

PROZESSAUSLEGUNG & INNOVATIVE WERKZEUGE ZUM HOCHLEISTUNGSSCHLEIFEN



DR. STEFAN BOHR


**DIRECTOR APPLICATION ENGINEERING
& OEM MANAGEMENT**

SCHLEIFTAGUNG FELLBACH, 28.1.2020

Level 2

ABRASIVES



- 
- 1. Wer ist Saint-Gobain**
 - 2. Spanbildungsmechanismen**
 - 3. Span Dicke, Länge, und Kontaktzeit**
 - 4. Neue Entwicklungen von Schleifscheiben**
 - 5. Zusammenfassung**





? . . . !

SAINT-GOBAIN

- **Eines der 100 größten Industrieunternehmen**
- **Mehr als 180000 Mitarbeiter**
- **Produktion in 67 Ländern**
- **Umsatz über 41 Mrd €**

Viele bekannte Marken, u.a.:



SAINT-GOBAIN ABRASIVES - SCHLEIFMITTEL

- **Komplettanbieter für alle Produktgruppen**
 - Gebundene Schleifmittel
 - Schleifmittel auf Unterlage
 - Diamant- und cBN-Werkzeuge
 - Trenn- und Schruppscheiben
 - Bauprodukte
- **Ca. 11000 Mitarbeiter**
- **61 Produktionsstätten in 28 Ländern**
- **Etwa 1,5 Mrd € Umsatz**



WINTER

flexOvit



CARBORUNDUM

clipper



ATLAS

GRINDING

rasta
Abrasives of excellence

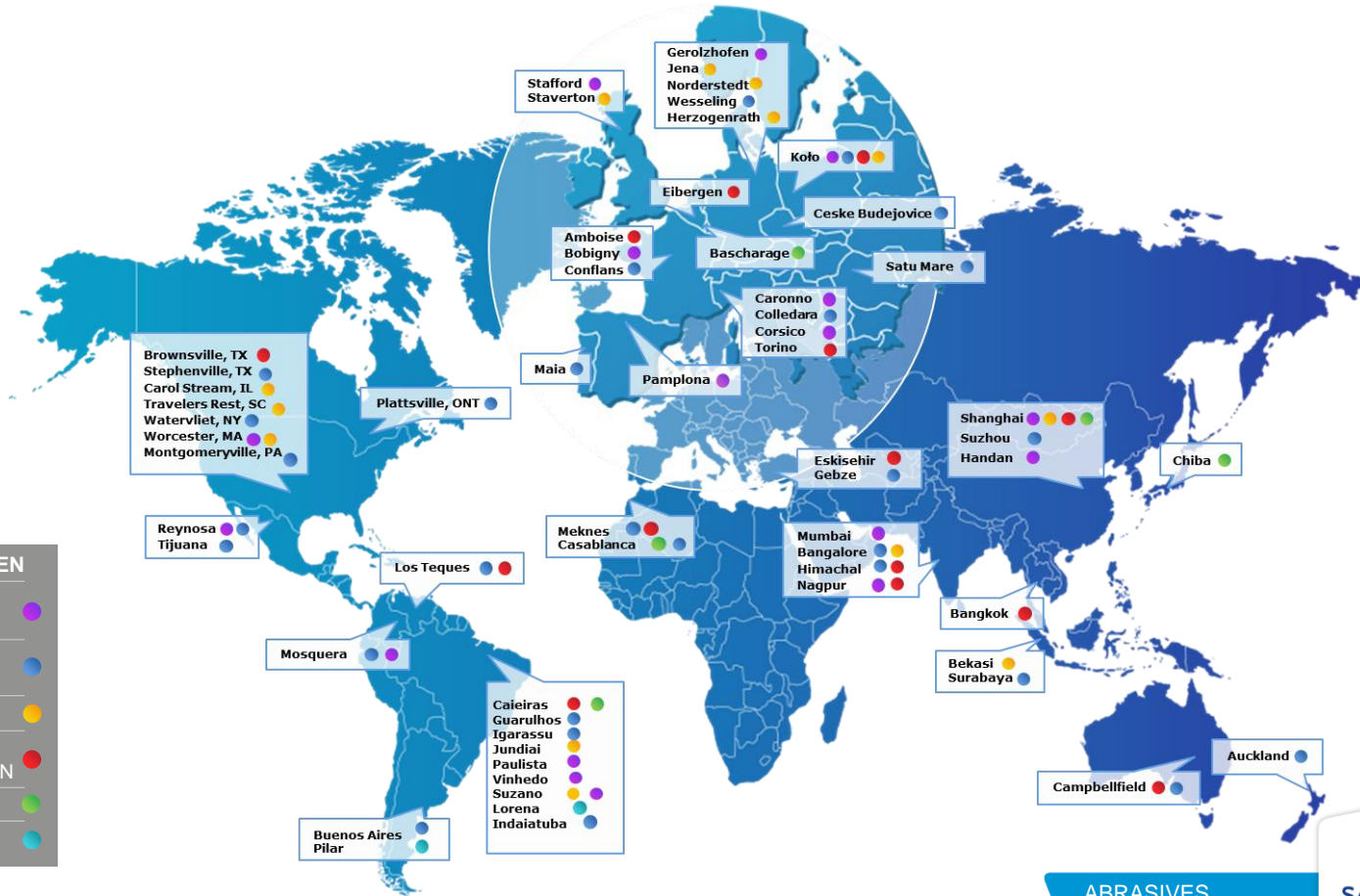
MERIT



ABRASIVES

SAINT-GOBAIN

SAINT-GOBAIN ABRASIVES - SCHLEIFMITTEL



PRODUKTGRUPPEN	
GEBUNDENE SCHLEIFMITTEL	●
SCHLEIFMITTEL AUF UNTERLAGE	●
DIAMANT & CBN	●
TRENN & SCHRUPPSCHEIBEN	●
BAUPRODUKTE	●
OTHER	●

ABRASIVES



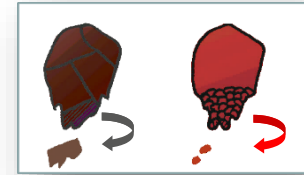
Spanbildungsmechanismen



ABRASIVES

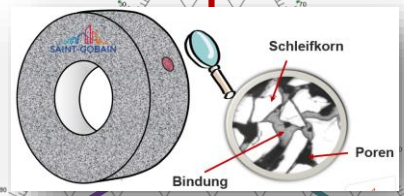
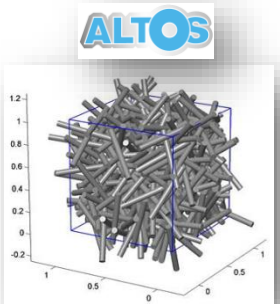


BASIS FÜR OPTIMALE SCHLEIFLÖSUNGEN



Schmelzkorunde (weiß, rosa, mono, ...)
 Sinterkorunde (SG, XG, NQ, ...)
 Stäbchenkorunde (TG, TGX, ...)
 Diamant / cBN

Schleifkorn

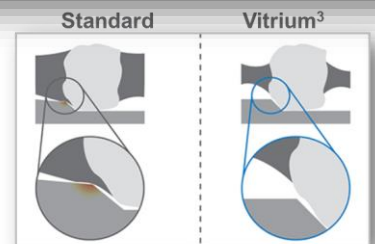


Poren werden entweder durch eine spezielle Matrixtechnologie erzeugt, oder es werden Porenbildner eingesetzt

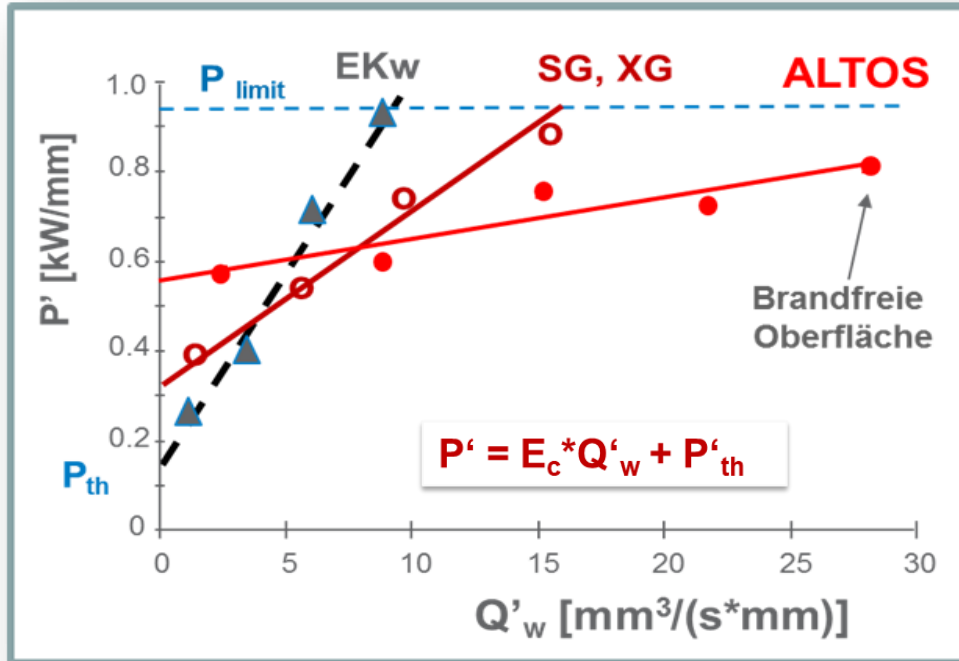
Bindungen weisen unterschiedliche Härten, Verschleißfestigkeiten und Kornhaltekräften auf

Porosität

Bindung



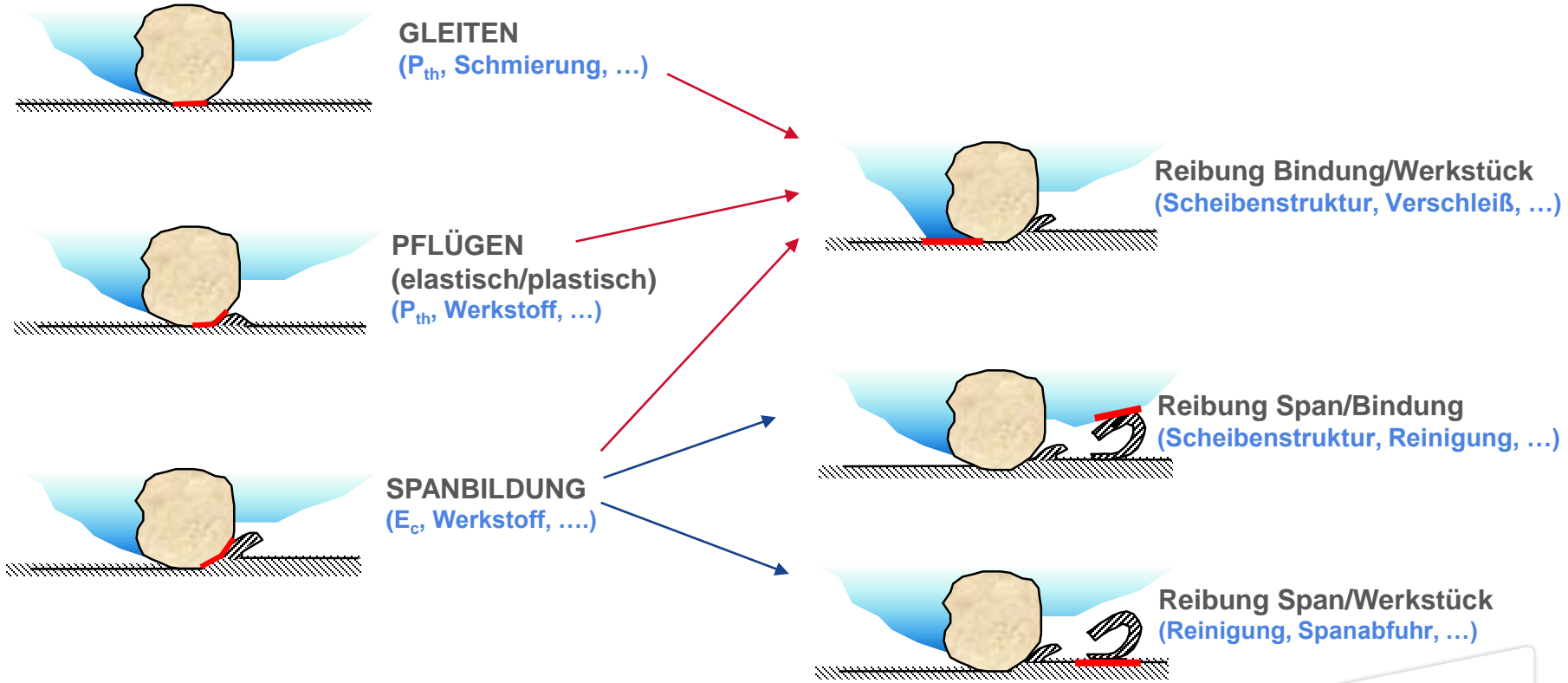
DIE VIELFALT BESTIMMT DAS OPTIMUM



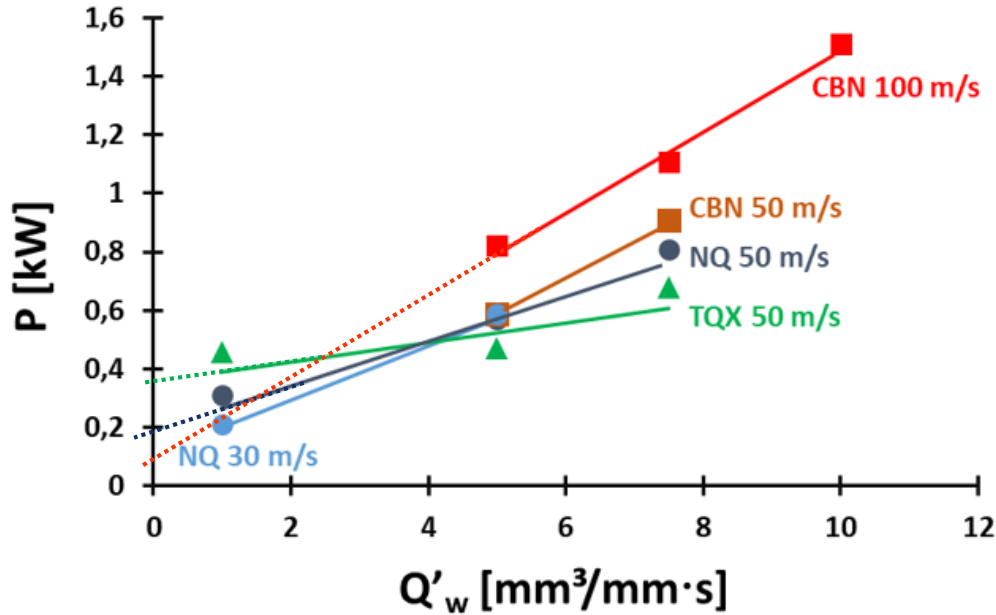
Warum gibt es nicht nur ein einziges Produkt?

- Jedes Schleifkorn/Bindung/Porosität spielt ihre Stärken in bestimmten Bereichen aus
- Folgende Punkte werden beeinflusst:
 - Spezifische Schleifenergie E_c
 - Schwellenleistung P_{th}
 - Aggressivität / Spandicken
 - Oberflächenrauigkeit
 - Maximales Zeitspanvolumen
 - Verschleiß
 - Selbstschärfeffekt
 - Lebensdauer
- Das Schleifverhalten lässt sich zudem durch eine angepasste Abrichtstrategie optimieren

SCHLEIFPROZESS ... WECHSELWIRKUNGEN



FALLBEISPIEL: VERGLEICH ZWISCHEN CBN UND SINTERKORUND



Außenrundeinstechschleifen

Schleifscheiben: keramisch, 400 mm Ø
cBN B126, NQ 60, TQX 80

Werkstück: 100Cr6, 60 HRC
130 – 90 mm Ø

Maschine: Blohm, Emulsion

Ergebnisse:

- Der stäbchenförmige Korund TQX hat die niedrigste spezifische Schleifenergie, gefolgt von Sinterkorund NQ und cBN
- Die Schleifscheibe mit cBN zeigt die niedrigste Grenzwertenleistung

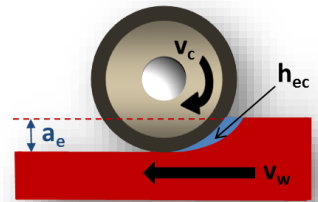


Der Span....

und seine Dicke und Länge



SPANUNGSDICKE



Die äquivalente Spandicke h_{ec} ist bereits ein sehr guter Anhaltspunkt

$$h_{ec} = \frac{Q'_w}{v_c} = \frac{v_w \cdot a_e}{v_c}$$

Polieren und Endbearbeitung:

$$h_{ec} = 0,01 - 0,1 \mu\text{m}$$

Präzisionsschleifen:

$$h_{ec} = 0,1 - 0,7 \mu\text{m}$$

Grob- bzw. Hochleistungsschleifen:

$$h_{ec} = 0,7 - 3,5 \mu\text{m}$$

Mit der unverformte Spannungsdicke h_{cu} lässt sich noch ein realerer Wert ermitteln, der auch die Abhängigkeit von der Kornkonzentration c , der Kornform r und der Werkzeuggröße d_e darstellt:

$$h_{cu} \sim \sqrt[2]{\frac{v_w}{v_c \cdot c \cdot r}} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_e}{d_e}}$$

c Aktive Kornkonzentration pro Fläche

r Kornformfaktor (rund=1, lang~0)

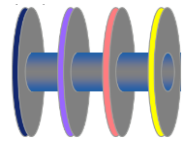
d_e Äquivalenter Schleifscheibendurchmesser

Nach Malkin et al, & Shaw

Wie wirken sich „Abweichungen“ aus:

- h zu klein: Brandgefahr, Gratbildung, feine Oberflächen ... „harte Schleifscheibe“
- h zu groß: raue Oberflächen, laut, hoher Verschleiß „weiche Schleifscheibe“

FALLBEISPIEL: SPANUNGSDICKE UND RAUIGKEIT



Außenrundeinstechschleifen

Schleifscheiben: keramisch, 300 mm Ø

NQ 80 VS3

Werkstück: 100Cr6, 60 HRC

160 mm Ø

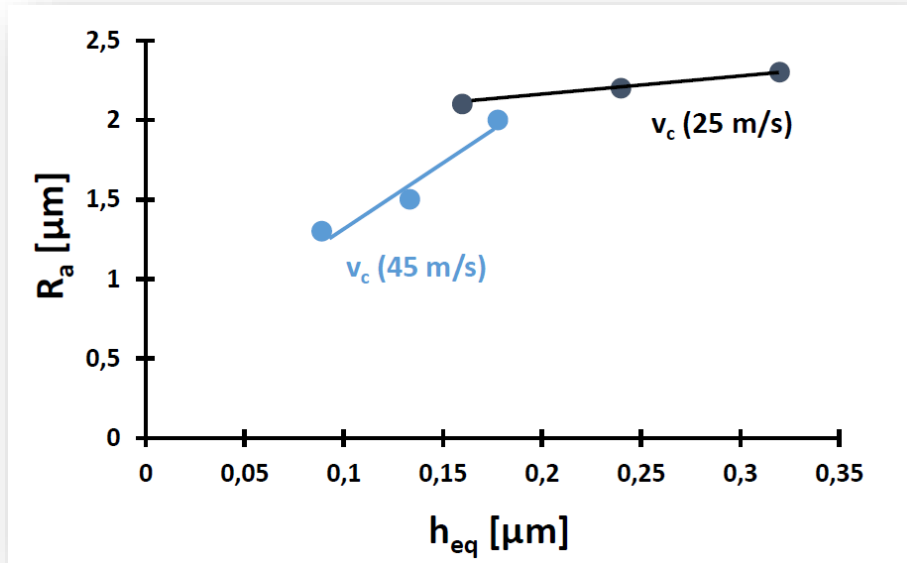
Q'w: 4, 6, und 8 mm³/mm·s

Maschine: Studer, Emulsion

Nur Schruppen....

Ergebnisse:

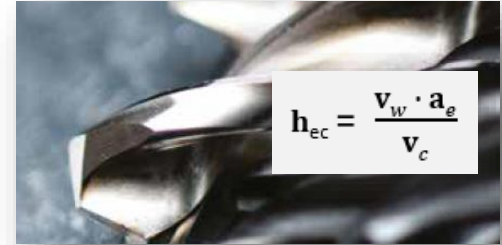
- Direkter Zusammenhang zwischen h_{ec} und R_a
- Andere Parameter wie v_c haben einen signifikanten Einfluss



FALLBEISPIEL FRÄSER-NUTENSCHLEIFEN

Ausgangspunkt: Der Kunde hat Probleme mit dem derzeitigen Schleifprozess bzgl. Prozesszeiten und Gratbildung

Fräser 50 mm x 6,5 mm	Edelstahl 1.4028
Nuttiefe 2 mm	Rollomatic GrindSmart 628XS, Öl



Wettbewerbswerkzeug und -parameter:

$v_c = 55$ m/s, $v_w = 50$ mm/min, $a_e = 1$ mm (2 Schnitte)

>>> Zu feine Oberfläche, Drücken, Gratbildung

➔ $h_{ec} = 0,015$ μm (Spandicke zu gering, aber zu hoher Verschleiß bei „aggressiveren“ Parametern)

Saint-Gobain: Q-Flute B64 EVO höhere Spandicke zu realisieren!

$v_c = 35$ m/s, $v_w = 120$ mm/min, $a_e = 2$ mm (1 Schnitt)

➔ $h_{ec} = 0,11$ μm

>>> und damit: **halbierte Prozesszeit, keine Gratbildung !!!**

KONTAKTLÄNGE / SPANLÄNGE

Ein weiterer wesentlicher Parameter in Schleifprozess ist die Span- bzw. Kontaktlänge l_c :

Flach- und Längsschleifen

$$l_c = \sqrt{a_e \cdot d_e} \cdot \left(1 + \frac{v_w}{v_c}\right)$$

Einstechschleifen

$$l_c = \sqrt{\frac{v_{fr}}{v_w} \cdot \pi \cdot d_w \cdot d_e} \cdot \left(1 + \frac{v_w}{v_c}\right)$$

Beispiel:

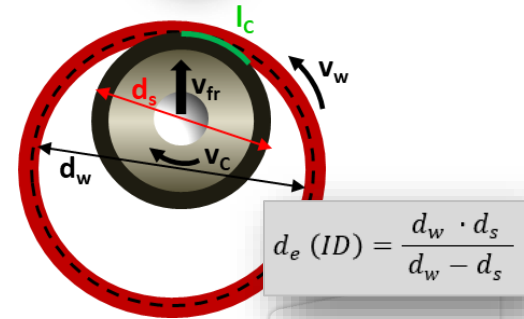
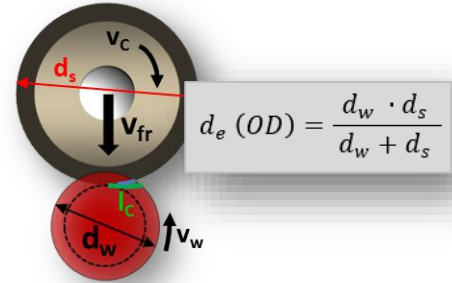
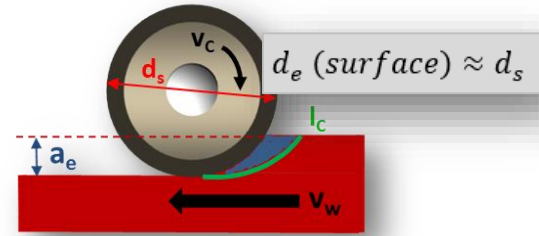
Flach-, Außen- und Innenrundlängsschleifen mit Q'_w 6,7 mm³/mm·s
 d_s 125 mm, a_e 0,01 mm, v_c 50 m/s, v_w 40000 mm/min ($\dots h_{ec}$ 0,13 μm)

- Flachscheifen:
- Außenrundscheifen (d_w 20 mm)
- Innenrundscheifen (d_w 170 mm)

$$l_c = 1.1 \text{ mm}$$

$$l_c = 0,4 \text{ mm}$$

$$l_c = 2,2 \text{ mm}$$



KONTAKTZEIT

Diese starken Unterschiede der Kontaktlängen haben einen entsprechenden Einfluss auf die Kontaktzeit t_c des Kornes mit dem Werkstück:

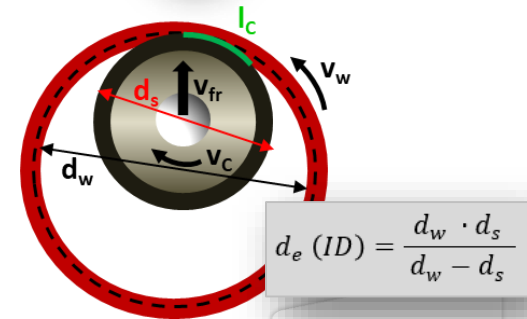
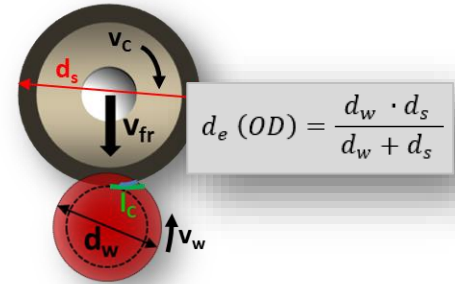
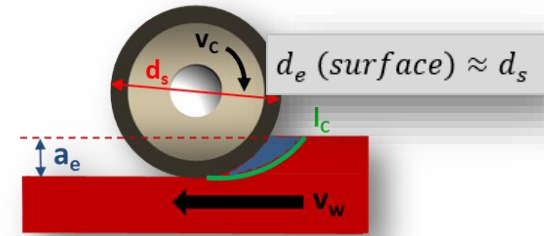
$$t_c = \frac{l_c}{v_c}$$

Beispiel:

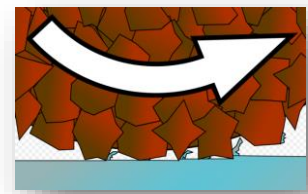
Flach-, Außen- und Innenrundlängsschleifen mit Q'_w 6,7 mm/mm·s
 d_s 125 mm, a_e 0,01 mm, v_c 50 m/s, v_w 40000 mm/min

- Flach-: $l_c = 1.1 \text{ mm}$ $t_c = 23 \mu\text{s}$
- Außen- (d_w 20 mm) $l_c = 0,4 \text{ mm}$ $t_c = 8,4 \mu\text{s}$
- Innen- (d_w 170 mm) $l_c = 2,2 \text{ mm}$ $t_c = 44 \mu\text{s}$

Fazit: Bei gleichen Zeitspanvolumen unterscheiden sich die Kontaktzeiten signifikant (Faktor ~5).... und damit auch die Belastung der Schleifkörner pro Zeiteinheit !!!



ANZAHL DER AKTIVEN SCHLEIFKÖRNER



Grobe **Abschätzung** für z.B. Diamantwerkzeuge:

Annahme einer mittleren Korngröße und einer einheitlichen durchschnittlichen Kornform (zwischen Kugel und Kubus).

Abschirmungen, Schneidenversatz-Grenzwinkel, unterschiedliche Höhen etc wurden vernachlässigt.

Concentration	FEPA grit size	Mesh size	Grit size [µm]	Particles per ct	Particles per mm ³ (volume)	Particles per mm ² (area)	Particles per mm (line)
C50 = 2,2 ct/cm ³	D181	80/100	167	16000	35	11	3,3
	D151	100/120	140	28000	62	16	3,9
	D126	120/140	118	46000	101	22	4,7
	D107	140/170	99	80000	176	31	5,6
	D91	170/200	83	135000	297	45	6,7
C100 = 4,4 ct/cm ³	D181	80/100	167	16000	70	17	4,1
	D151	100/120	140	28000	123	25	5,0
	D126	120/140	118	46000	202	34	5,9
	D107	140/170	99	80000	352	50	7,1
	D91	170/200	83	135000	594	71	8,4
C150 = 6,6 ct/cm ³	D181	80/100	167	16000	106	22	4,7
	D151	100/120	140	28000	185	32	5,7
	D126	120/140	118	46000	304	45	6,7
	D107	140/170	99	80000	528	65	8,1
	D91	170/200	83	135000	891	93	9,6

ZWISCHENFAZIT 1

Aktive Kornkonzentration

Die Spannungsdicke und Oberflächenrauigkeit werden durch die aktive Kornkonzentration pro Fläche beeinflusst.

Sie lässt sich nicht nur durch Anpassung der Gesamtkonzentration ändern, sondern auch wesentlich durch die Korngröße.

$$h_{cu} \sim \sqrt[2]{\frac{v_w}{v_c \cdot c \cdot r}} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_e}{d_e}}$$

Concentration	FEPA grit size	Particles per mm ² (area)	Particles per mm (line)
C50 = 2,2 ct/cm ³	D181	11	3,3
	D151	16	3,9
	D126	22	4,7
	D107	31	5,6
	D91	45	6,7
C100 = 4,4 ct/cm ³	D181	17	4,1
	D151	25	5,0
	D126	34	5,9
	D107	50	7,1
	D91	71	8,4
C150 = 6,6 ct/cm ³	D181	22	4,7
	D151	32	5,7
	D126	45	6,7
	D107	65	8,1
	D91	93	9,6

ZWISCHENFAZIT 2

Belastung der Körner / Spanlänge

Wenn wir in unserem Beispiel mit Konzentration C100 und D126 schleifen, dann sind 5,9 Körner pro mm im Einsatz (= Kornabstand 0,17 mm).

- Flach-: $l_c = 1.1 \text{ mm}$ $t_c = 23 \text{ }\mu\text{s}$ mit 6,5 Körnern
- Außen- (d_w 20 mm) $l_c = 0,4 \text{ mm}$ $t_c = 8,4 \text{ }\mu\text{s}$ mit 2,5 Körnern
- Innen- (d_w 170 mm) $l_c = 2,2 \text{ mm}$ $t_c = 44 \text{ }\mu\text{s}$ mit 13 Körnern

Beim **Innenrundsleifen** teilen sich also 13 Körner die „Arbeit“ Längere Kontaktzeit, größerer Weg, und eine geringere Spandicke pro Korn

Risiko

➔ Kornverrundung, Brand, niedrige Oberflächenrauigkeit

Beim **Außenrundsleifen** sind es nur 2,5 Körner, in kurzer Zeit und auf kurzer Strecke

Risiko

➔ Hoher Verschleiß durch Korn- und Bindungsbelastung

Concentration	FEPA grit size	Particles per mm ² (area)	Particles per mm (line)
C50 = 2,2 ct/cm ³	D181	11	3,3
	D151	16	3,9
	D126	22	4,7
	D107	31	5,6
	D91	45	6,7
C100 = 4,4 ct/cm ³	D181	17	4,1
	D151	25	5,0
	D126	34	5,9
	D107	50	7,1
	D91	71	8,4
C150 = 6,6 ct/cm ³	D181	22	4,7
	D151	32	5,7
	D126	45	6,7
	D107	65	8,1
	D91	93	9,6

Anpassung der Spezifikation notwendig....

- Kornfestigkeit, -größe, -konzentration
- Bindung, Härte, Struktur
- Porosität

FALLBEISPIEL TIEFSCHLEIFEN

Ausgangspunkt: Thermische Schädigung der Oberfläche (Brand), wenn die Schleifscheiben einen kleineren Durchmesser erreichen

Schleifscheibe 300 – 180 mm Ø, NQ keramisch gebunden, 2 Härtegrade (hart = Bindungsmenge + 50%)
Inconel, Öl, $v_c = 22$ m/s, $v_w = 500$ mm/min, $a_e = 1$ mm $\gg \gg Q'_w 8,3$ mm³/mm·s, $h_{ec} 0,38$ µm

Schleifergebnis:

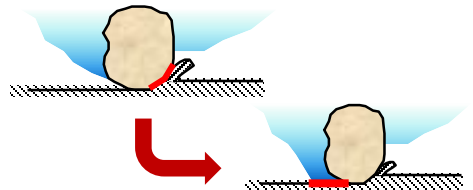
Großer Durchmesser (300 mm): Alles OK, weder Brand bei der weichen noch der harten Spezifikation
Kleiner Durchmesser (180 mm): Brand bei der harten Spezifikation, aber nicht bei der weichen!

Berechnungen:

Kontaktlänge und –zeit:

bei 300 mm: $l_c = 17,3$ mm; $t_c = 0,78$ ms

bei 180 mm: $l_c = 13,4$ mm; $t_c = 0,61$ ms



Beim kleinen Durchmesser ergibt sich durch die **kürzere Kontaktlänge und –zeit** eine **22% höhere Belastung auf das Korn** (...Kornverschleiß). Die Bindung bei der harten Spezifikation (+50%) setzt sich nicht entsprechend zurück und führt zu **Reibung/Brand!**
Mit einem **geringeren Bindungsvolumen** ist diese Problem gelöst!

Neue Entwicklung von Schleifscheiben

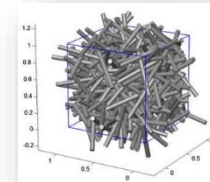
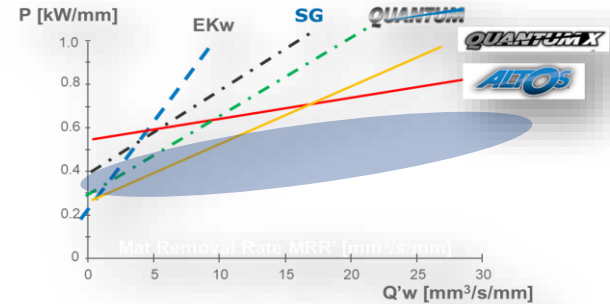
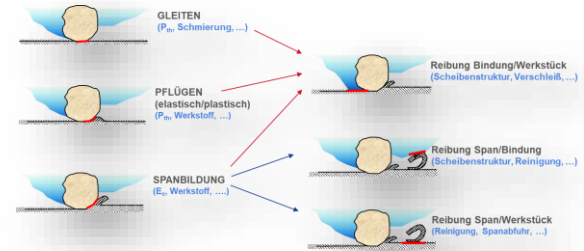


ABRASIVES



ANFORDERUNGEN AN NEUE SCHLEIFSCHEIBEN:

- Hohe Porosität und geringes Bindungsvolumen
- Niedrige Grenzwertenleistung und niedrige Schleifenergie
- Kleiner Kornformfaktor.... längliche Körnung



$$h_{cu} \sim \sqrt[2]{\frac{v_w}{v_c \cdot c \cdot r}} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_e}{d_e}}$$

TQX



FALLBEISPIEL TIEFSCHLEIFEN

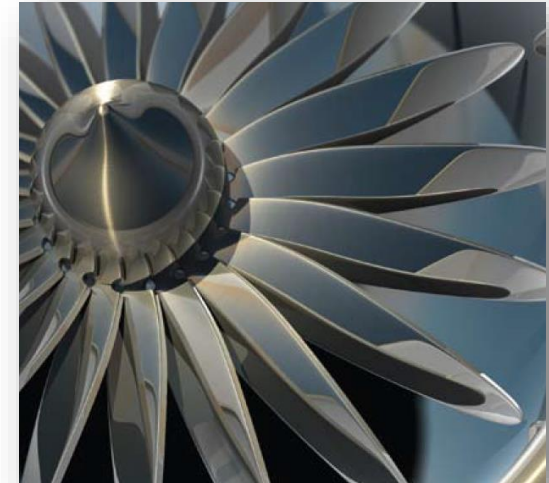
Ausgangspunkt:

Prozessoptimierung erforderlich, da Probleme hinsichtlich der Lebensdauer und teilweise thermischer Schädigung vorlagen

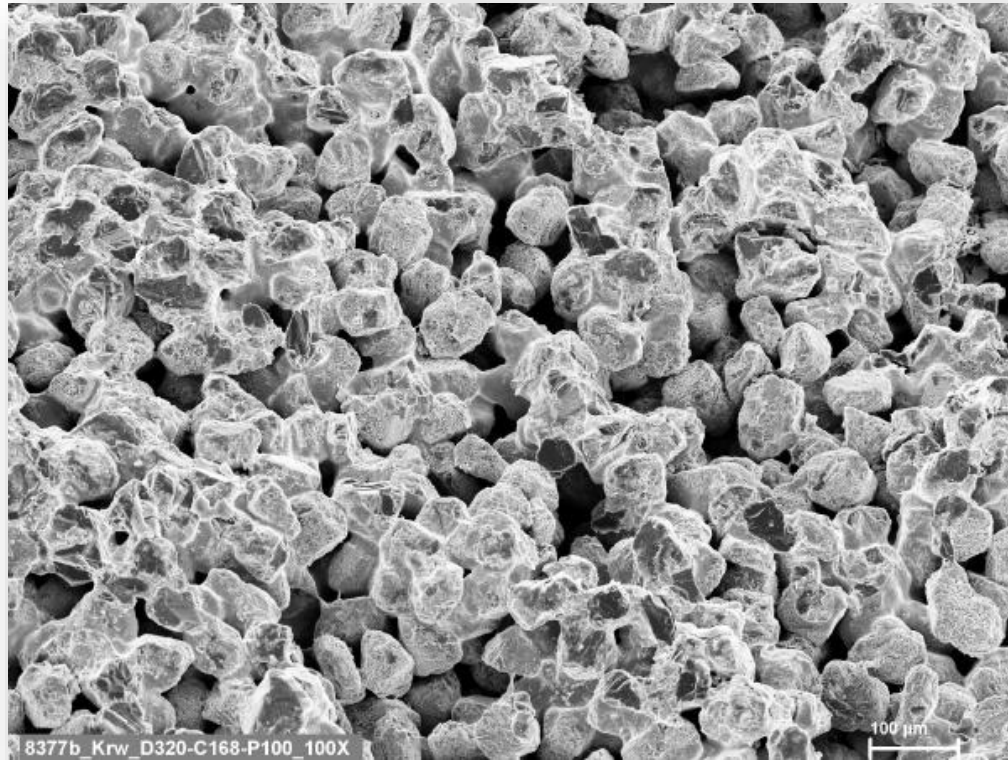
Schleifscheibe 300 Ø, TQX keramisch gebunden, hohes Porenvolumen
Nickelbasislegierung, $v_c = 15-25$ m/s, $v_w = 250 - 600$ mm/min, $a_e = 3 - 0,3$ mm

Schleifergebnis:

- Kein Brand, unempfindlich bei Änderung der Parameter
- 10-fache Lebensdauer verglichen zum derzeitigen Wettbewerb
- Reduktion der Prozesszeiten und 40%



PARADIGM

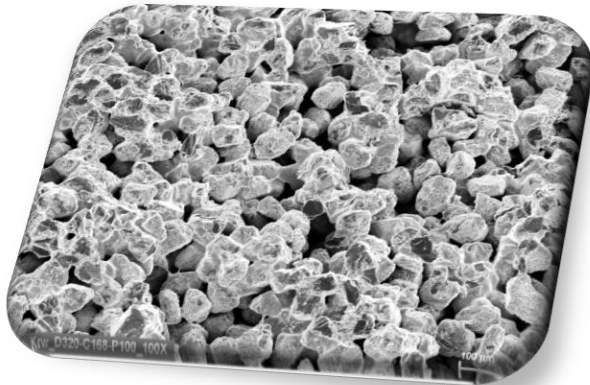


ABRASIVES


SAINT-GOBAIN

Eigenschaften dieses Diamantwerkzeuges

- Hochporöse Metallbindung bis 46%
- Höchste thermische Leitfähigkeit
- Sehr hohe Kornhaltekräfte durch chemisch-aktive Komponenten
- Homogene Struktur
- Leicht abrichtbar (konventionell mit Profil- und CNC-Abrichter)



Auswirkung auf den Schleifprozess

- Die Paradigm vereint die Vorteile der Metall- und Keramikbindung
- Geringe Schleifkräfte
- Kühler Schliff, Vermeidung von Oberflächenschädigungen
- Hohe G-Werte
- Hohe Prozesssicherheit
- Niedrige spezifische Schleifenergie
- Bestens geeignet für schwierig zu schleifende und empfindliche Materialien, z.B. TiAl, CMC, Carbide, ...

Vergleich zwischen SiC und Paradigm (Diamant)

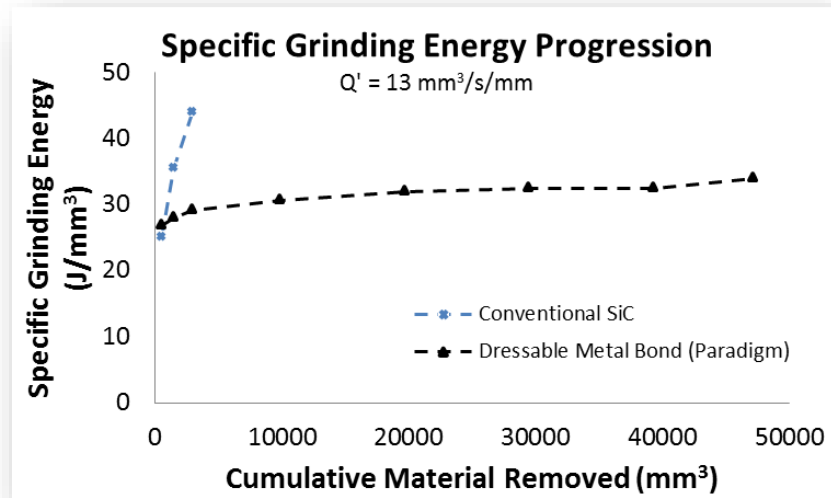
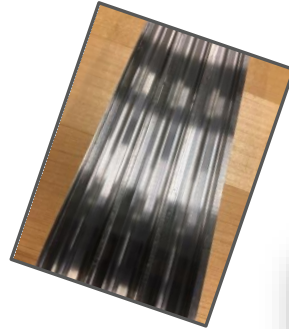
- Blohm Planomat HP
- Gesamtzustellung 4 mm, pro Schliff 0,2 mm

Vorteile von TiAl für die Turbinenindustrie

- Niedrige Dichte (50% geringer als Ni-Superlegierungen)
- Hohe Temperaturstabilität
- Hohe spezifische Festigkeit

Aber:

- Schwierig zu schleifen
- Gefahr von Brand und Rissen



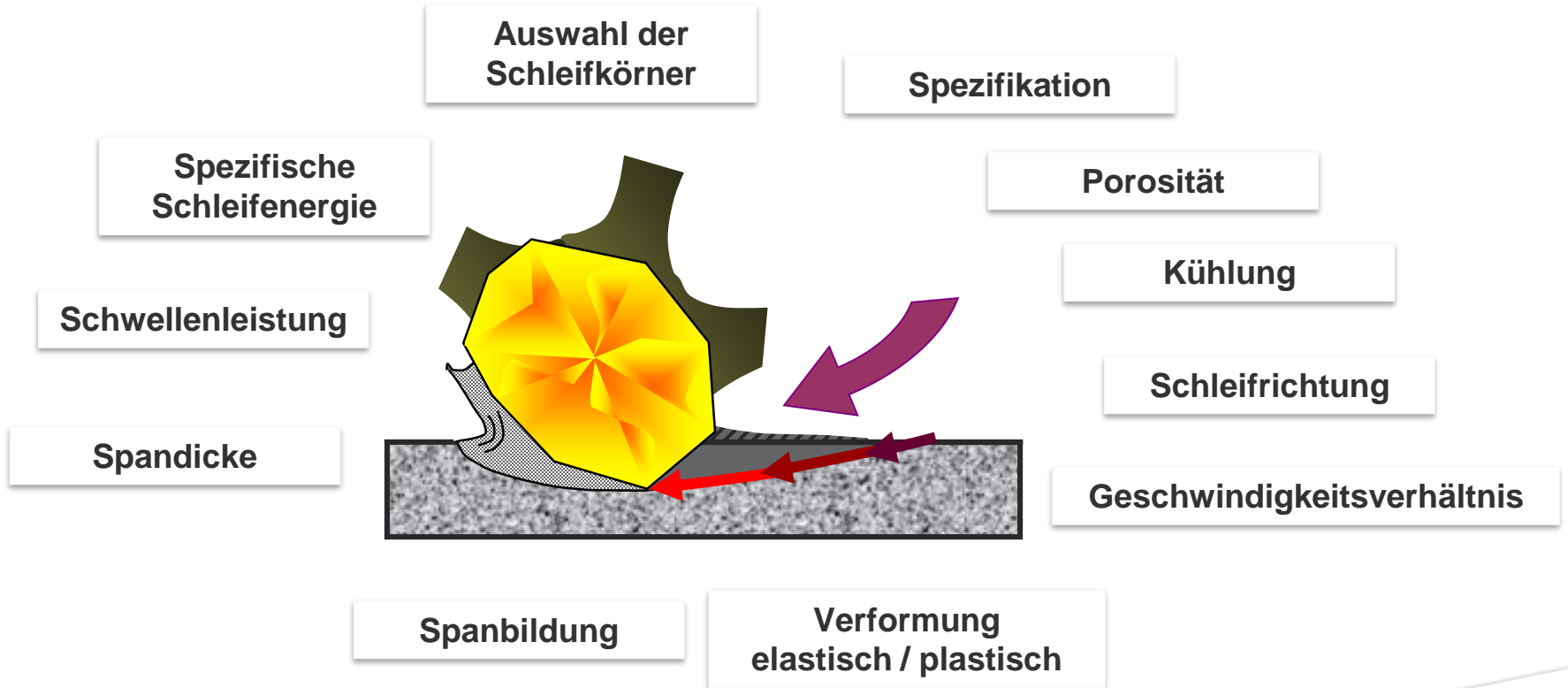
Ergebnis

- Das Schleifen mit **SiC** ergab Brand bereits beim ersten Schliff.
- Mit der **Paradigm** konnten mehrere Schriffe mit konstanter Leistungsaufnahme **ohne Brand und Risse** getätigt werden.
- Das **Abrichten der Paradigm** war nach einiger Zeit nicht wegen Brand, sondern wegen Formabweichungen notwendig.

Zusammenfassung



ZUSAMMENFASSUNG



Die Leistungsfähigkeit der Schleifanwendungen

lassen sich leicht optimieren:

Dazu brauchen wir nur

- ✓ Einige einfache Berechnungen
- ✓ Kenntnis der mikroskopischen Mechanismen
- ✓ Eigenschaften der Schleifkörner, Bindung, Maschine & Werkstück



Grinding is simple...
relatively !





Danke für Ihre Aufmerksamkeit



ABRASIVES

