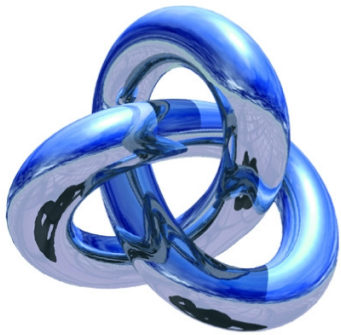




SFB 692 – H A L S – (2010 - 2013)

Kolloquium / 01. Oktober 2010 / Chemnitz



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ



Fraunhofer
IWU

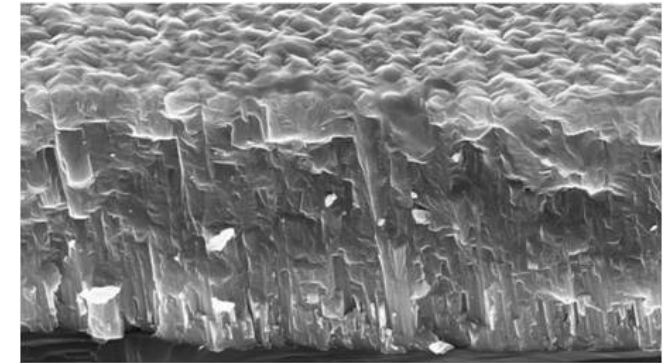
B1

**Experimentelle und numerische Betrachtungen zum
tribologischen Verhalten von DLC- und Hartstoffschichten in
Kontakt mit aluminiumbasierten Werkstoffen**

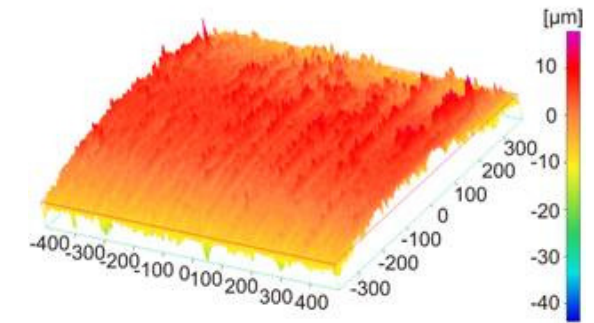
*Wielage, B.; Neugebauer, R.; Lampke, T.; Hochmuth, C.; Rupprecht, C.;
Schmidt, G.; Nehrkorn, S.; Oppermann, C.*

B1 Gliederung

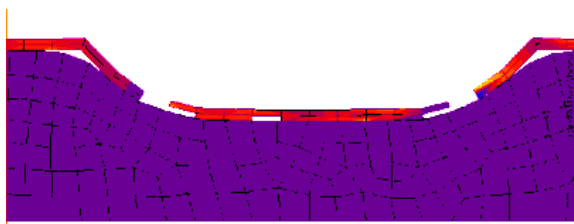
- Motivation
- Experimentelle Betrachtungen
 - Auswahl der Schichtsysteme
 - Oberflächenmorphologie der Schichtsysteme
 - Scratch-Tests
 - Tribologisches Verhalten mit und ohne Schmierstoff
- Numerische Betrachtungen
 - FE-Modellierung
 - Bestimmung von Modellparametern
- Zusammenfassung und Ausblick



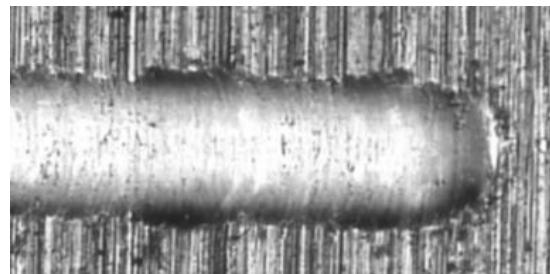
3 µm dicke CrVN-Schicht [IWU/IST Fraunhofer]



Oberflächentopografie



Mikrozugveruch (Schichtdelamination)



Scratch-Test in einer TiC-TiN Schicht

B1 Motivation

Problemstellung bei Umformung von hochfesten Al

- Hoher Werkzeugverschleiß
- Ökologisch und ökonomisch ungünstige Schmierstoffsysteme
- Fehlende Verschleißschutzschichten für trockenes Umformen

Ziele

- Schmiermittelarme Fertigung
- Hohe Standzeit
- Hohe Werkstückqualität



Belastungsangepasste Schutzschichten
für Umformwerkzeuge

Lösungsweg

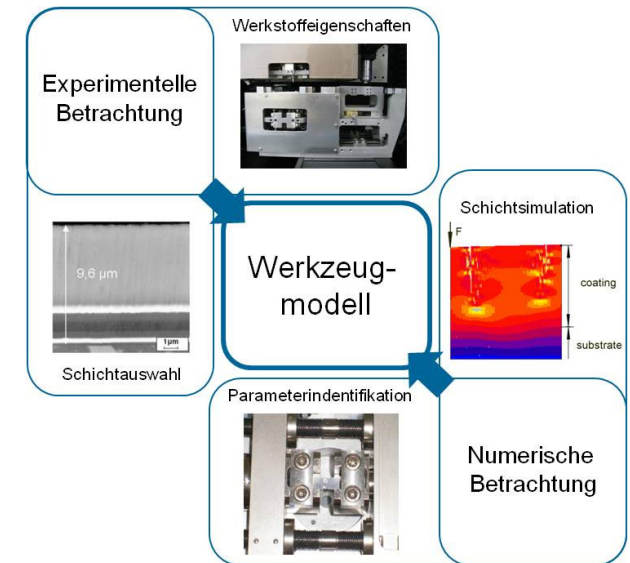
Für experimentelle Betrachtung:

- Schichtsystemauswahl
- Untersuchung der mechanischen und tribologischen Eigenschaften

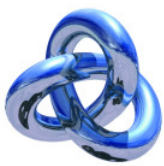


Für numerische Betrachtung:

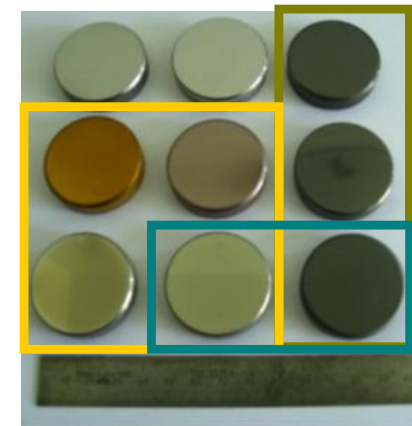
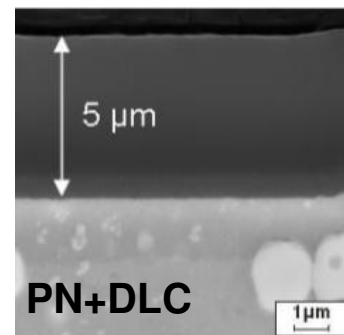
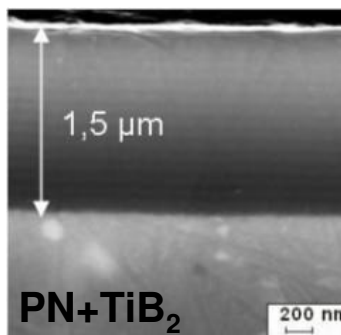
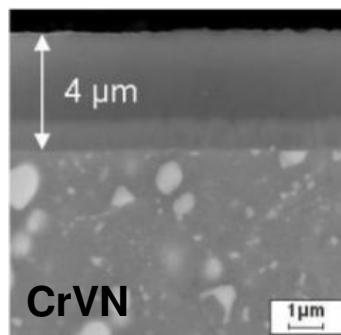
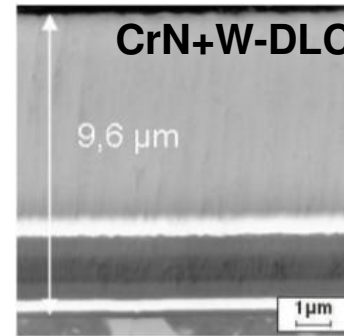
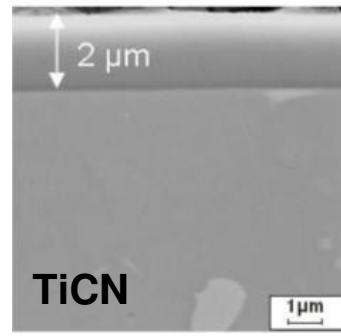
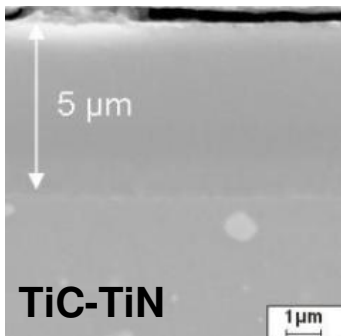
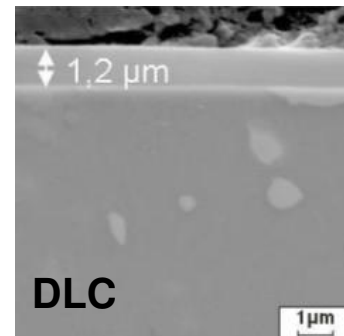
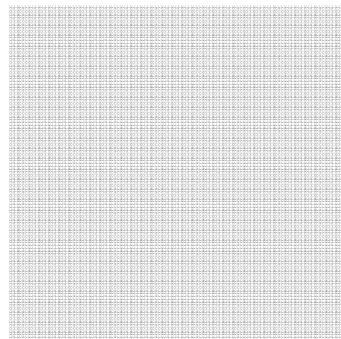
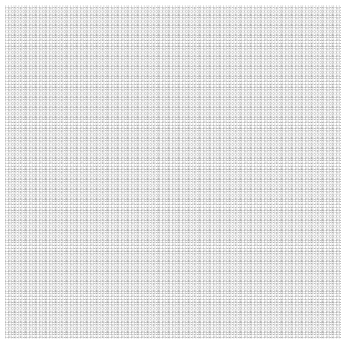
- Grundlagenuntersuchungen zu den Schicht-Substrat-Eigenschaften
- Modellbildung, Parameterbestimmung



Gestaltungsrichtlinien für Werkzeug und Beschichtung



B1 Experimentelle Betrachtung Auswahl der Schichtsysteme

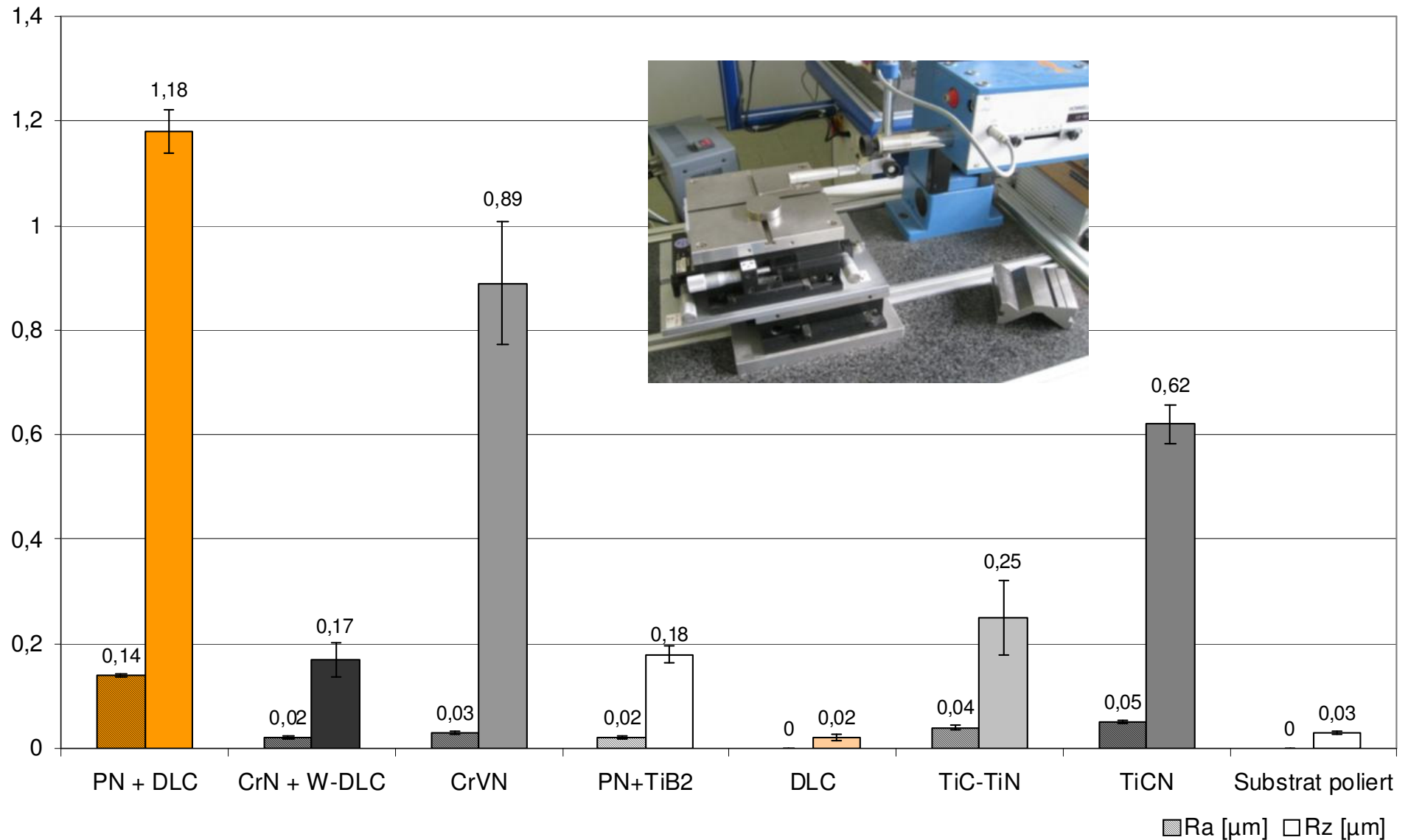


— Auf DLC basierende Schichtsysteme

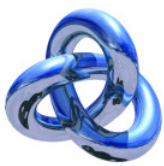
— Hartstoffschichten

— Substrat vor der Beschichtung plasmanitriert

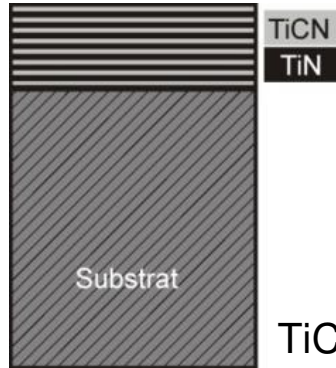
B1 Experimentelle Betrachtung Oberflächenmorphologie



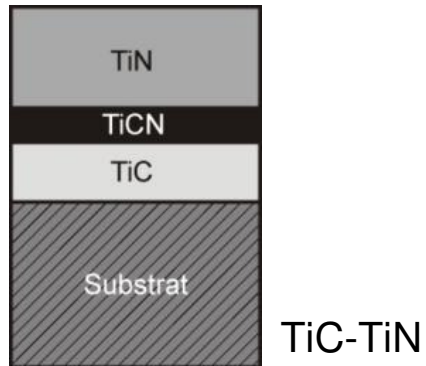
* Rauheit mit Tastschnittgerät nach DIN EN ISO 4287; ** AFM-Aufnahme einer DLC Schicht



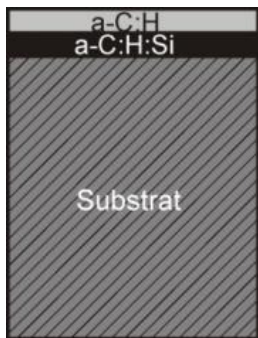
B1 Experimentelle Betrachtung **Scratch-Test**



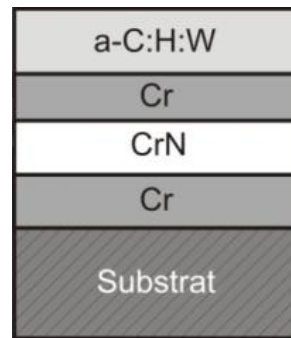
TiCN



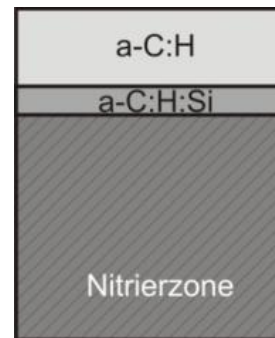
TiC-TiN



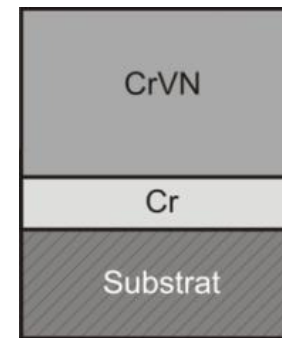
a-C:H:X (DLC mod.)



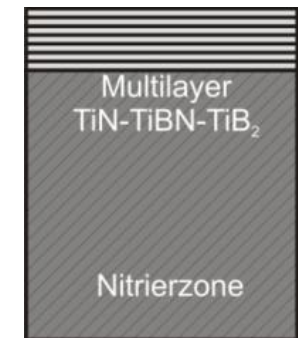
CrN + a-C:H:W



PN + a-C:H

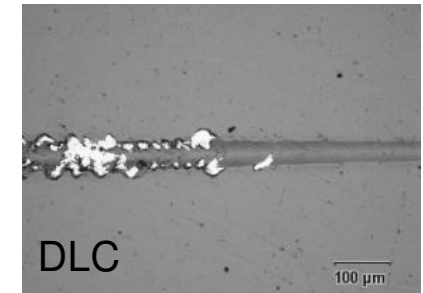


CrVN

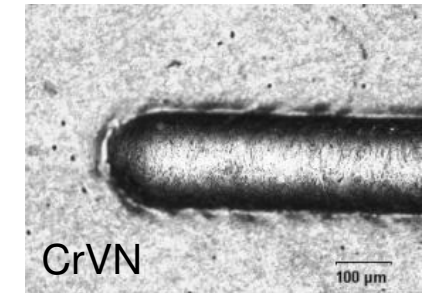


PN + TiN-TiBN-TiB₂

Schichtsystem	Schichtdicke	Kritische Last*
TiCN	2 µm	5,2 N
TiC-TiN	5 µm	9,3 N
a-C:H:X (DLC mod.)	1,2 µm	2,3 N
CrN + a-C:H:W	9,6 µm	12,5 N
PN + a-C:H	100 µm + 1,2 µm	25,4 N
CrVN	4 µm	50 N**
PN + TiN-TiBN-TiB ₂	100 µm + 1,47 µm	9,7 N



DLC

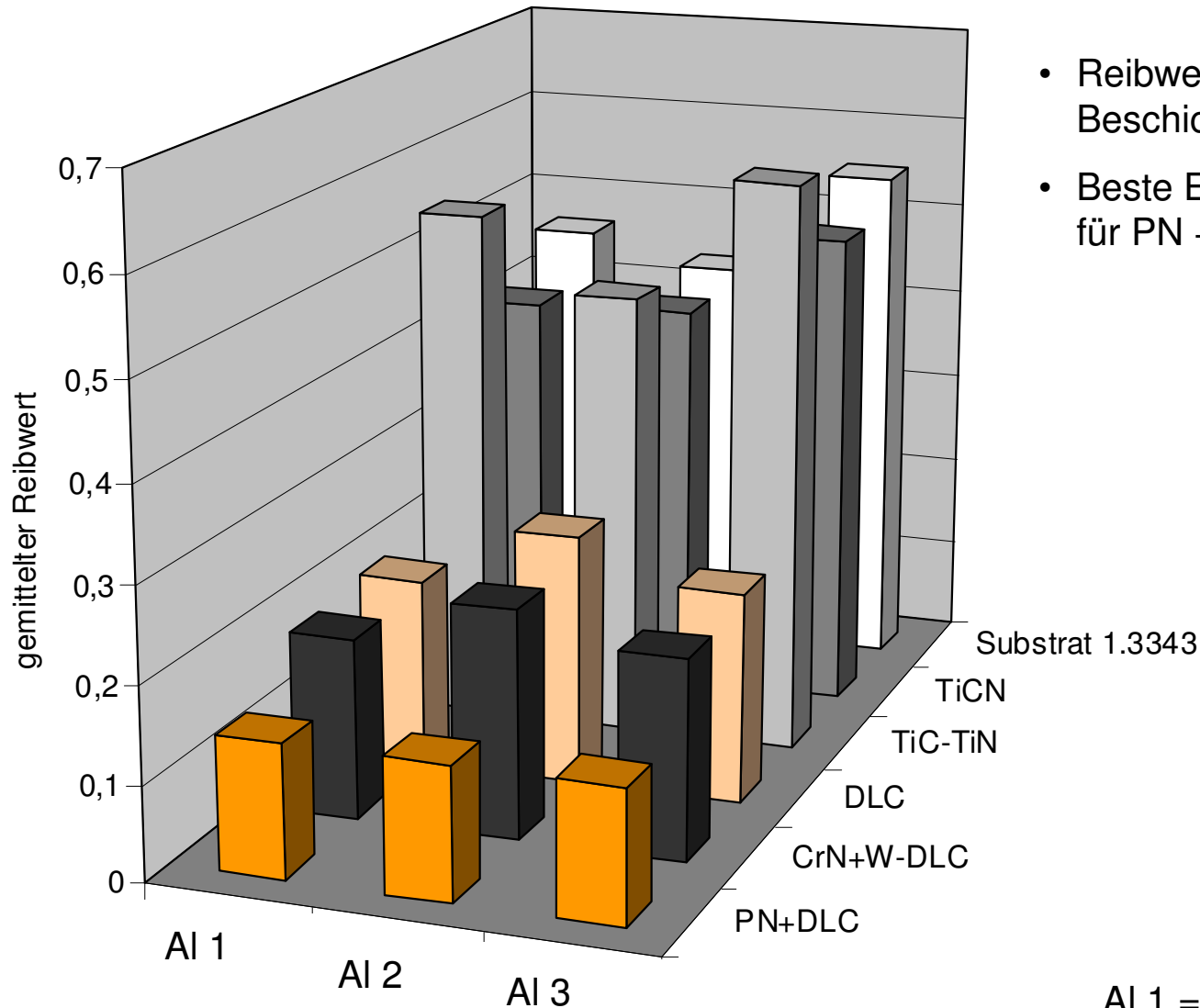


CrVN

*an polierten Oberflächen, Rockwellindenter R=200 µm, Fmax=50 N; **Schicht erträgt Maximallast von 50 N

B1

Experimentelle Betrachtung Tribologisches Verhalten ohne Schmierstoff



- Reibwert der auf DLC basierende Beschichtungen: -74 % (vgl. m. Stahl)
- Beste Ergebnisse bei Raumtemperatur für PN + DLC

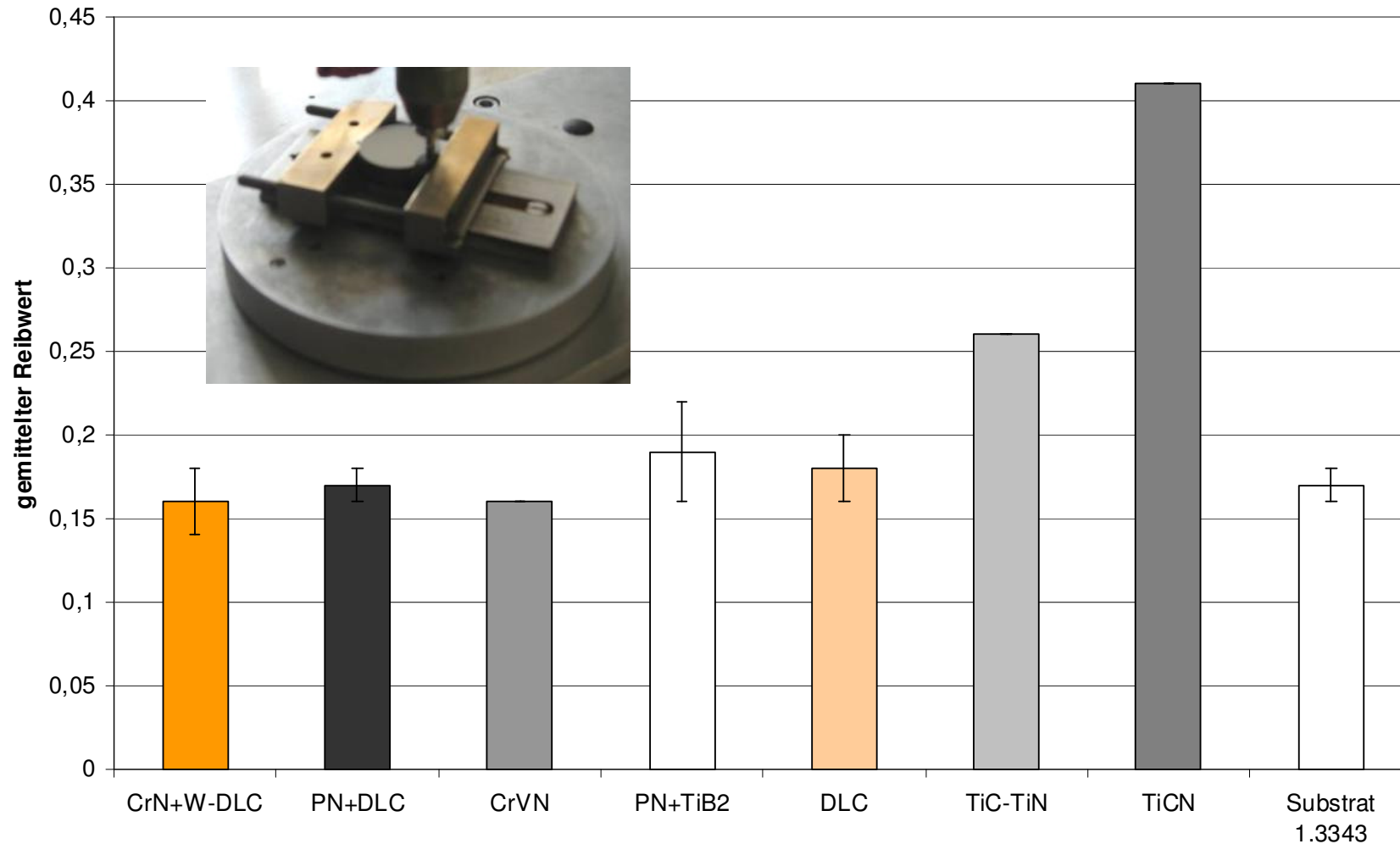


Pin on Disk-Test

Al 1 = EN AW-2024-T4
Al 2 = EN AW-2024-WE1-T4
Al 3 = EN AW-2017-SFB5%SiC-T4

B1 Experimentelle Betrachtung Tribologisches Verhalten mit Schmierstoff

- Unwesentliche Verbesserung des Reibkoeffizienten im Vergleich zu Stahl
- Reibwert der Schichtsysteme TiCN und TiC-TiN: +260 % und +160 % (vgl. m. Stahl)



* gegen EN AW-2024-T4 mit Festschmierstoffgemisch aus Molybdändisulfid und Graphit, Rotation, Pressung: 2 MPa, s=180m

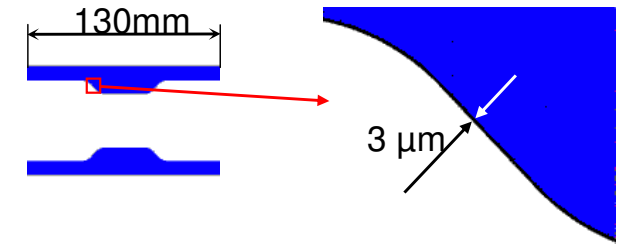
B1 Numerische Betrachtung FE-Modellierung beschichteter Werkzeuge

- Größenunterschied Substrat - Schicht $\rightarrow 1000 : 1$
großen zu modellierenden Volumina
 $\rightarrow$ Sehr große Modelldimension (> 1 Mio Elemente)

$\rightarrow$ Rechenzeiten, Speicherbedarf sehr groß

- Mechanisch-thermische Kopplung

- Nichtlinearitäten (Kontaktproblematik, lokales Materialversagen, elast.-plast. Verformung)



Vorgehensweise:

1. Prozesssimulation (2D, 3D)

$\rightarrow$ Lastrandbedingungen (mech. / therm.)

- In der Regel nicht mit detailliert vernetzter Schicht

2. Werkzeugmodell ohne Schicht (2D, 3D)

$\rightarrow$ Stellen kritischer Beanspruchung

3. Detaillierte Ausschnittsmodelle mit Beschichtung (2D)

$\rightarrow$ Schichtbeanspruchung, Versagen

B1 Numerische Betrachtung FE-Modellierung beschichteter Werkzeuge

Effektive Techniken zur Modellerstellung

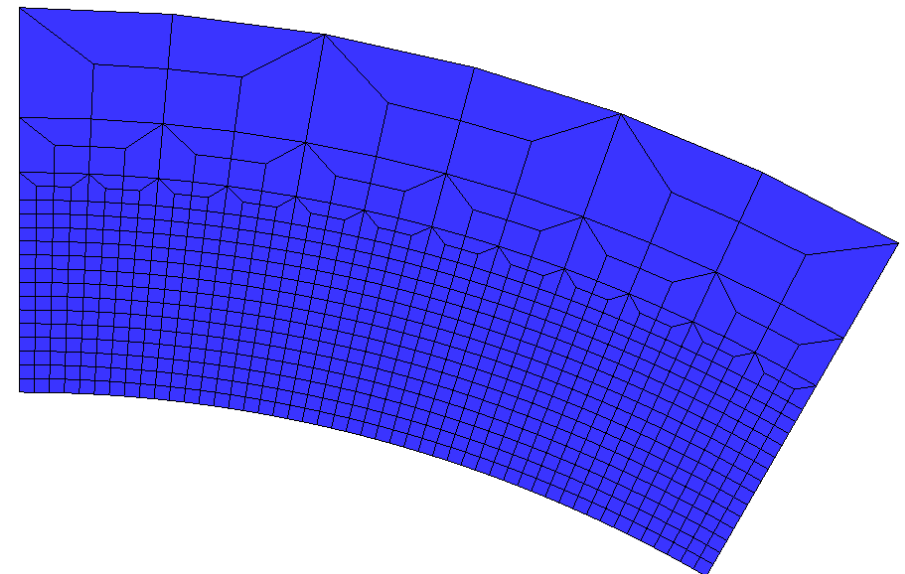
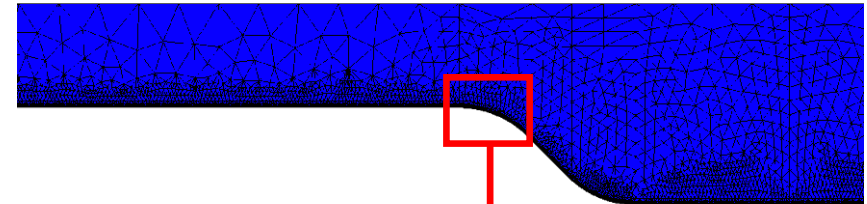
Automatische Netzgenerierung durch Vernetzungsskripte aufgrund von:

- Sehr hoher **Elementanzahl**
- Regelmäßiger **Übergang** von grobem zu feinem Netz manuell extrem zeitaufwändig:

Transformationsskript (aus eckig mach rund...)

- Transformation in Polarkoordinaten
- Projektion der r-Koordinate auf φ_0
- Rücktransformation in kartesische Koordinaten

So lassen sich problemlos konkave und konvexe Bereiche modellieren → in Verbindung mit früheren Vernetzungsverfahren **teilautomatische** Vernetzung

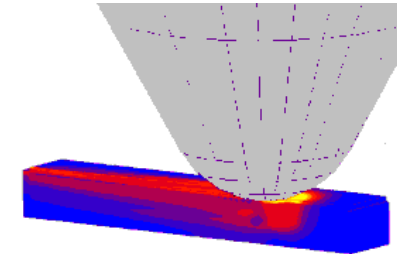


B1 Numerische Betrachtung FE-Modellierung beschichteter Werkzeuge

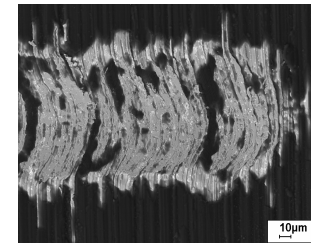
Bestimmung von Modellparametern

- Parameter wie Zug-/Druckfestigkeit, Haftfestigkeit, etc.pp. nötig
- Parameter für dünne Schichten kaum verfügbar
- Für neuentwickelte Schichten gar nicht
- Spezielle Schichtprüfverfahren für Dünnschichten liefern meist nur qualitative Ergebnisse
- Keine direkte Messung von in der FEM nutzbaren Parametern

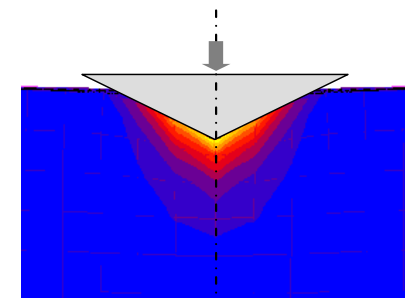
→ Parameteridentifikation (Abgleich
Simulation – Versuch)



Modell Scratchtest



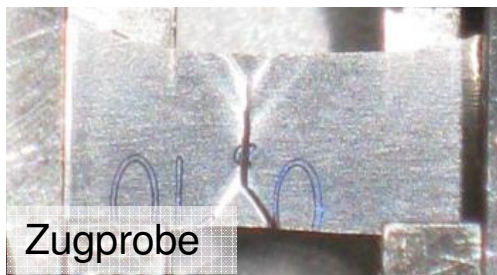
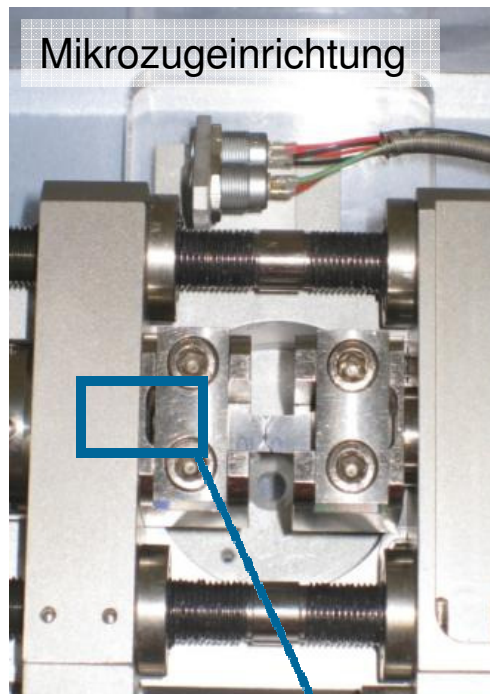
Verschleißspur Scratchtest



Modell Nanoindentation

B1 Numerische Betrachtung Bestimmung von Modellparametern

Zugfestigkeit

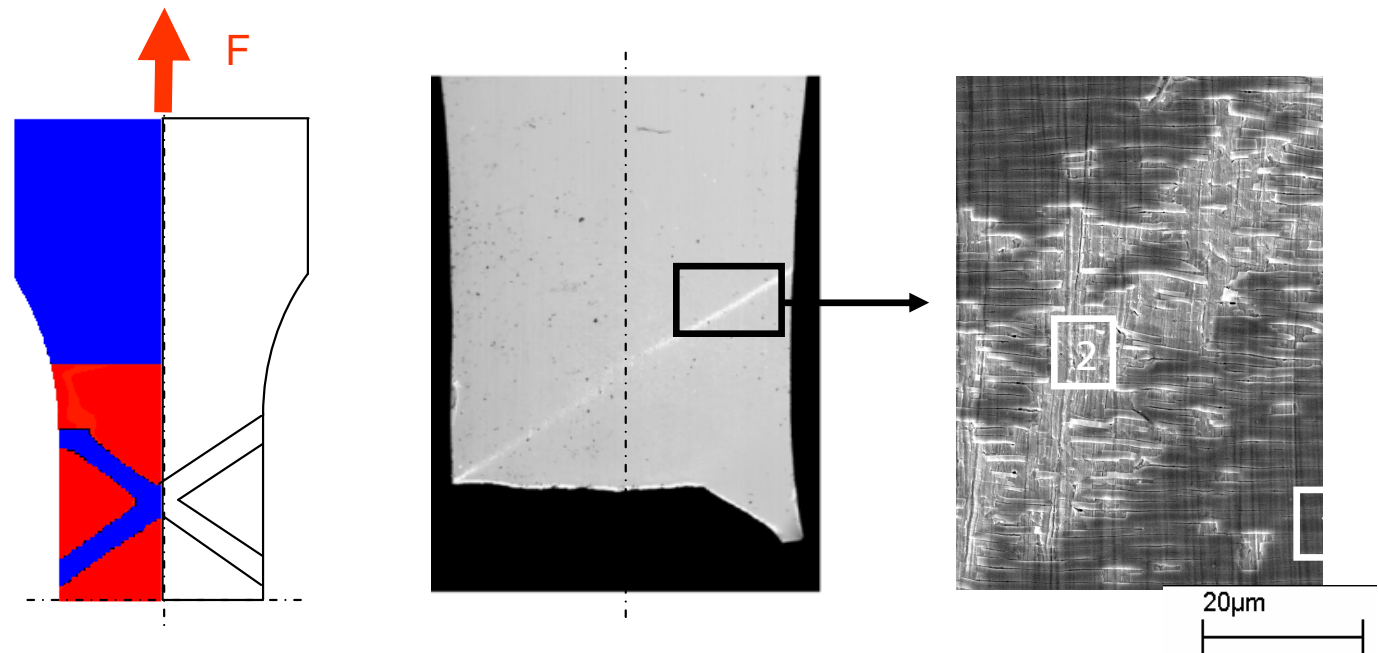


Mikrozugversuche beidseitig beschichteten Proben:

- Vermeidung von Biegebeanspruchung durch unterschiedliche E-Moduln
- Erhöhung des Traganteil der Schicht

Rissstadien:

1. Rissbeginn orthogonal zur Lastrichtung
2. Schichtablösung (duktiler Deformation des Substrates)



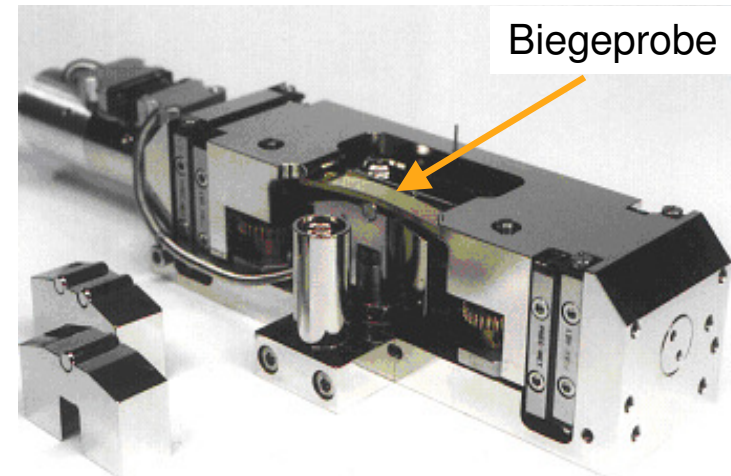
Schichtrisse an Mikrozugprobe (Simulation und Versuch)

B1 Numerische Betrachtung Bestimmung von Modellparametern

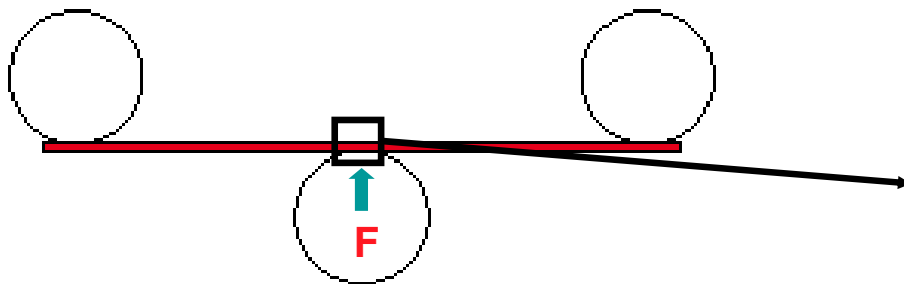
Zug- / Druckfestigkeit

Mikrozugversuche beidseitig beschichteten Proben:

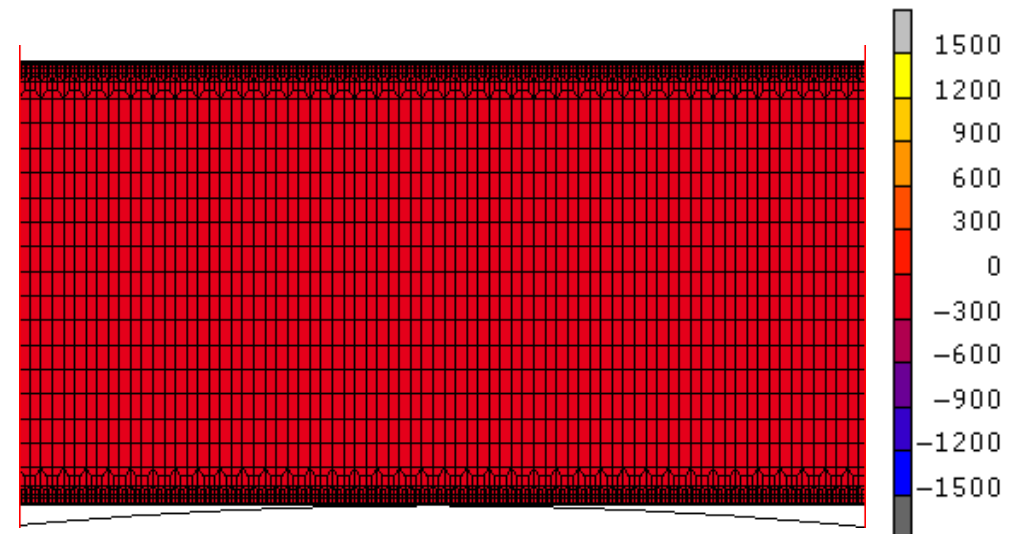
- Beanspruchung auf Zug und auf Druck
- Simulation zur Probendimensionierung



Mikrobiegeeinrichtung Quelle: Kammrath & Weiss GmbH



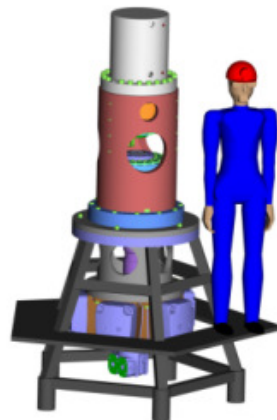
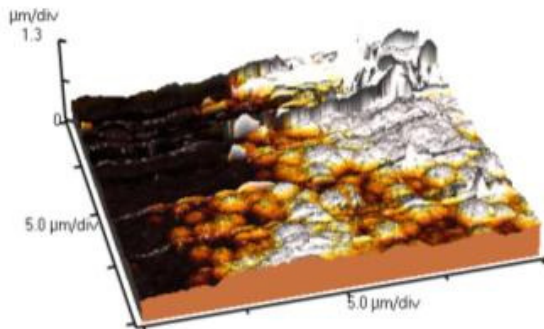
Spannungsverteilung bei 3-Punkt-Mikro-Biegung



B1 Zusammenfassung und Ausblick

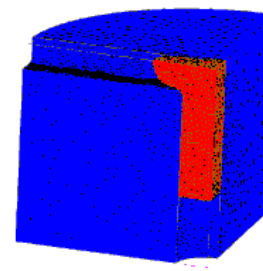
Experimentelle Betrachtung

- Oberflächenmorphologie mit Rasterkraftmikroskopie
- Validierung der Scratch Ergebnisse mittels Nanoindenter
- Tests unter umformnahen Bedingungen (erhöhte Temperaturen, sehr hohe Drücke)

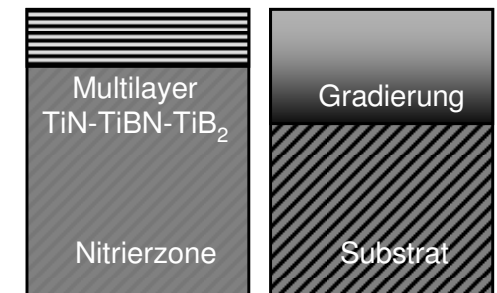


Numerische Betrachtung

- Versagensverhalten der DLC-Schichten, RB Einfluss
 - Mehrachsigkeit
 - Variation des Substrats (Änderung der Haftfestigkeit)
- Schichtbelastung am realen Werkzeug, Abgleich mit der Simulation
- Bestimmung Materialparameter
 - Multilayer
 - Gradierte Schichten



Modell QFP



Ableitung von Gestaltungsrichtlinien für beschichtete Umformwerkzeuge



B1

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**

sissy.nehrkorn@mb.tu-chemnitz.de

www.sfb692.tu-chemnitz.de

