfluss der Schichtdicke: Substratverformung

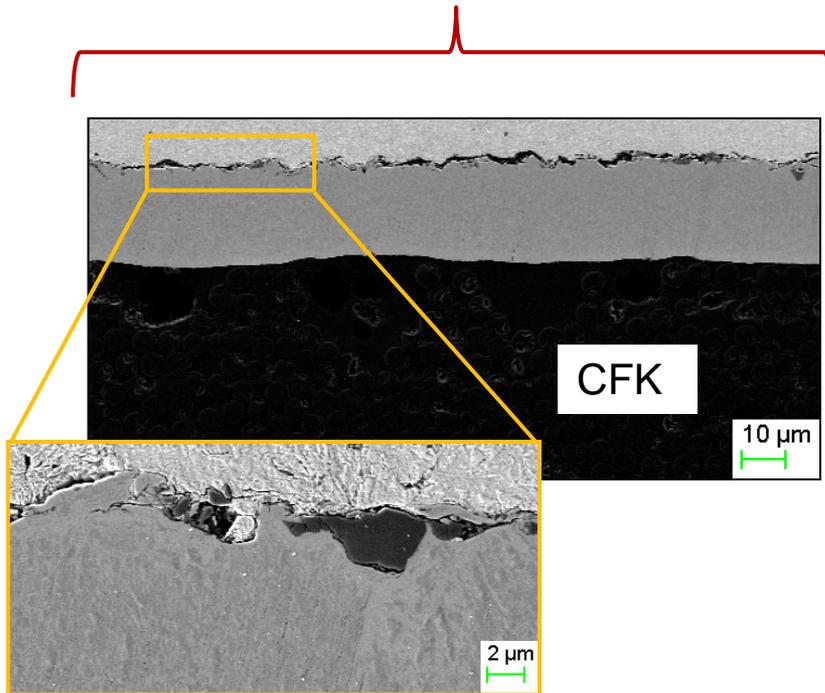


- Hohe Gesamtverformung eines beschichteten CFK Substrates
- Biegungsinduzierte Rissbildung führt zur Segmentierung der Beschichtungen

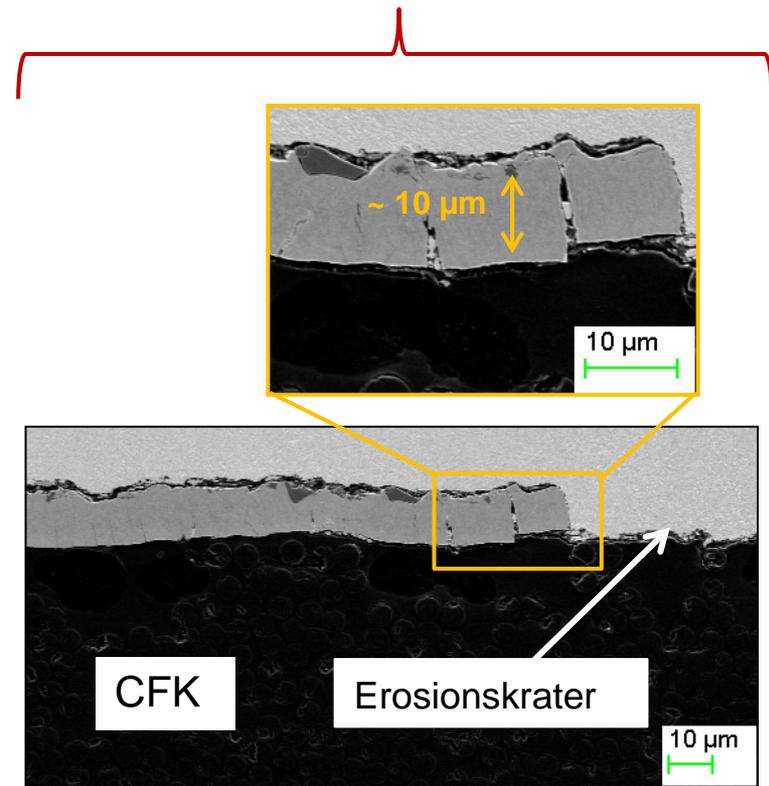


# 1. Einfluss der Schichtdicke: 30 $\mu\text{m}$ Titan im Querschliff

**Gute Schutzwirkung**



**Schlechte Schutzwirkung**



**Zweistufiger Erosionsprozess:**

- Erosion der Titanschicht bis zu einer kritischen Schichtdicke
- Anschließende Segmentierung und schneller Abtrag der Schichten



# Einflussfaktoren auf das Erosionsverhalten von CFK

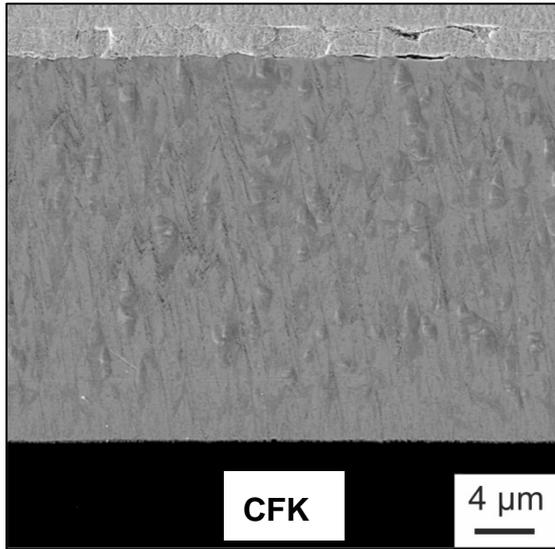
1. Einfluss der Schichtdicke

2. Einfluss des Schichtwerkstoffes

3. Einfluss der Partikelgeschwindigkeit

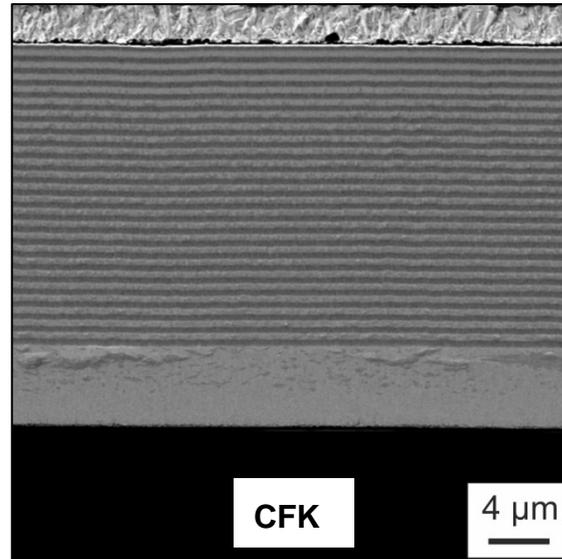


## 2. Einfluss des Schichtwerkstoffes : Beschichtungen (30 µm)



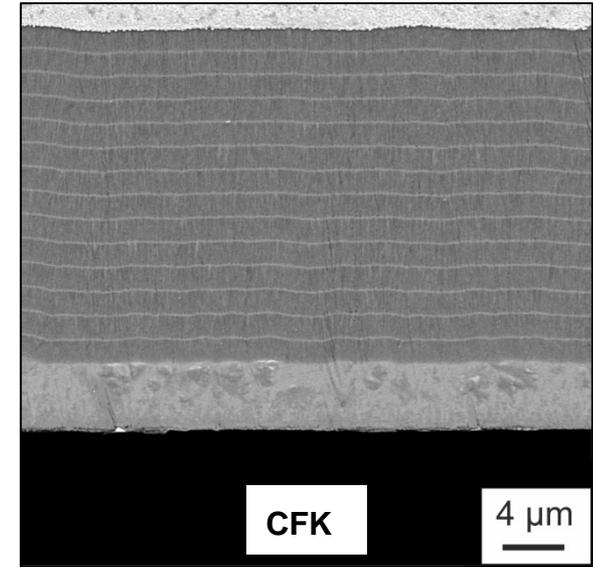
### 1. Titan:

- 360 HV<sub>0.01</sub>



### 2. Ti/TiN Multilayer (1:1):

- 0,5 µm TiN
- 0,5 µm Ti
- 860 HV<sub>0.01</sub>

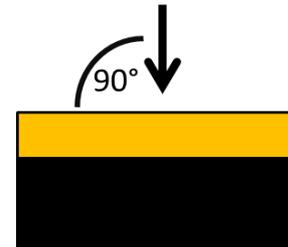


### 3. Ti/TiN Multilayer (1:10):

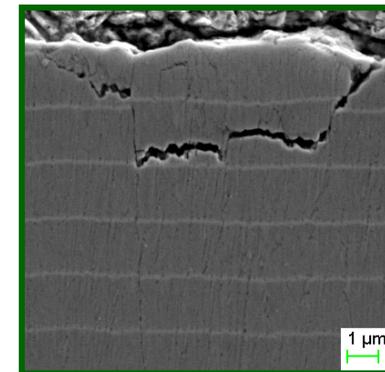
- 1,7 µm TiN
- 170 nm Ti
- 1250 HV<sub>0.01</sub>



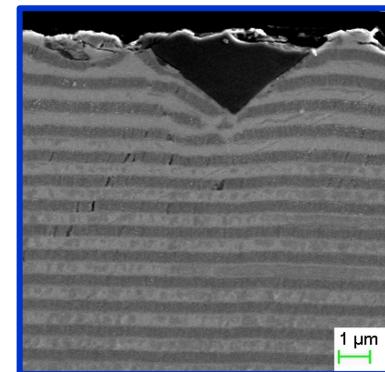
## 2. Einfluss des Schichtwerkstoffes: 65 m/s & 90°



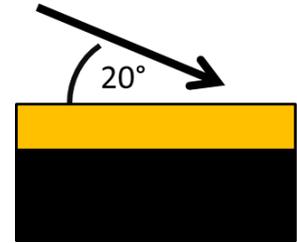
Hohe Erosionsrate des Ti/TiN 1:10 Systems aufgrund von Rissbildung



Die duktilen Ti und Ti/TiN 1:1 Beschichtungen können den Erosionsverschleiß deutlich senken

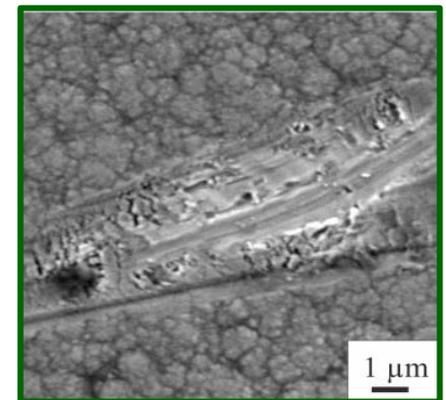
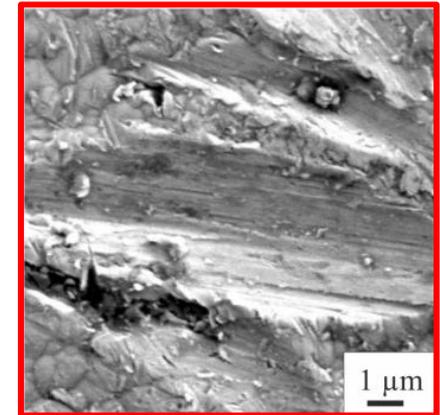


## 2. Einfluss des Schichtwerkstoffes : 65 m/s & 20°



Der Erosionsverschleiß wird im wesentlichen durch die Härte des Beschichtungsmaterials bestimmt.

Die Ti/TiN 1:10 Beschichten kann daher die beste Schutzwirkung erzielen.



# Einflussfaktoren auf das Erosionsverhalten von CFK

1. Einfluss der Schichtdicke

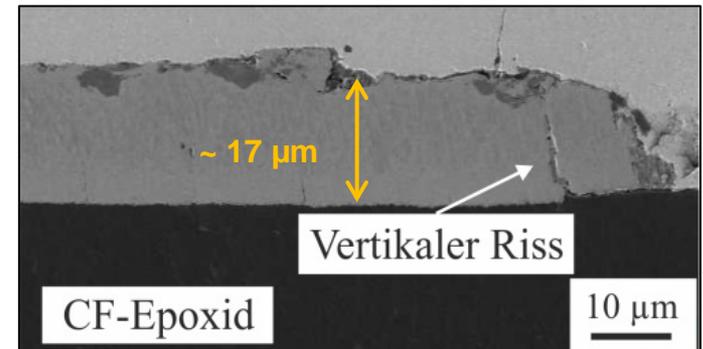
2. Einfluss des Schichtwerkstoffes

3. Einfluss der Partikelgeschwindigkeit



### 3. Partikelgeschwindigkeit: 30 $\mu\text{m}$ Titan (94 m/s & 90°)

- Höhere Aufprallkräfte führen zu einer höheren kritischen Schichtdicke
- Entsprechend nimmt die Schutzwirkung der Beschichtungen ab



# Zusammenfassung

## Hohes Schutzpotential von PVD Beschichtungen auf CFK

### Substrateinfluss:

- Hohe Substratverformungen reduzieren die Lebensdauer der Beschichtungen
- Kompensation durch höhere Schichtdicke

### Beschichtungsmaterial:

- Verhalten entsprechend der Erosions-Theorie
- Ti/TiN Multilayer mit 1:1 Lagenverhältnis guter Kompromiss

### Partikelgeschwindigkeit:

- Abnahme der Schutzwirkung durch steigende Substratverformungen



**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**  
Institut für Werkstoff-Forschung  
51147 Köln

**Christoph Maurer**

Telefon +49 2203 601-3567

[Christoph.Maurer@dlr.de](mailto:Christoph.Maurer@dlr.de)

**Uwe Schulz**

Telefon +49 2203 601-2543

[Uwe.Schulz@dlr.de](mailto:Uwe.Schulz@dlr.de)

