

Intelligente Werkstoffe: Die Revolution unserer Technik?

Nina Schalk^a, Christoph Czettl^b, Christian Mitterer^a

^a Department of Materials Science, Montanuniversität Leoben, Austria

^b CERATIZIT Austria GmbH, Austria



Move mountains

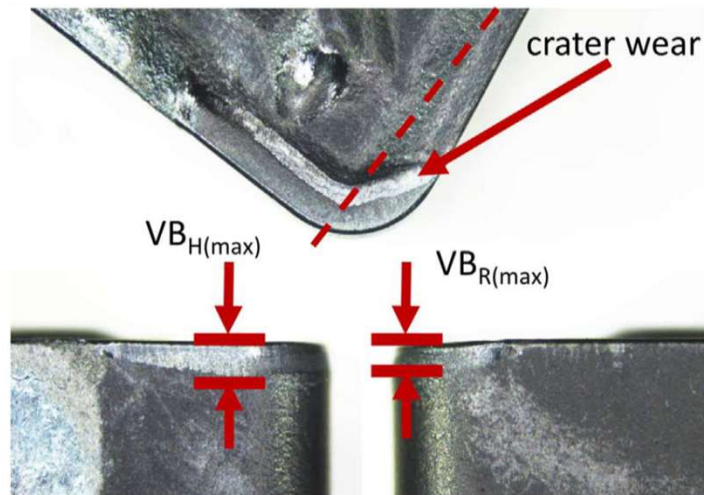
Vom Verschleißschutz zum aktiven Systembaustein



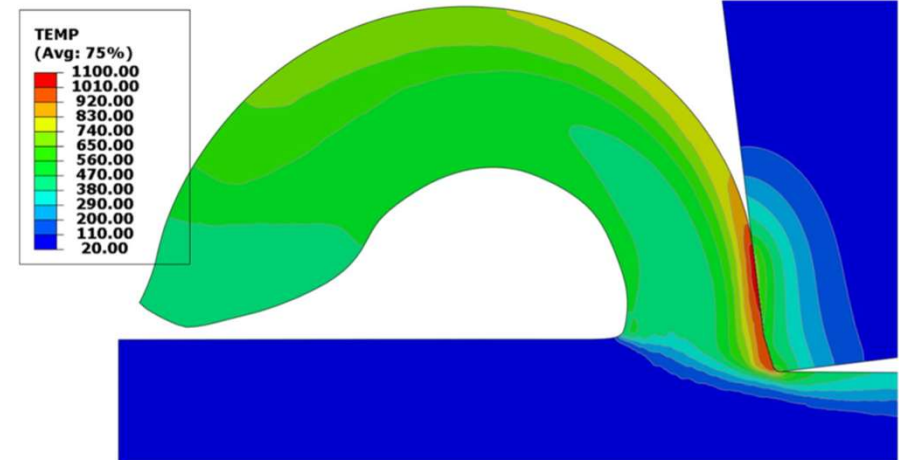
Technische Werkstoffe sind Belastungen ausgesetzt:

- Mechanisch
- Thermisch
- Chemisch

→ Schädigung



Gassner, Schalk, Mitterer, Czettl *et al.*, Wear 398-399 (2018) 90-98.



Krajinovic, Schalk, Mitterer, Czettl *et al.*, Surf. Coat. Technol. 304 (2016) 134-141.

→ Schutz durch Beschichtungen

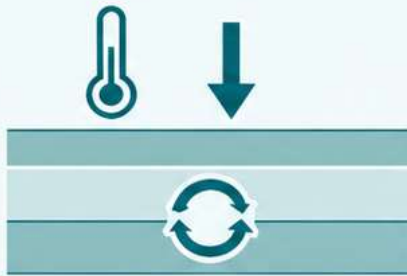
Kann eine Beschichtung mehr, als nur passiv zu schützen?

Von der Schutzschicht zur aktiven Oberfläche



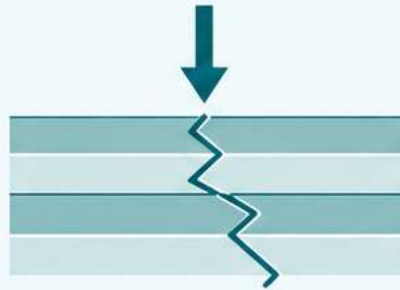
Klassische Funktion: Schützen → Verschleiß und Schädigung hinauszögern

Beschichtungen können mehr:



Self-adaptation

Eigenschaften an
Belastung anpassen



Damage tolerance

Risse umlenken und
Ausbreitung hemmen



Self-healing

Schädigung ausheilen



Self-reporting

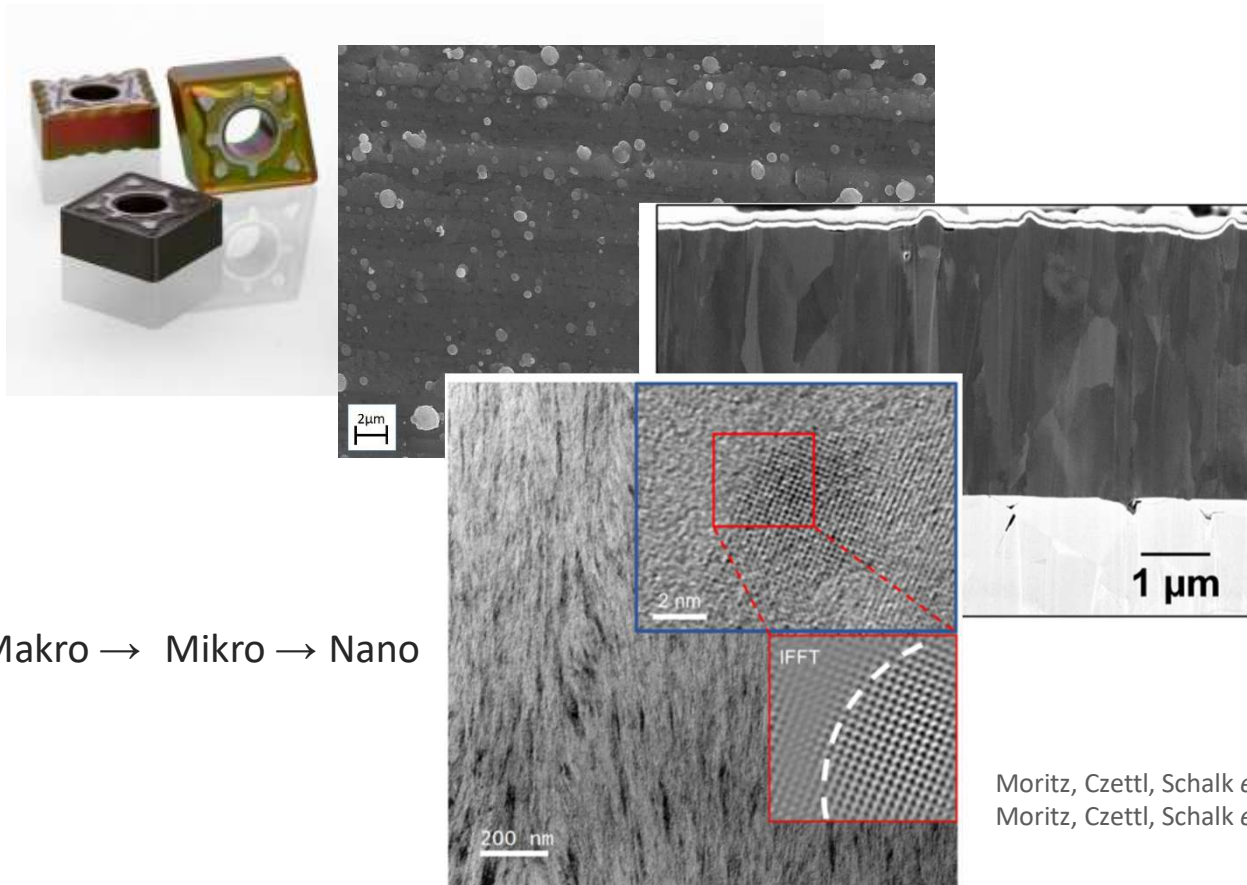
Zustand detektierbar
machen

Oberflächen gezielt gestalten



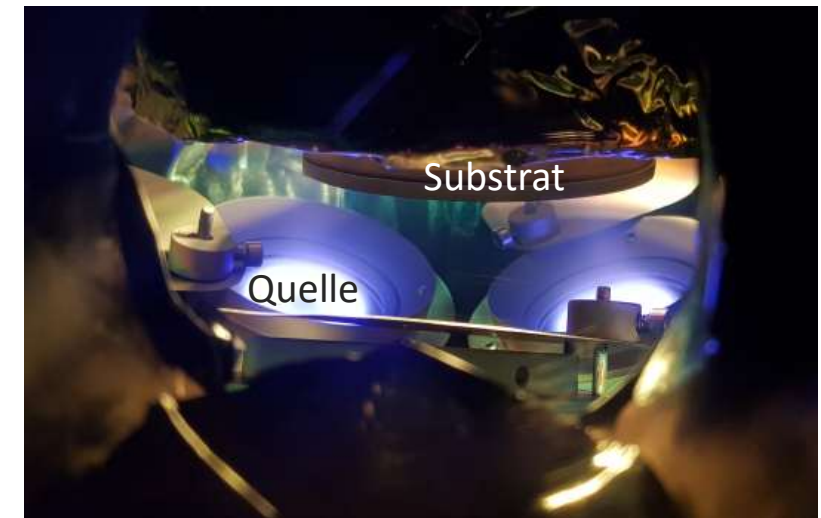
„Gott schuf das Volumen, der Teufel die Oberfläche.“

Wolfgang Pauli



Makro → Mikro → Nano

Plasmaunterstützte Gasphasenabscheidung (PVD)



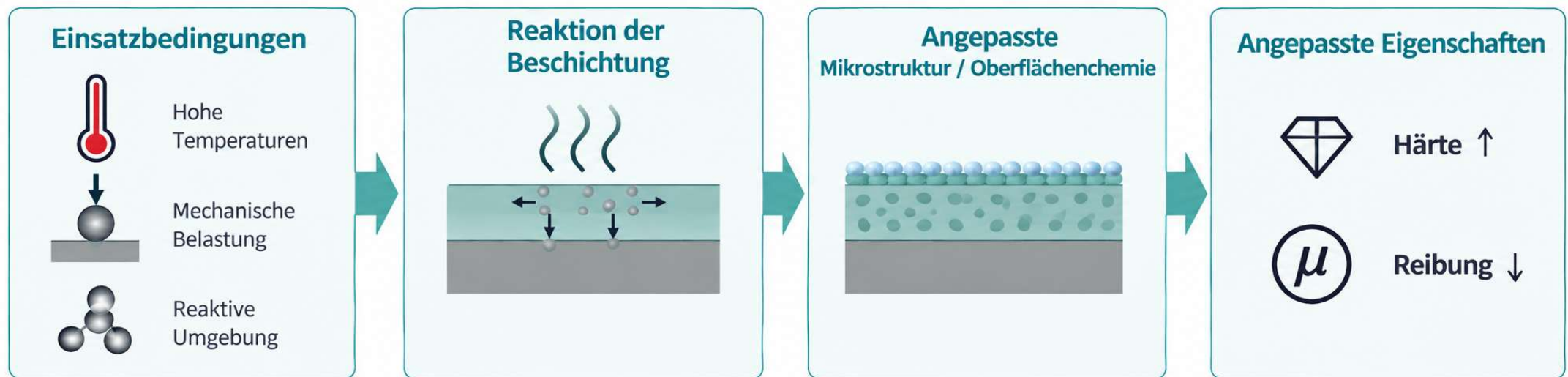
Gasphasenerzeugung
→ Gasphasentransport
→ Abscheidung

Moritz, Czettl, Schalk *et al.*, Surf. Coat. Technol. 421 (2021) 127461.

Moritz, Czettl, Schalk *et al.*, Surf. Coat. Technol. 404 (2020) 126632.



Self-adaptation – auf die Belastung reagieren

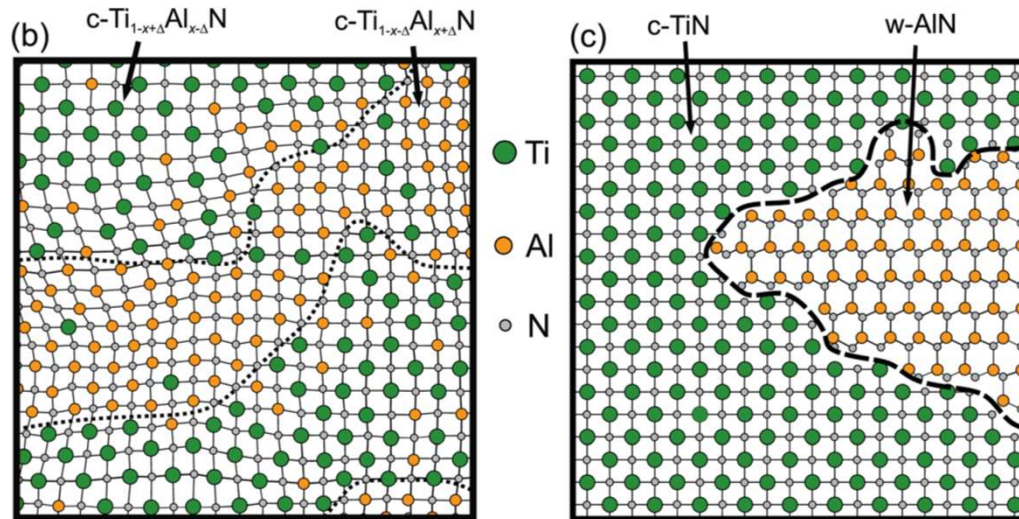


Die Beschichtung passt ihre Eigenschaften an die Einsatzbedingungen an.

Self-adaptation durch spinodale Entmischung



Beispiel: TiAlN



Rachbauer *et al.*, J. Appl. Phys. 110 (2011) 023515.

$\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$:

- Härtesteigerung durch Kohärenzspannungen
- w-Phase $\rightarrow$ Härteabfall

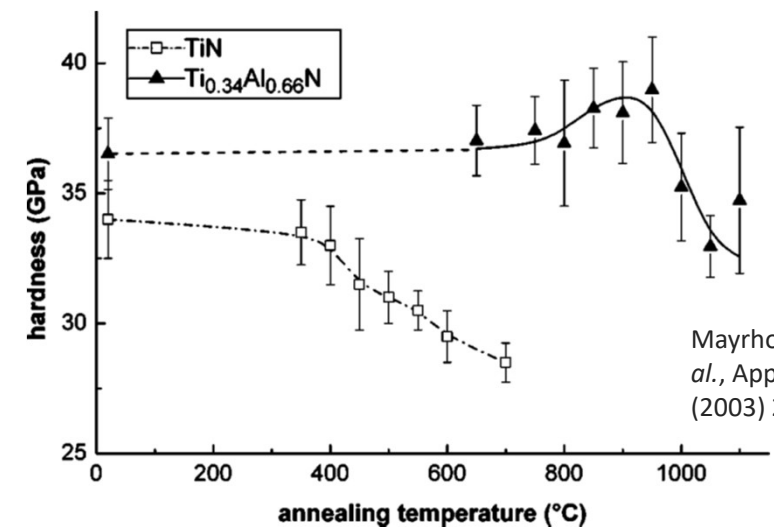
TiN:

Erholung und Rekristallisation $\rightarrow$ Härteabfall

Temperaturen $\geq 800^\circ\text{C} \rightarrow \text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ entmischt spinodal:

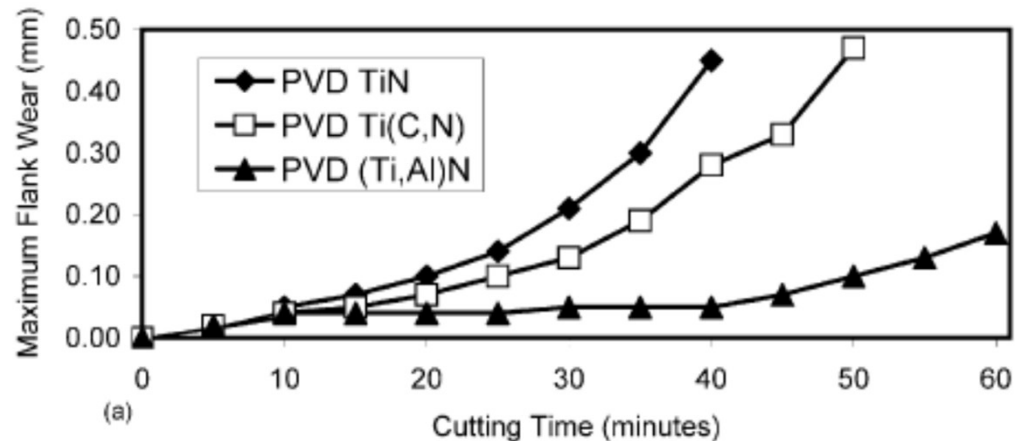


Bei noch höheren Temperaturen ($\sim 1000^\circ\text{C}$):



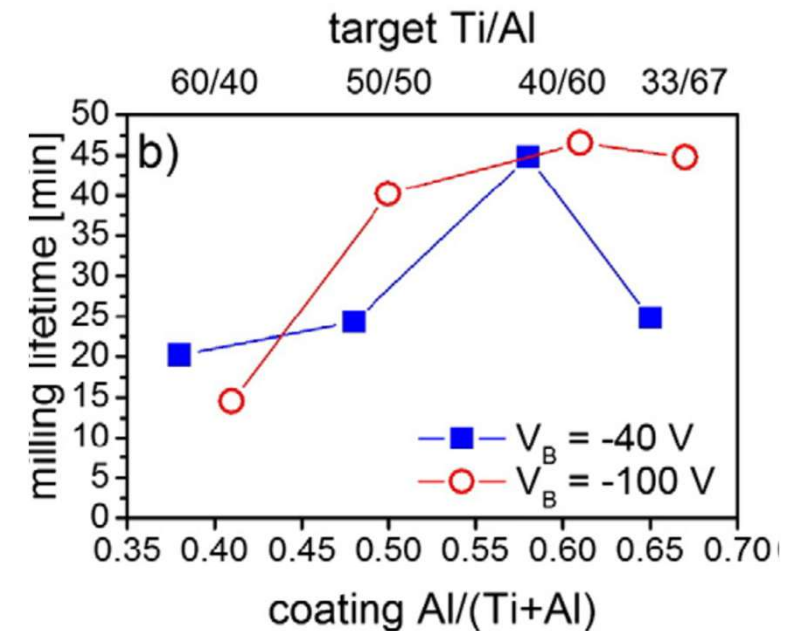
Mayrhofer, Mitterer *et al.*, Appl. Phys. Lett. 83 (2003) 2049.

TiAlN in der Zerspanung



PalDey, Deevi, Mater. Sci. Eng. A342 (2003) 58.

TiAlN → geringerer Verschleiß → längere Einsatzzeit



Grossmann, Schalk, Czettl, Mitterer *et al.*, Surf. Coat. Technol. 309 (2017) 687.

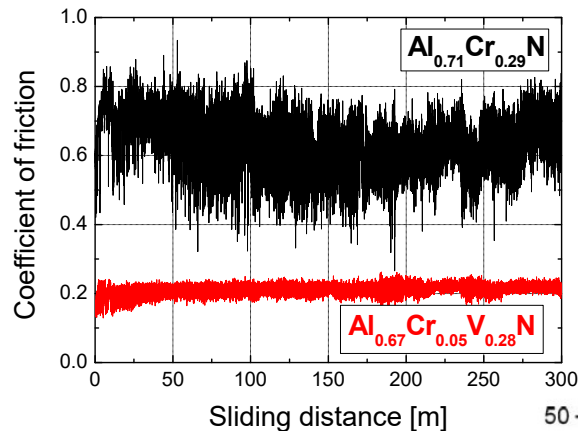
Höchste Standzeit bei optimiertem Zusammenspiel von Zusammensetzung und Abscheideparametern.

TiAlN zählt zu den am häufigsten eingesetzten Hartstoffschichten für Zerspanungswerkzeuge!

Self-adaptation durch Oberflächenchemie



Beispiel: V-legierte Hartstoffschichten



Reibungskoeffizient bei 700 °C:

AlCrN: 0,6 – 0,7

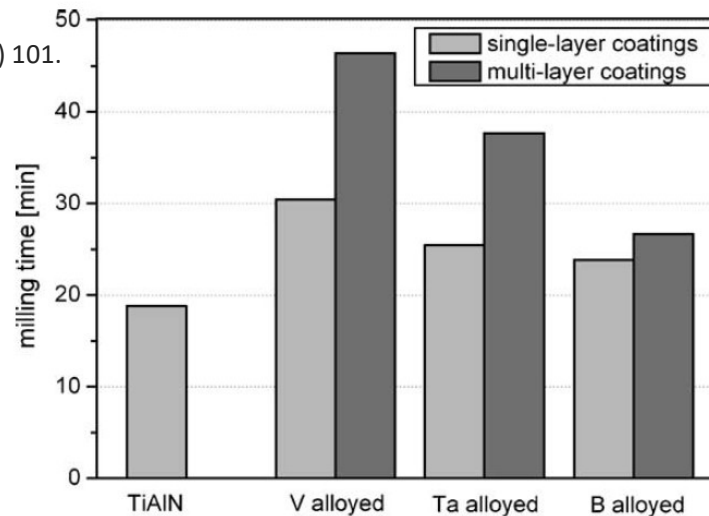
AlCrVN: 0,2

→ Bildung schmierender Oxide (V₂O₅)

Franz, Mitterer *et al.*, Tribol. Lett. 23 (2006) 101.

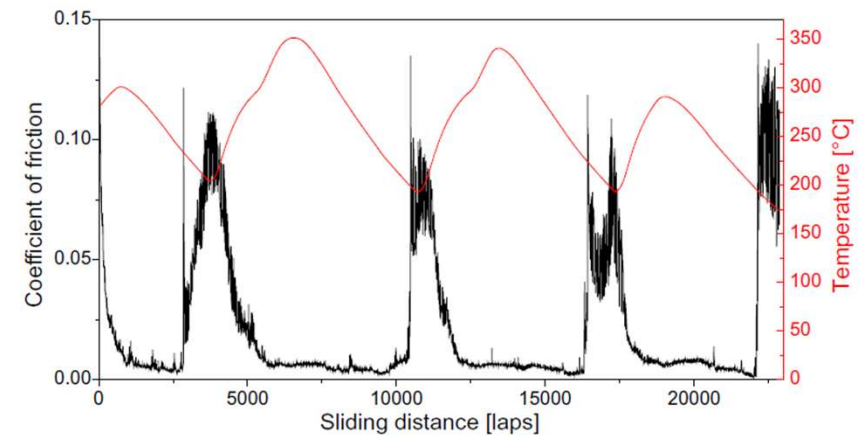
V-legierte TiAlN-Schichten:

→ verbesserte Zerspanungsleistung



Kathrein, Mitterer *et al.*, Surf. Coat. Technol. 200 (2005) 1867.

Beispiel: a-C:Si Schicht



Jantschner, Mitterer *et al.*, Acta Mater. 82 (2015) 437.

Temperatur ↑ + Umgebung:

→ Veränderung der Si-haltigen Oberflächenchemie

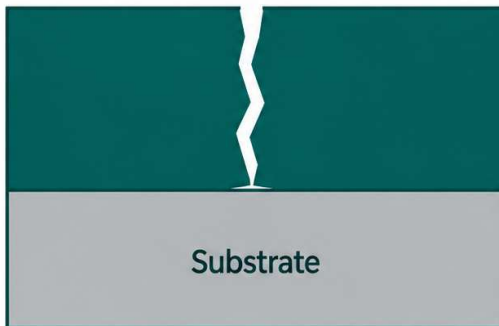
→ sehr geringe Reibung



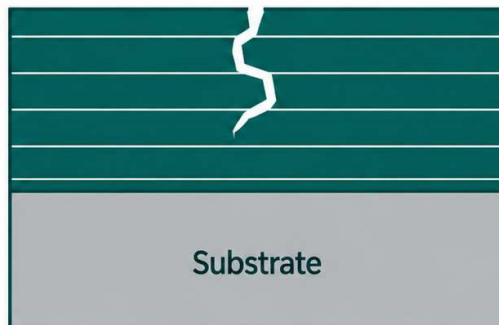
Damage tolerance durch Schichtarchitektur



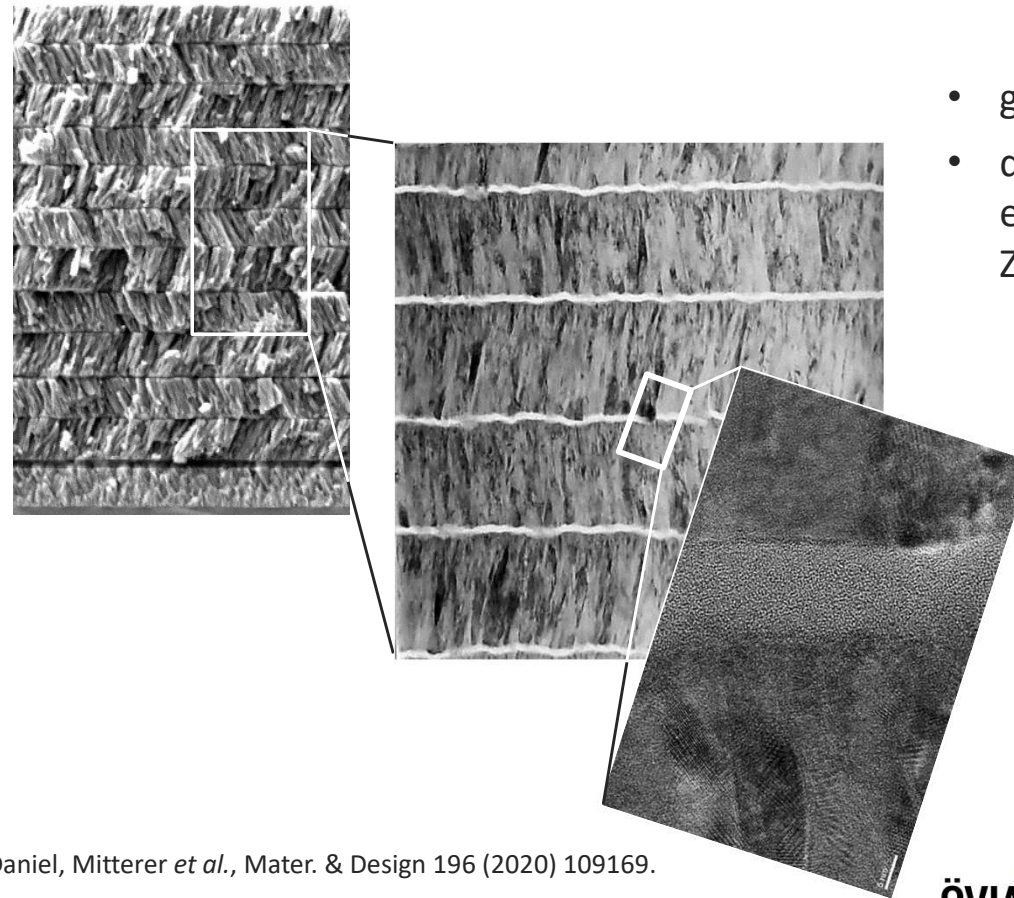
Einlagige Schicht



Multilagen-Schicht



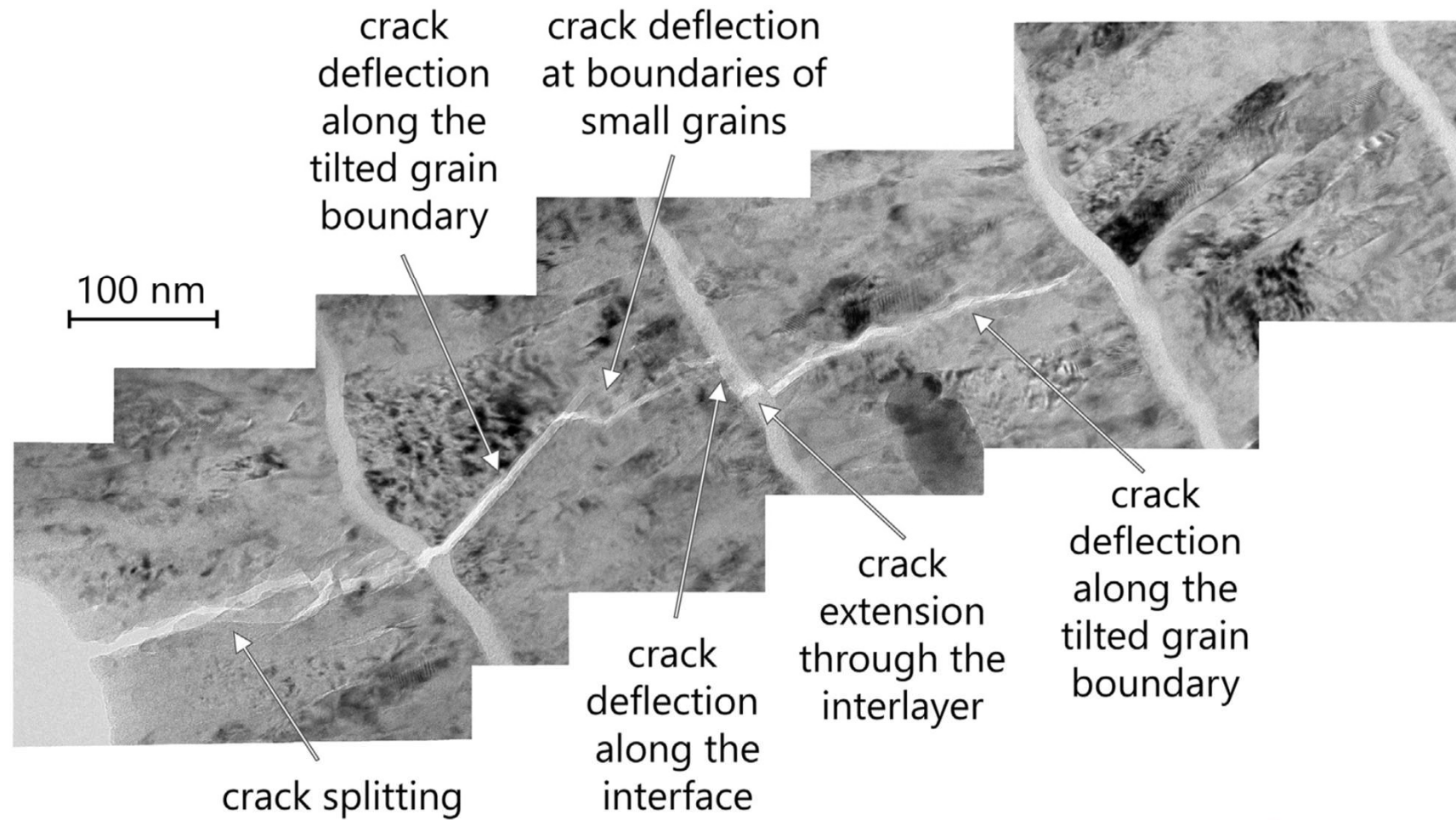
Bioinspiriertes Design – nach dem Vorbild hierarchischer Muschelschalen



- geneigte TiN-Lagen
- dünne, amorphe, elastische SiO_x -Zwischenlagen

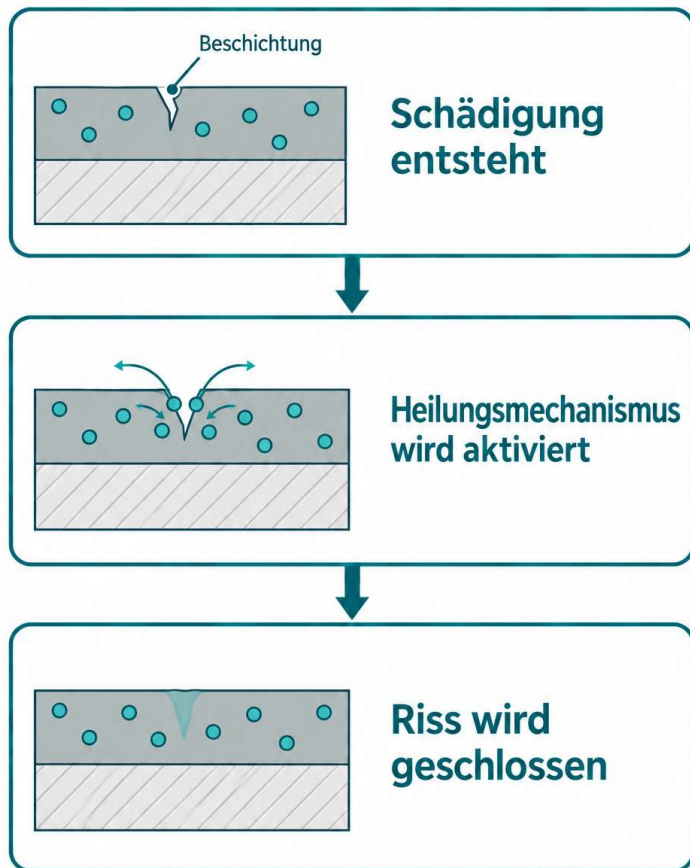
Daniel, Mitterer *et al.*, Mater. & Design 196 (2020) 109169.

Rissablenkung in der Schichtarchitektur

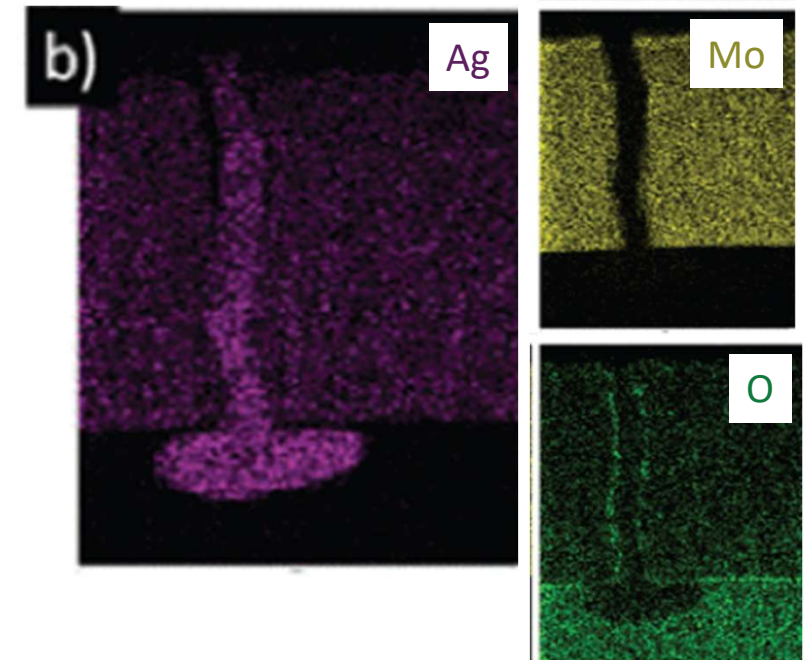


Daniel, Mitterer *et al.*, Mater. & Design 196 (2020) 109169.

Self-healing: Risse wieder schließen



Beispiel Mo-Ag Schicht



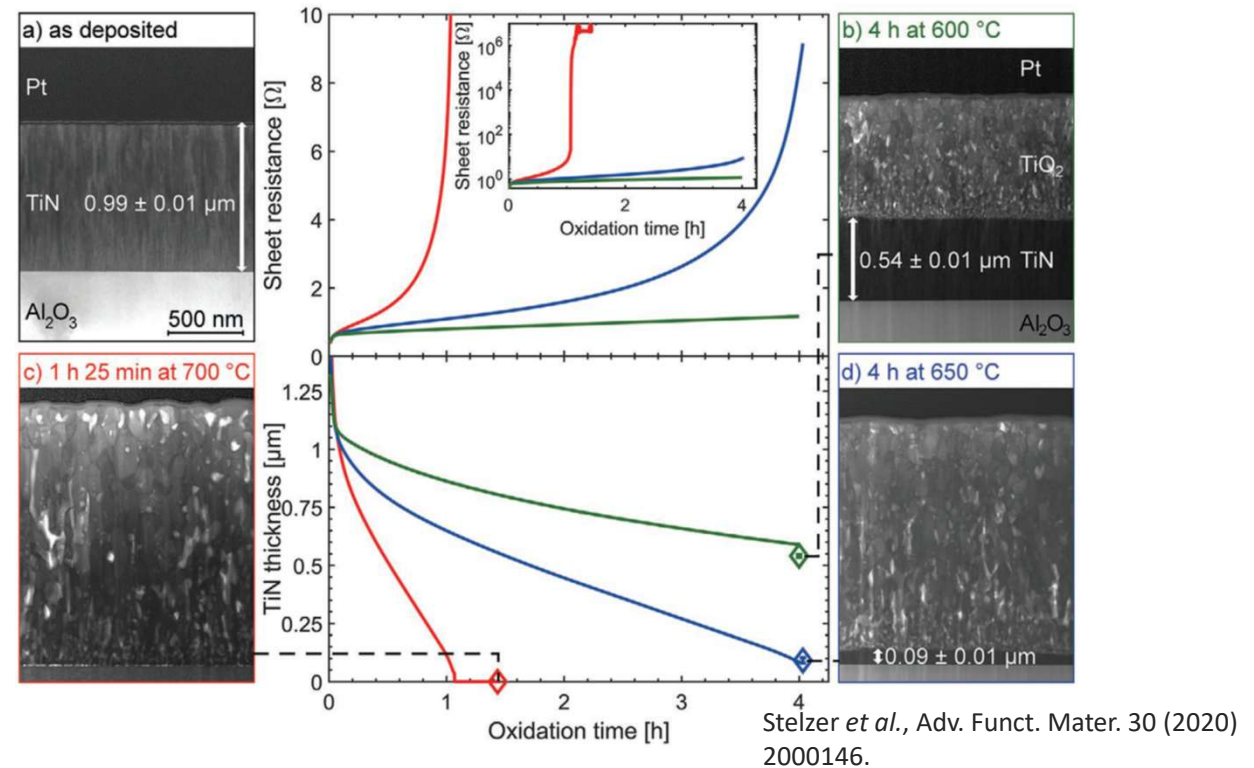
Ag reichert sich im Riss an und füllt ihn → Rissheilung

Trost, Mitterer *et al.*, Adv. Mater. 36 (2024) 2401007.

Self-reporting: Schädigung frühzeitig detektieren

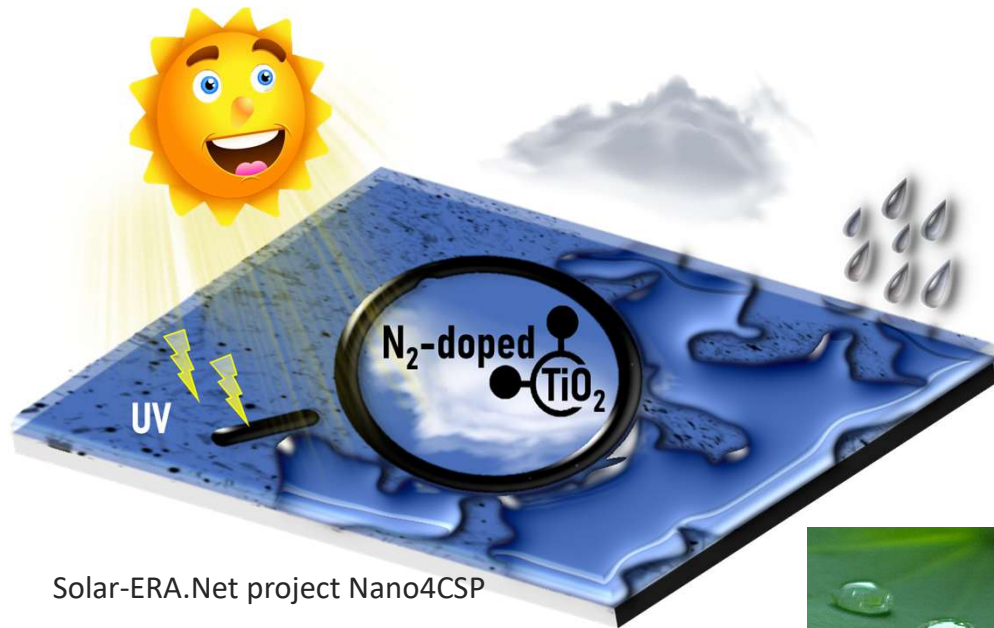


Beispiel: Oxidation von TiN



Schichtwiderstand steigt mit Oxidation → verbleibende TiN-Dicke nimmt ab

Self-cleaning durch aktive Oberflächenchemie



Solar-ERA.Net project Nano4CSP

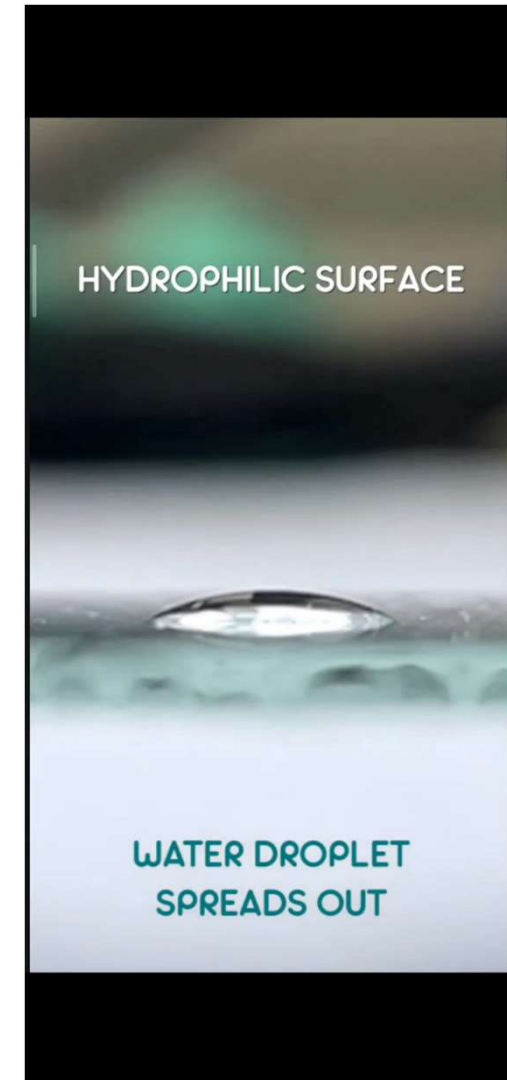
Unterschiedliche Strategien:

Lotus-Effekt: superhydrophob → Tropfen rollt ab

TiO_2 : superhydrophil → Schmutz wird leichter abgeführt

photokatalytisch → organische Verschmutzungen werden unter Licht abgebaut

→ **reduzierter Reinigungsaufwand**



<http://www.hyperraum.tv/2011/08/17/lotuseffekt/>

Was macht Beschichtungen „intelligent“?



- Self-adaptation: auf Einsatzbedingungen reagieren
- Damage tolerance: Schädigung beherrschen
- Self-healing: Schädigung reparieren
- Self-reporting/Sensing: Zustand und Umgebung detektieren
- Self-cleaning: Funktion selbständig erhalten

Werkstoffintelligenz entsteht durch gezielt eingebaute Funktionen!





ECO
-ARMOR-

Intelligente Werkstoffe: Die Revolution unserer Technik?

Nina Schalk^a, Christoph Czettl^b, Christian Mitterer^a

^a Department of Materials Science, Montanuniversität Leoben, Austria

^b CERATIZIT Austria GmbH, Austria



Montanuniversität
Leoben



Christian Doppler
Forschungsgesellschaft

Thank you for your attention!

@ nina.schalk@unileoben.ac.at

f Materials Science Leoben

ig materialsscienceleoben

Move mountains