

2.6 Hartbearbeitung und erreichbare Oberflächenqualitäten

- Carsten Rußner
CeramTec AG
Lauf a. d. Pegnitz

Die Folien finden Sie ab Seite 261.

2.6.1 Einleitung

Bei der Erzeugung definierter Oberflächeneigenschaften in Fertigungsprozessen ist neben dem Verständnis der Werkstofftrennmechanismen eine objektive Charakterisierung der Oberflächen erforderlich.

2.6.2. Werkstofftrennmechanismen

Die Hartbearbeitung gesinterter Keramik erfolgt in den meisten Fällen durch spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide und Diamant als Schneidstoff. Die Betrachtung der Trennmechanismen durch einzelne Abrasivkörner ist wesentlich für das Verständnis der Oberflächenausbildung. Bild 1 zeigt die Oberflächenausprägung entlang der Ritzspur eines Einzelkorns [WAR93].

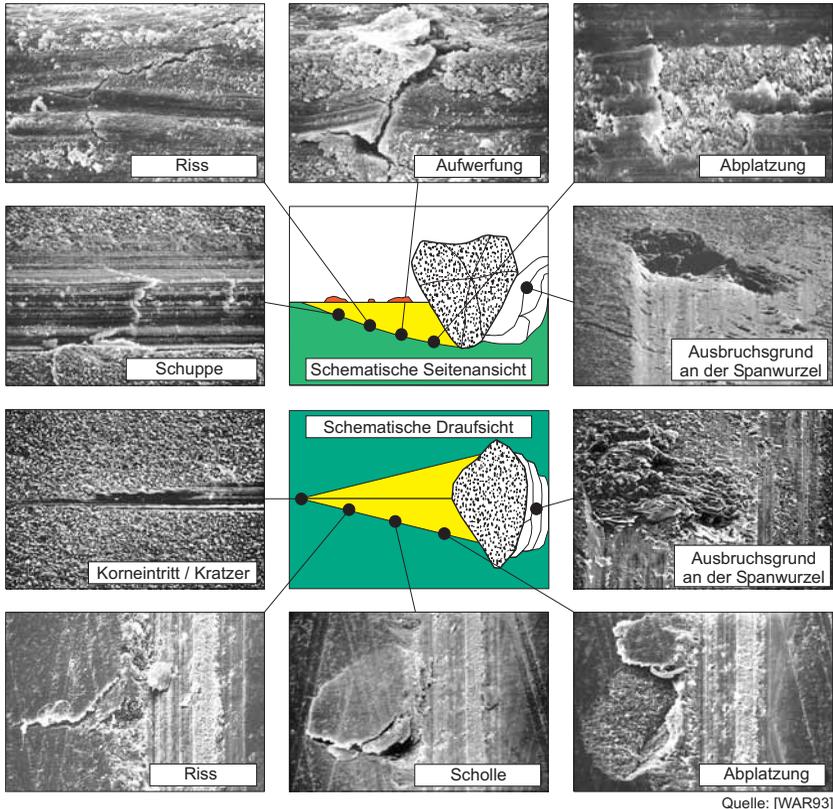


Bild 1: Detailaufnahmen entlang einer Ritzspur

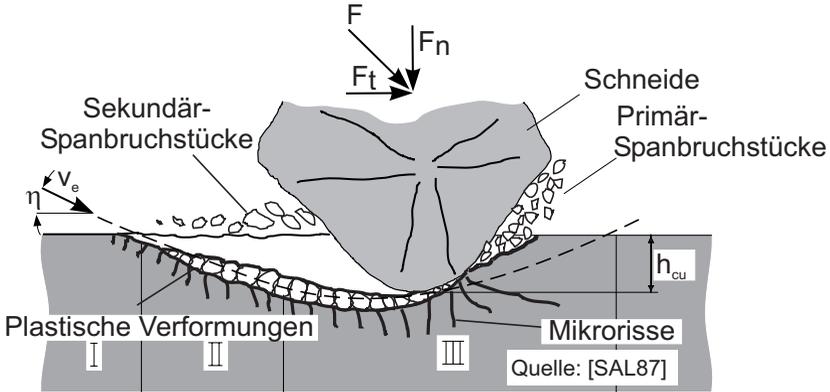
Der Eingriff eines Einzelkorns in den Werkstoff wird durch verschiedene Modelle beschrieben, die im Folgenden kurz dargestellt werden.

Modelle der Werkstofftrennmechanismen

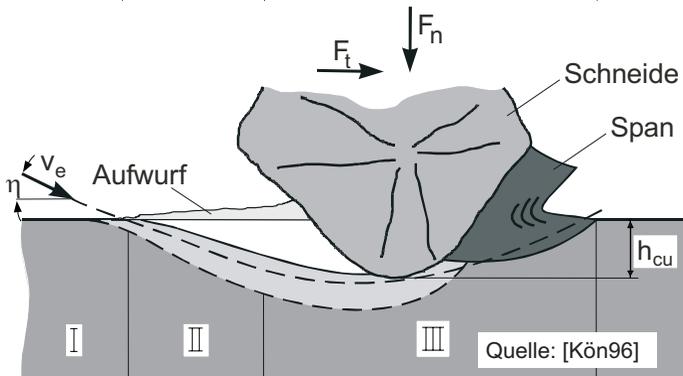
Die bekanntesten beschreibenden Darstellungen der Werkstofftrennmechanismen stammen von SALJÉ [SAL87] und von KÖNIG [KÖN96]. Das Modell von SALJÉ betrachtet einen Trennvorgang bei sprödem Werkstoffverhalten: Mikrorisse und die daraus folgenden Ausbrüche dominieren mit zunehmender Eingriffstiefe die Werkstofftrennung.

Einführung in die Technische Keramik

F_n	Normalkraft	T_μ	Schnitteinsatztiefe
F_t	Tangentialkraft	h_{cu}	Spanungsdicke
v_e	Wirkgeschwindigkeit		



Elastische Deformationen	Druck- erweichung	Ritzen
-----------------------------	----------------------	--------



Elastische Verformung Reibung Korn / Werkstück	Elastische und plas- tische Ver- formung; Reibung	Elastische und plastische Verformung + Spanabnahme Reibung Korn / Werkstoff Innere Werkstoffreibung
--	---	---

Bild 2: Modelle zu Werkstofftrennmechanismen nach SALJÉ (oben) und KÖNIG (unten)

Im Gegensatz dazu beziehen sich die Beschreibungen von KÖNIG auf duktileres Werkstoffverhalten. Die Kornschneide löst nach einer Phase elastischer Verformung plastisches Fließen aus. Anfangs bildet sich zwischen Schneidkontur und Werkstückoberfläche noch kein Span. Erst wenn die Einzelkornspannungsdicke h_{cu} der Grenzspannungsdicke entspricht, beginnt die eigentliche Spanbildung.

Das Funktions- und Zerspanungsverhalten keramischer Bauteile wird durch Mikrorisse in der Werkstoffrandzone beeinflusst. Die Auswirkungen der Rissausbreitung, die bei der Bearbeitung letztendlich zur Werkstofftrennung führt, werden in Ritz- und Eindruckversuchen untersucht. Die Betrachtung von Einkornritzversuchen und Eindruckversuchen bei sprödharten Werkstoffen führt zur Annahme von zwei unterschiedlichen Arten von Trennmechanismen. Die unterschiedlichen Oberflächenausbildungen sind abhängig von den verwendeten Prozess- und Systemgrößen. Die Auswirkungen dieser beiden prinzipiell unterschiedlichen Trennmechanismen sind nach MARSHALL in Bild 3 dargestellt [MAR83].

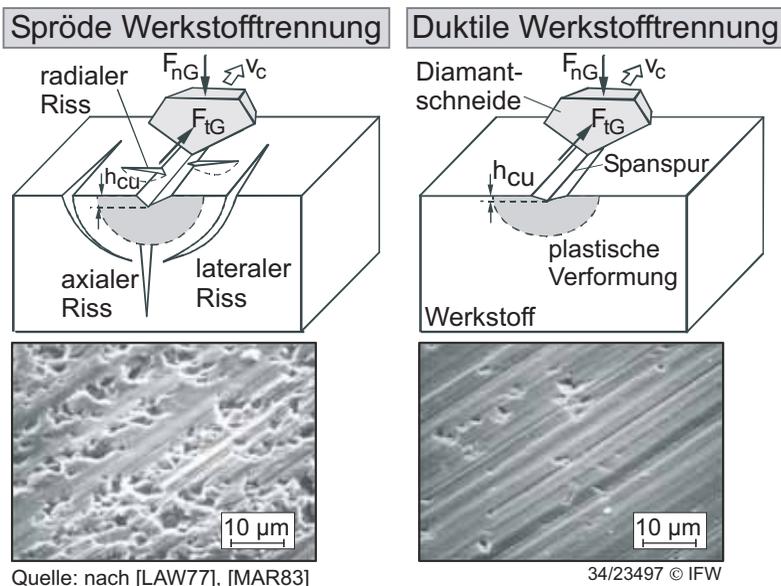


Bild 3: Werkstofftrennung und Rissbildung an sprödharten Werkstoffen

Welche Werkstofftrennmechanismen bei der Bearbeitung vorherrschen, hängt u. a. von der Geometrie des eindringenden Ritzkörpers ab. Beim Eindringen eines stumpfen Körpers kommt es nach LAWN zu Hertzschen Kegelrissen, wohingegen das Eindringen eines spitzen Körpers Lateralrisse sowie radiale Tiefenrisse und Oberflächenrisse verursacht, die zum Materialausbruch führen können [LAW77, MAR83] (**Bild 3**). Beim Ritzen mit spitzen Körpern entstehen ebenfalls radiale Risse, die auch als Scherrisse bezeichnet werden.

Die Trennmechanismen bei der Bearbeitung keramischer Werkstoffe und damit die bearbeitungsabhängige Oberflächenausbildung sind in hohem Maße werkstoffspezifisch.

Zu den spezifischen Einflussparametern zählen Härte, Steifigkeit (Elastizitätsmodul), Festigkeit, Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung, Wärmekapazität und Thermoschockempfindlichkeit. Allgemeine Aussagen über die Auswirkung einer einzelnen Werkstoffeigenschaft auf die Werkstofftrennmechanismen sind kaum möglich. Beispielsweise ist der Übergang von spröder zu duktiler Werkstofftrennung sowohl von der Zähigkeit als auch der Härte und Festigkeit abhängig. **Bild 4** gibt einen exemplarischen Überblick über die werkstoffspezifische Oberflächenausbildung und weitere Prozesswirkungen beim Schleifen unterschiedlicher sprödharter Werkstoffe.

Neben den beschriebenen Werkstoffeigenschaften hat der Gefügebau - Korngröße und Korngrenzphasen - eines keramischen Werkstoffs einen maßgeblichen Einfluss auf die Werkstofftrennmechanismen.

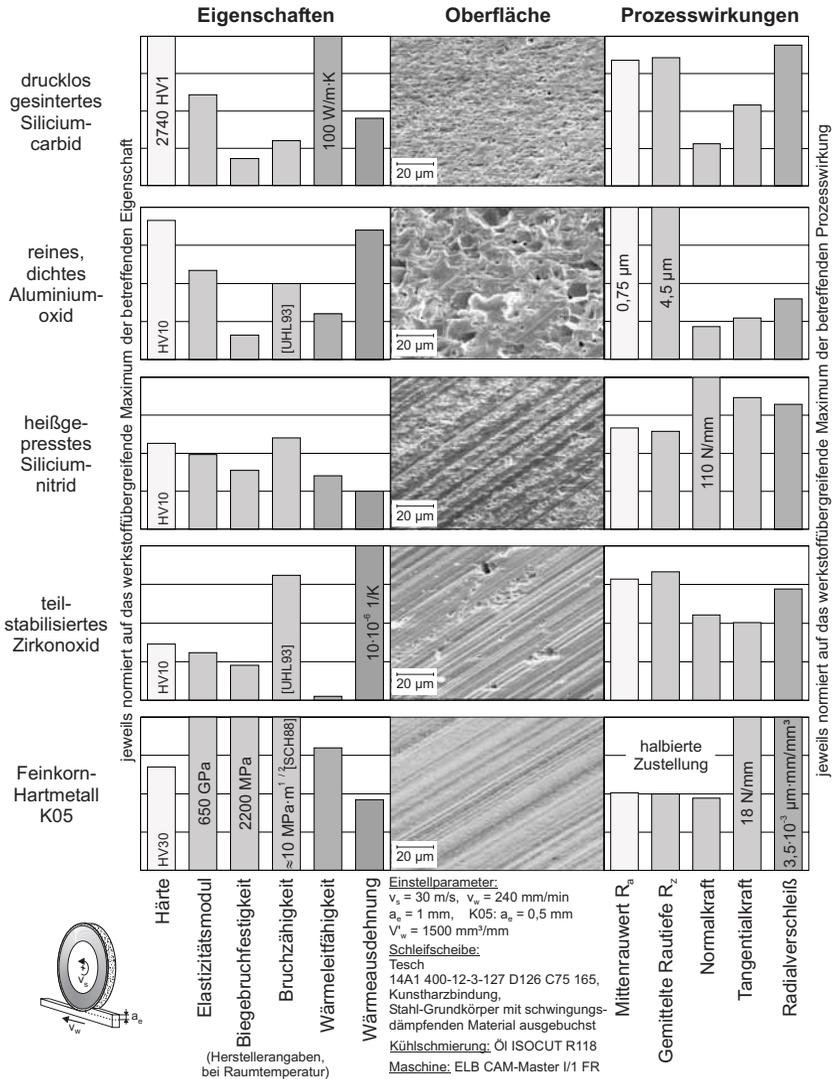


Bild 4: Eigenschaften und Prozessgrößen beim Schleifen sprödharter Werkstoffe

2.6.3. Hartbearbeitung

Die Oberflächentopographie einer keramischen Oberfläche ist neben dem Werkstoff entscheidend von den angewandten Fertigungstechnologien und deren spezifischen Werkstofftrennmechanismen abhängig. Die Oberflächenentstehung wird von einer Vielzahl von Größen beeinflusst, die durch Werkzeug, Werkstück, Werkzeugmaschine und Prozess bestimmt werden. Im Folgenden werden verfahrensabhängige Oberflächencharakteristika für Bauteile aus technischer Keramik dargestellt, ohne detailliert auf einzelne dieser Einflussgrößen einzugehen. Als wichtigste Hartbearbeitungsverfahren werden zunächst die Technologien Schleifen, Honen, Läppen und Polieren behandelt und danach ausgewählte Sonderverfahren diskutiert.

2.6.3.1. Geschliffene keramische Oberflächen

Charakteristisch für das Schleifen ist die Überlagerung einer Vielzahl bahngebundener Ritzbewegungen von Schleifkörnern durch den Werkstoff sowie eine Hauptwirkrichtung parallel zur Werkstückoberfläche. Die Ritzbewegung des Schneidkorns induziert direkt Risse und spröde Ausbrüche und/oder Plastifizierungen sowie duktiles Abtrennen von Keramikpartikeln. Indirekt kommt es einerseits zur Ausbreitung und Fortpflanzung tieferliegender Risse zu Rissystemen und dadurch zum Ausbrechen weiterer Partikel, deren Volumen größer sein kann als das vom Schneidkorn verdrängte Volumen. [UHL93, WEI97].

Anhand von Bearbeitungsspuren aus Modellversuchen lassen sich diese Werkstofftrennmechanismen zeigen. In **Bild 5** ist ein Bereich mit vorwiegend plastischen Verformungen an der Oberfläche, ein Bereich mit vorwiegend Spröbruch sowie ein Rissbereich deutlich zu unterscheiden. Dieser ist durch mikroskopische Axial-, Radial- und Lateralrisse gekennzeichnet.

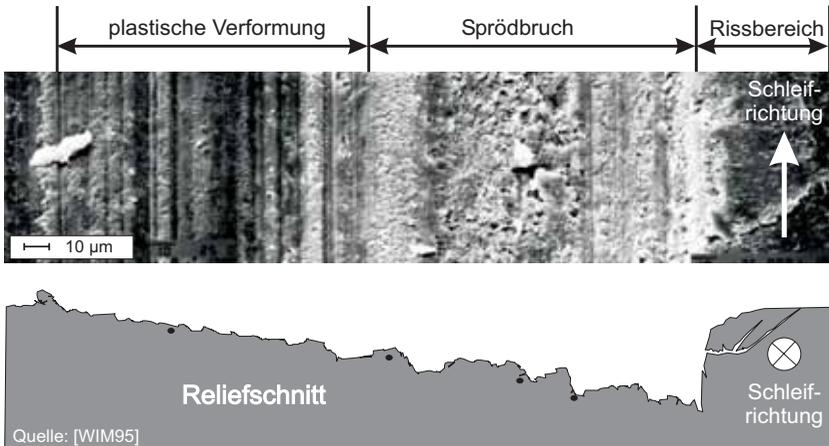


Bild 5: Unterschiedliche Werkstofftrennmechanismen bei geschliffenem Siliciumnitrid [WIM95]

Oberflächen, deren Entstehung wesentlich von plastischen Verformungsvorgängen bestimmt wird, weisen Riefen, Verrundungen, Schichtungen, Schuppen und eine verhältnismäßig geringe Zahl von Ausbrüchen auf. Diese Charakteristika sind kennzeichnend für das „duktiler Zerspanen“ (**Bild 6**). Im Gegensatz dazu ist für das „spröde Zerspanen“ eine Vielzahl von Ausbrüchen, Aufwerfungen, Schollen und Abplatzungen typisch. In der Regel kommt es beim Schleifen einer Oberfläche sowohl zu duktiler als auch zu spröder Zerspanung. Der Übergang von spröder zu duktiler Zerspanung hängt insbesondere vom Überschreiten einer werkstoffabhängigen, kritischen Spannungsdicke am Einzelkorn, aber auch von der Mikrogeometrie der Schneidkörner ab.

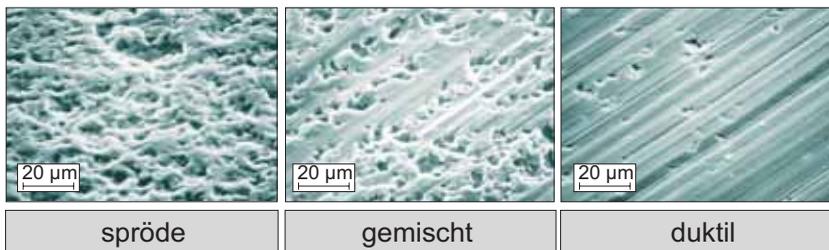


Bild 6: Oberflächen spröde, gemischt und duktil geschliffener Keramiken

2.6.3.2. Gehonte keramische Oberflächen

Charakteristisch für das Honen ist die Überlagerung einer Vielzahl kraftgebundener Ritzbewegungen von Schneidkörnern durch den Werkstoff und ein flächenhafter Werkzeugeingriff mit einer Hauptwirkrichtung parallel zur Werkstückoberfläche. Aufgrund der um etwa eine Größenordnung geringeren Schnittgeschwindigkeiten ist der thermische Einfluss beim Honen gegenüber dem Schleifen vergleichsweise gering. Es treten wie beim Schleifen duktile und spröde Werkstofftrennmechanismen nebeneinander auf. Welcher Mechanismus überwiegt, wird wesentlich von der Korneindringtiefe und der Schnittgeschwindigkeit bestimmt.

Die Untersuchungen von SPUR [SPU89] und WEIGMANN [WEI97] bestätigten, dass beim Honen von Aluminiumoxid und Siliciumnitrid die Rauheit und Abtrennrates mit der Schneidkorngröße und dem Leistenanpressdruck zunehmen. Bei Aluminiumoxidkeramiken kommt es infolge überwiegend duktiler Zerspanung bei kleinen Diamantkorngrößen (D7, D10) zu weitgehend glatten Oberflächen, die von einer Vielzahl von Mulden und Riefen unterbrochen sind. Bei großen Korngrößen verlagern sich die Werkstofftrennmechanismen in Richtung spröder Zerspanung, so dass Oberflächen mit vielen interkristallinen Ausbrüchen entstehen (**Bild 7**).

Beim Honen wirken sich bei spröder Zerspanung höhere Schnittgeschwindigkeiten positiv auf das Zeitspanungsvolumen aus. Für die Oberflächengüte sind höhere Schnittgeschwindigkeiten jedoch aufgrund der stärkeren Rissinduzierung, die zu Ausbrüchen und Abplatzungen führen kann, von Nachteil [HÖH99].

Werkstück: Al_2O_3 , Nr. 8;
 Werkzeug: D var. 50.320 C100;
 Kühlschmierstoff: Honöli;
 Einstellparameter: $\alpha = 60^\circ$,
 $v_c = 30 \text{ m/min}$

Quelle: [WEI97]

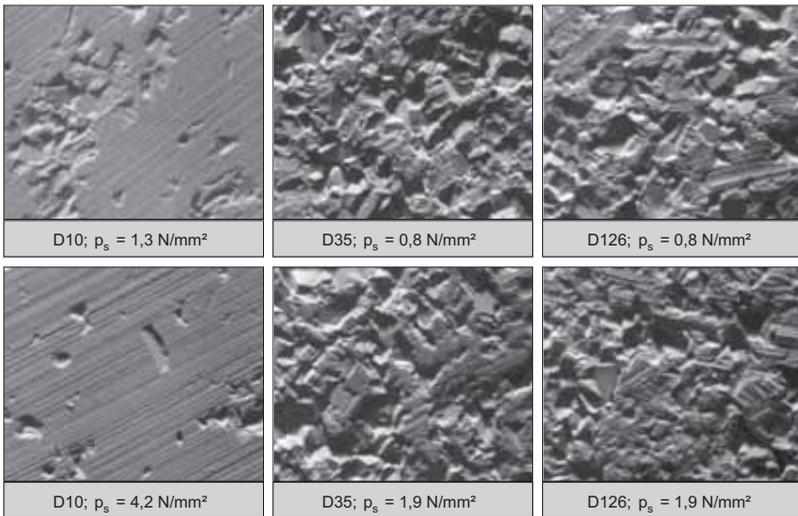
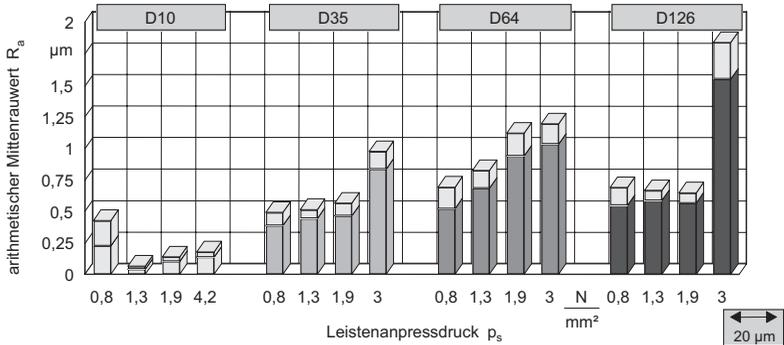


Bild 7: Oberflächenausbildung in Abhängigkeit von Korngröße und Anpressdruck beim Honen von Aluminiumoxid [WEI97]

2.6.3.3. Geläppte keramische Oberflächen

Läppen ist definiert als Spanen mit losem, in einer Paste oder Flüssigkeit verteiltem Korn, dem Lappgemisch, das auf einem meist formübertragenden Gegenstück (Lappwerkzeug) bei möglichst ungeordneten Schneidbahnen der einzelnen Körner geführt wird.

Aufgrund der niedrigen Zeitspannungsvolumina werden Lapp-Prozesse meist für Bearbeitungsaufgaben mit geringen Aufmaßen zur Verbesserung von Formgenauigkeiten und Oberflächengüten eingesetzt. Charakteristisch sind die mikrogeometrisch nahezu isotropen Oberflächentopographien mit regellos angeordneten Riefen, einer Vielzahl sehr homogen verteilter Mulden sowie vereinzelt interkristallinen Oberflächenausbrüchen (Bild 4). Diese Strukturen erweisen sich vielfach bei hohen tribologischen oder optischen Funktionsanforderungen als vorteilhaft [KÖN96].

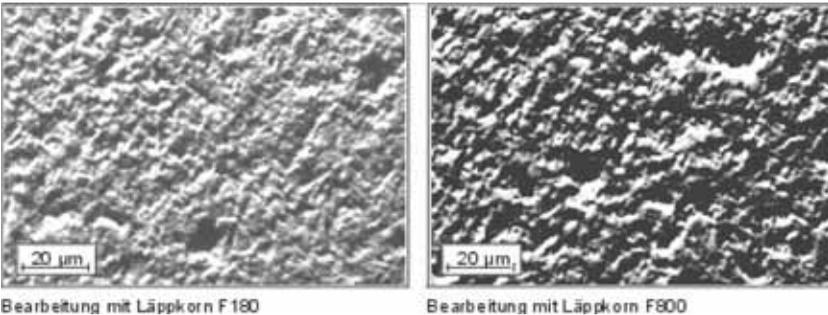


Bild 8: Geläppte Siliciumcarbid-Oberflächen

Die Werkstofftrennmechanismen spröder Zerspanung wirken sich beim Läppen keramischer Werkstoffe günstig auf das Zeitspannungsvolumen aus, da das Volumen des abgetrennten Werkstoffs größer sein kann als das durch das Schneidkorn verdrängte Volumen [SAB91]. Die Werkstofftrennung beim Läppen ist durch Eingriff der Schneidkörner infolge ihrer Abrollbewegung gekennzeichnet (Bild 8).

2.6.3.4. Polierte keramische Oberflächen

Durch Polieren sollen vorrangig hohe Oberflächengüten erzeugt werden. Im Gegensatz zum Läppen ist das Polierkorn in einem Tuch oder einer Polierscheibe eingebettet, so dass eine gerichtete Werkzeugbewegung realisiert wird, welche für die Erzeugung optisch spiegelnder Oberflächen notwendig ist. Polieren ist wegen der geringen Zeitspannungsvolumina zeit- und kostenaufwendig.

Die beim Polieren wirkenden Mechanismen konnten noch nicht eindeutig geklärt werden. Einerseits wird von einem Umformen der Oberflächenprofilspitzen ausgegangen, wobei der Werkstoff in die vorhandenen Profiltäler gequetscht wird. Andererseits ist aufgrund der zu verzeichnenden Materialabnahme ein spanabhebender Prozess anzunehmen [SAM72].

Polierte Oberflächen sind in Abhängigkeit von der Polierzeit und dem eingesetzten Polierkorn durch glatte Bereiche und Mulden charakterisiert. Andere Oberflächencharakteristika sind nur vereinzelt anzutreffen und nicht typisch (**Bild 9:** Polierte Siliciumcarbid-Oberflächen).

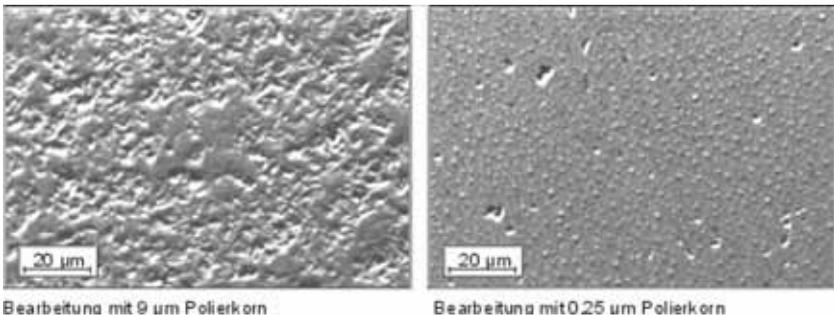


Bild 9: Polierte Siliciumcarbid-Oberflächen

2.6.4. Großserientechnische Schleifverfahren

Der Schleifprozess ist gekennzeichnet durch das Zusammenspiel von Maschine, Schleifscheibe, Abrichtprozess und Kühlschmierstoff. Nachstehend sind großserientechnische Schleifverfahren zusammengestellt.

2.6.4.1. Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik

Das Besondere an der Planetenkinematik ist die zykloidische Bahnform auf der sich die Werkstücke bewegen, welche zu gekreuzten Bearbeitungsspuren führt. **Bild 10** zeigt die Bahnbewegung eines Werkstückes bei einer Umdrehung der Läuferscheibe auf der unteren Schleifscheibe.

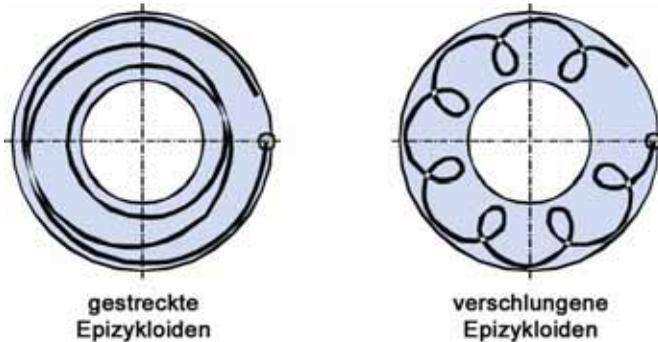


Bild 10: Kinematik

Bei den in der Großserie üblichen Drehzahleinstellungen von 150-200 min^{-1} im Gegenlauf sowie einer Drehzahl des inneren Zahnkranzes von 100 min^{-1} entstehen als Bahnform gestreckte Epizykloiden.



**Doppelseitenquerplanschleifen
mit Planetenkinematik von
Dichtscheiben aus
Aluminiumoxid**

Bild 11: Planschleifen mit Planetenkinematik

Die für die Großserientechnik eingesetzte Maschinentechnik zeigt **Bild 11**. Die Werkstücke liegen in Läuferscheiben. Je nach Maschinengröße variiert die Stückzahl. Die Schnittgeschwindigkeit v_c liegt bei maximal 6 m/s.

Aufgrund der Steifigkeit der Maschine, der Schleifscheibentechnologie und der Überlagerung unterschiedlicher Kinematik hat sich die zeitbezogene Teilehöhenreduktion in den letzten Jahren für Aluminiumoxidkeramik deutlich verändert. Je nach eingesetzter Schleiftechnik werden bis zu 30.000 $\mu\text{m}/\text{min}$ zerspant (**Bild 12**). Das Planschleifen mit Planetenkinematik ergibt aufgrund der Vielzahl der Werkstücke im Bearbeitungszyklus Werte zwischen 180 $\mu\text{m}/\text{min}$ und 1.800 $\mu\text{m}/\text{min}$.

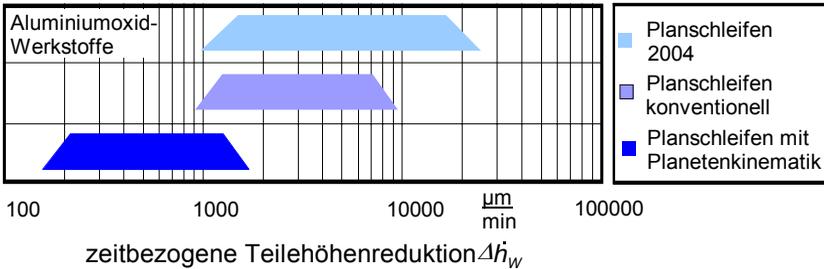


Bild 12: zeitbezogene Teilehöhenreduktion für Aluminiumoxidwerkstoffe

2.6.4.2. Schrägeinstechschleifen

Sehr hohe Produktivität bietet das Schrägeinstechschleifen auf Spitzenlosmaschinen. Wichtig hierbei ist, dass für die Rekonditionierung des Formverschleißes der Schleifscheibe ein rotierender Abrichter stabil auf der Maschine implementiert ist. Das Abrichten von Diamantschleifscheiben mittels Diamantformrolle wurde erst in den letzten zwei Jahren zur Serienreife für komplexe Schleifscheibenformen entwickelt. Das Verfahren zeichnet sich durch sehr gute Genauigkeit aus. Durchmessertoleranzen von $\pm 2 \mu\text{m}$ sind bei Rundheiten bis $3 \mu\text{m}$ erreichbar. Weiterhin kann dieses Maschinenkonzept einfach automatisiert werden.

2.6.4.2. Rundscheifen von Siliciumcarbid

Das Rundscheifen wird bei einer Schnittgeschwindigkeit $v_c = 60 \text{ m/s}$ durchgeführt. Das Zeitspannungsvolumen liegt bei $Q'_w > 8 \text{ mm}^3/(\text{mm s})$. Insgesamt werden Durchmessertoleranzen $< 10 \mu\text{m}$ bei einer Prozessfähigkeit von 1,67 erreicht.

2.6.5. Zusammenfassung

Maßgeblich für die Charakteristika keramischer Oberflächen bei spanender Bearbeitung sind die vorherrschenden Werkstofftrennmechanismen, der verwendete Werkstoff sowie die eingesetzte Fertigungstechnologie. Die neuen eingesetzten Fertigungsverfahren er-

möglichen eine prozessfähige Großserienfertigung innerhalb bisher nicht erreichter Toleranzen.

2.6.6. Literatur

Danksagung: Ich möchte mich hiermit noch einmal bei dem Autorenteam und speziell bei Herrn Dr.-Ing. Thomas Ardetl bedanken für die Zurverfügungstellung der Quelle [Ard01].

- [ARD01] T. Ardetl, C. Barth, N. Daus, K. Eichgrün, D. Hessel, R. Kreis, D. Pähler, L. Schäfer, C. Schmidt, C. Spengler, F. Sroka: Charakterisierung keramischer Oberflächen
Teil1: Vollständige und einheitliche Beschreibung keramischer Oberflächen IDR 35 (2001) Nr. 2, S. 171 – 179.
Teil 2: Einfluss der Bearbeitung auf die Oberflächentopographie. IDR 35 (2001) Nr. 4, S. 346 - 351
- [HÖH99] Höhne, L.: *Honen technischer Keramik*. Essen, Vulkan-Verlag, 1999. - Braunschweig, Techn. Universität, Fachbereich 7, Diss., 1998
- [KÖN96] König, W., Klocke, F.: *Fertigungsverfahren*. Bd. 2: Schleifen, Honen, Läppen. 3. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1996
- [LAW77] Lawn, B.; Evans, A. G.: *A model of crack initiation in elastic/plastic indentation fields*. Journal of Mat., 12 (1977), S. 2195-2199
- [MAR83] Marshall, D. B.; Evans, A. G.: *The nature of mashing damage in brittle materials*. Proc. R. Soc. Lond. A385 (1983), S. 461-475
- [SAB91] Sabotka, I.: *Planläppen technischer Keramiken*. Dissertation, TU Berlin, 1991
- [SAL87] Saljé, E., Möhlen, H.: *Prozessoptimierung beim Schleifen keramischer Werkstoffe*. IDR 21 (1987) Nr. 4, S. 243-247
- [SAM72] Samuels, L.E.: *Mechanism of Abrasive Polishing*. Anals of the CIRP Vol. 21/1/1972, S. 87-88
- [SPU89] Spur, G., Linke, K., Sabotka, I., Tio, T.H., Uhlmann, E.: *Keramikbearbeitung*. München, Carl Hanser Verlag, 1989

Einführung in die Technische Keramik

- [UHL93] Uhlmann, E.: *Tiefschleifen hochfester keramischer Werkstoffe*, Dissertation, TU Berlin 1993
- [WAR93] Warnecke, G., Rosenberger, U. Wimmer, J.: *Mikrovorgänge beim Schleifen von Hochleistungskeramik*. In: IDR 27 (1993) 4, S. 247-252
- [WEI97] Weigmann, U.-P.: *Honen keramischer Werkstoffe*. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin, Berlin, Techn. Universität, Diss., 1997
- [WIM95] Wimmer, J.: *Konditionieren hochharter Schleifscheiben zum Schleifen von Hochleistungskeramik*. Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1995

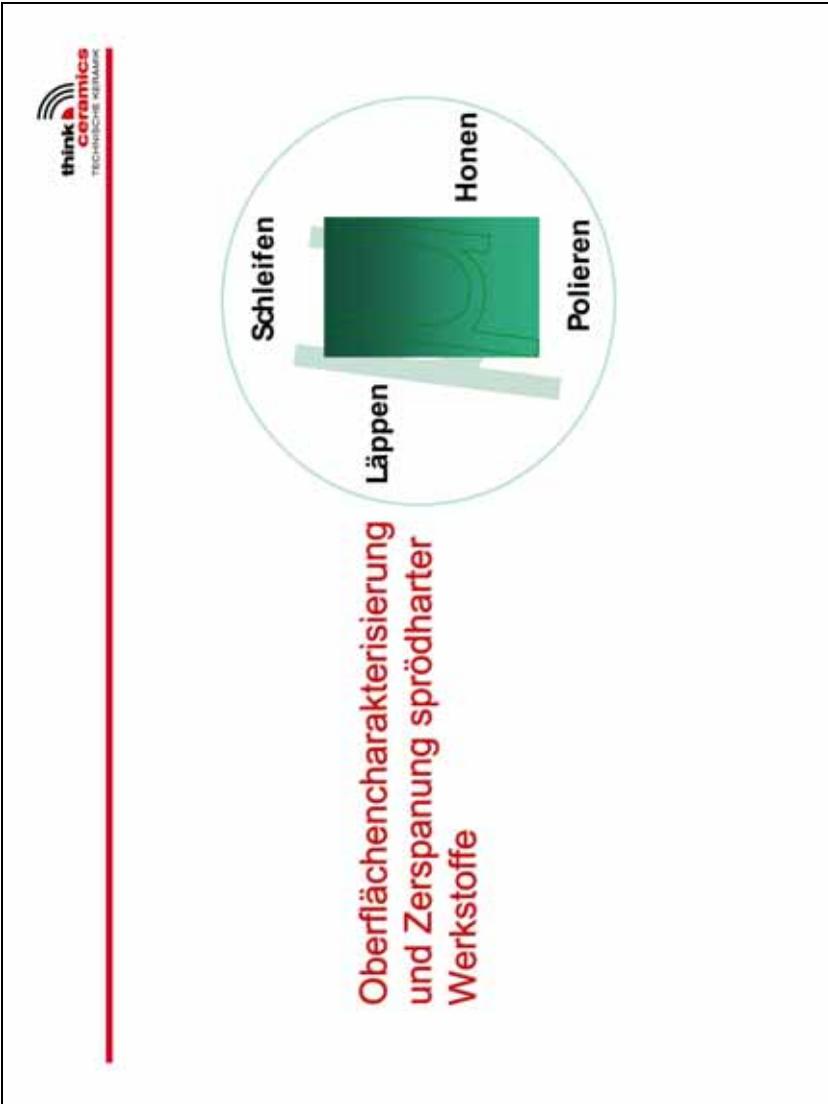
Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 22) finden sich auf den folgenden Seiten.

Einführung

Hartbearbeitung und erreichbare
Oberflächenqualitäten

Carsten Rußner
CeramTec AG
Lauf a. d. Pegnitz





2.6. Hartbearbeitung - Folie 2

 **think ceramics**
TECHNISCHE KERAMIK

Wegweiser

- Oberflächencharakterisierung
- Zerspanmodelle
- produktive Hartbearbeitungsverfahren
 - Schleifen
 - Läppen
 - Honen
 - Polieren



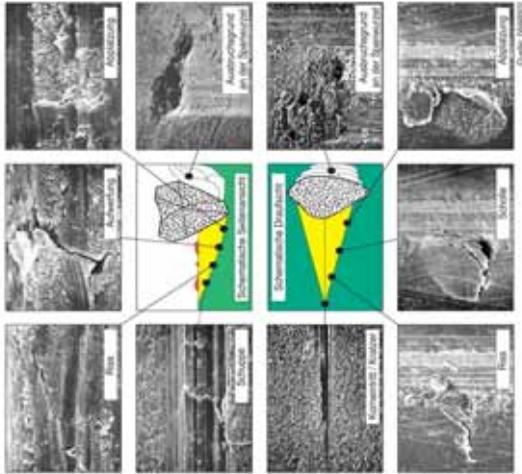
Ziele:

- entstehende Oberflächen
- Hartbearbeitungsverfahren sprödharter Werkstoffe
- tribologische Eigenschaften
- Innovationen



2.6. Hartbearbeitung - Folie 3

Werkstofftrennmechanismen



- spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch **unbestimmter Schneide**
- Trennmechanismus durch einzelne Abrasivkörner
- Oberflächenausprägung entlang einer Ritzspur

Modelle der Werkstofftrennmechanismen

Modell I: Prof. Sajjé

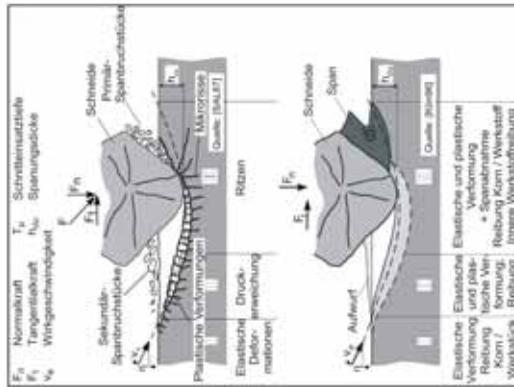
- Mikrorisse und Ausbrüche
- treibender Trennmechanismus bei zunehmender Eingriffstiefe
- I. + II. Elastische / plastische Verformung
- III. Ritzen

Modell II: Prof. König

- duktileres Werkstoffverhalten
- I. Elastische Verformung
- II. Plastisches Fließen
- III. Einzelspannungsdicke = Grenzspannungsdicke



Spannbildung

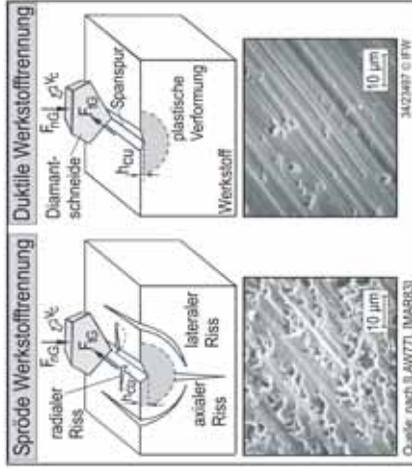


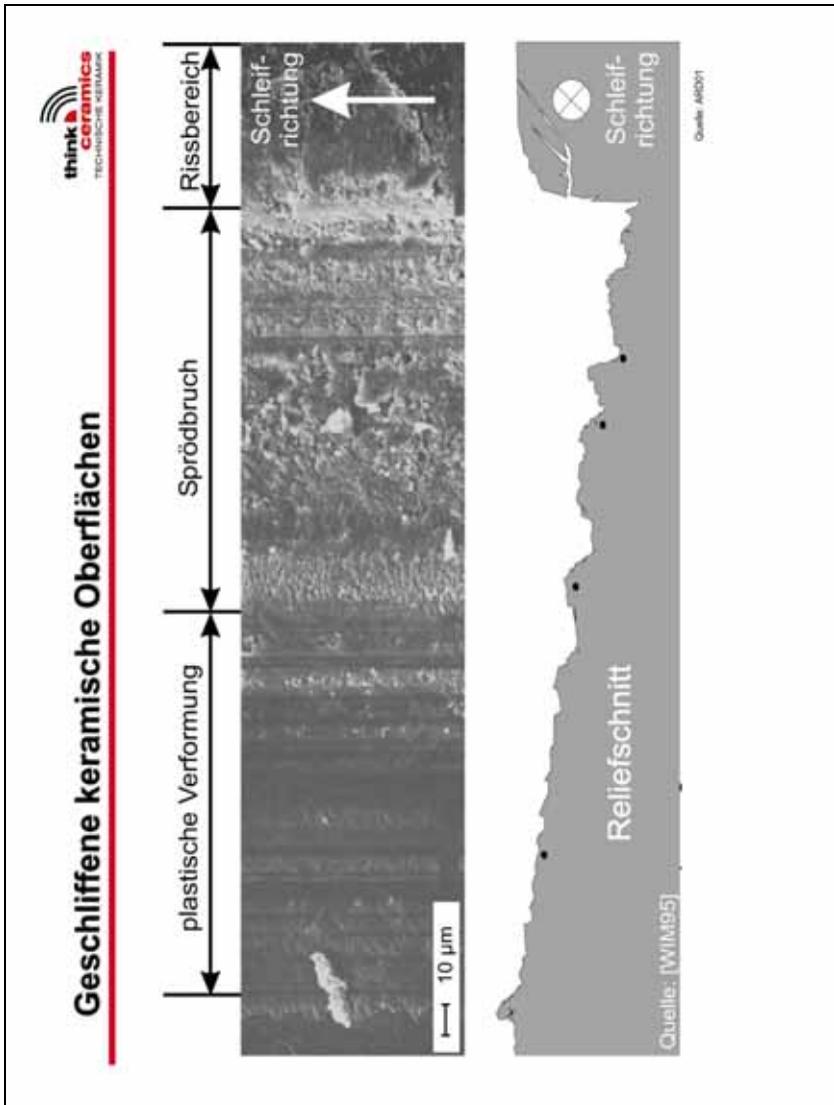
Auswirkung der Trennmechanismen



- I: spröde Werkstofftrennung
- II: duktile Werkstofftrennung
- Entstehung abhängig von:

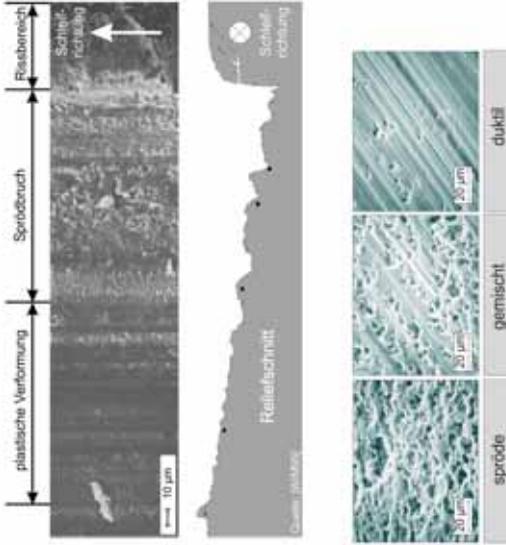
↑ verwendeten Prozess- und Systemgrößen





2.6. Hartbearbeitung - Folie 7

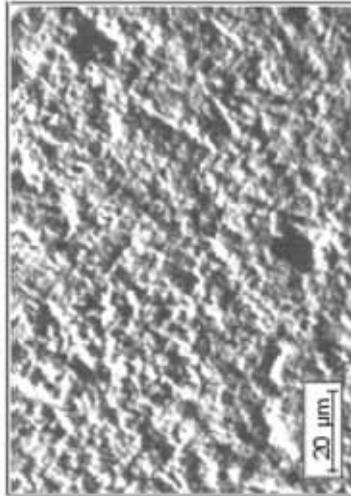
Geschliffene keramische Oberflächen



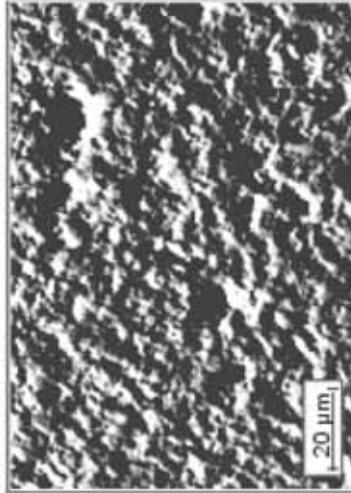
Quelle: ARD/1

- **bahngelundene Ritzbewegungen**
gelundenes Korn
- **Sprödes Zerspanen:**
Ausbrüche, Aufwerfungen,
Schollen und Abplatzungen
- **Duktiler Zerspanen:**
Plastische Verformungen Riefen,
Verrundungen, Schichtungen,
Schuppen
- **Realprozess:**
Mischzerspanung
kritische Spannungsdicke

Geläppte keramische Oberflächen



Bearbeitung mit Läppkorn F 180



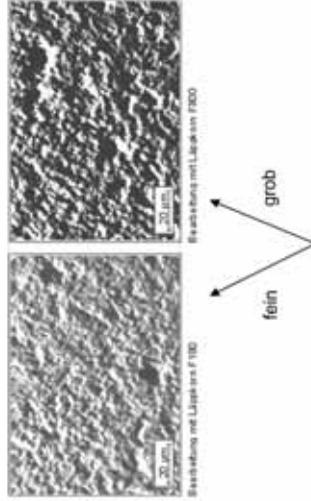
Bearbeitung mit Läppkorn F 800

Quelle: ANDOT

Geläppte keramische Oberflächen



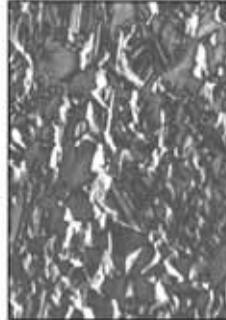
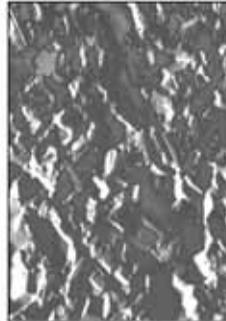
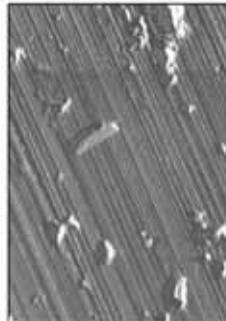
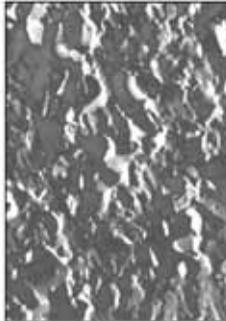
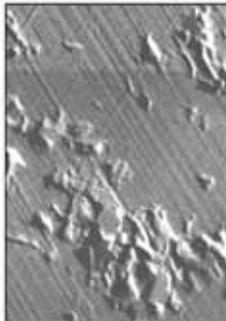
- Ritzbewegungen **loses Korn**
- **ungeordnete Schneidbahnen**
- Niedriges
Zeitspannungsvolumen
- **Werkstofftrennung**
 - Abrollbewegung
 - Ritzen temporär verankerter
Schneidkörner
- **isotrope
Oberflächentopographie**
 - regellos angeordnete Riefen
 - homogen verteilter Mulden



Einfluss des Lappkorns auf die
Oberflächenqualität

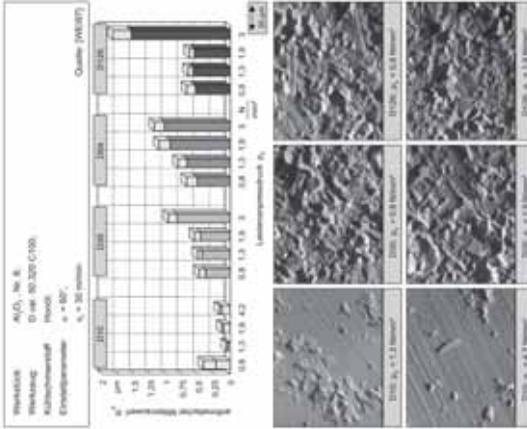
Quelle: ARDOT

Gehonte keramische Oberflächen



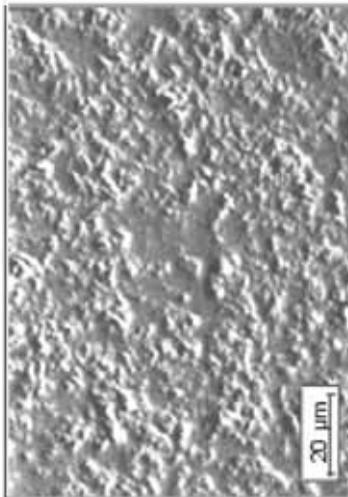
Quelle: AF201

Gehonete keramische Oberflächen

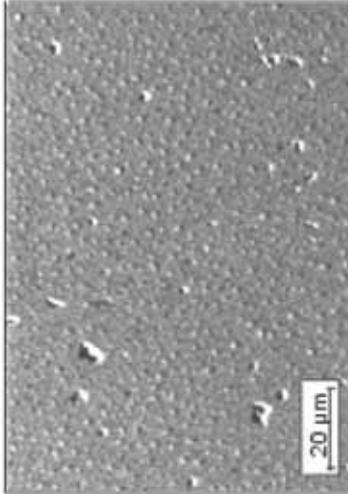


- **kraftgebundene Ritzbewegungen** gebundenes Korn
- geringe Schnittgeschwindigkeit **thermischer Einfluss gering**
- **duktile Zerspanung** bei kleinen Diamantkorngrößen
- **spröde Zerspanung** bei großen Korngrößen

Polierte keramische Oberflächen



Bearbeitung mit 9 µm Polierkorn

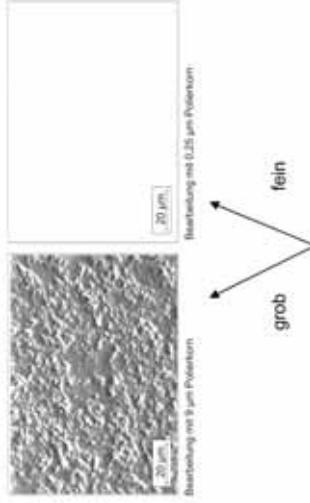


Bearbeitung mit 0,25 µm Polierkorn

Polierte keramische Oberflächen

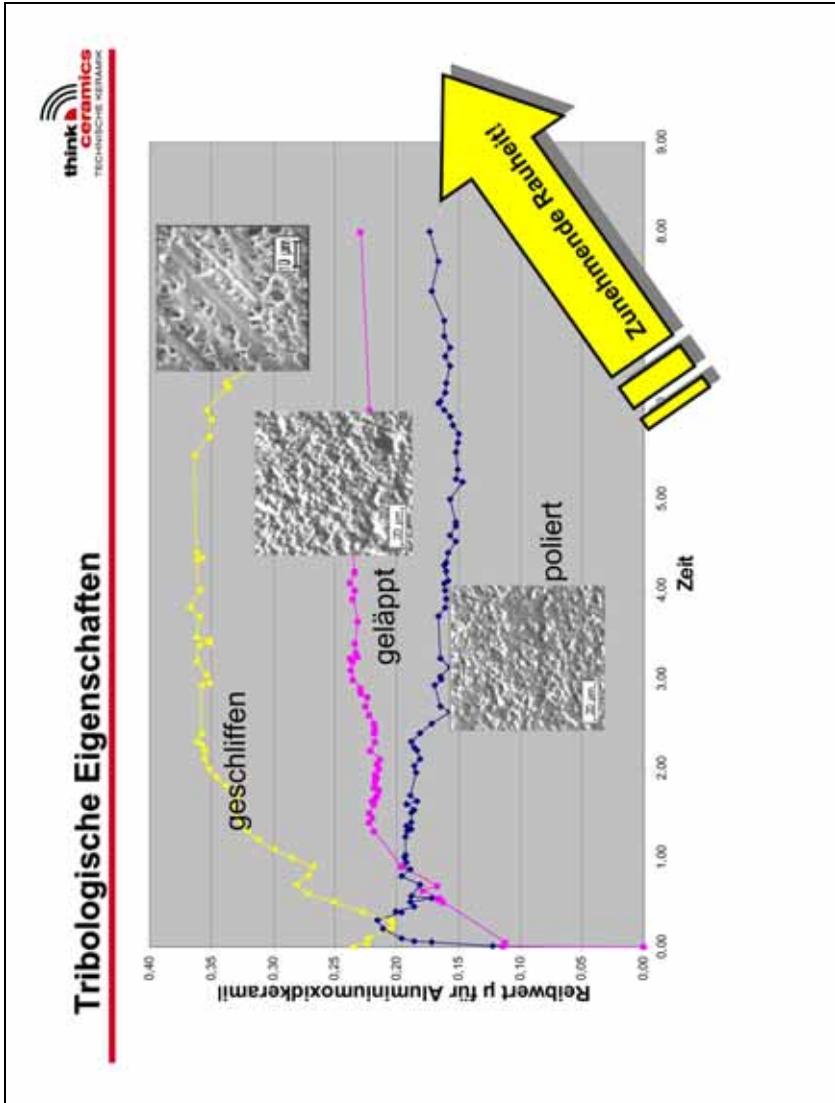


- **Ritzbewegungen gerichtet**
- optisch spiegelnde Oberflächen mit **Ebenheiten < 1 µm**.
- geringe Zeitspannungsvolumina
- zeit- und kostenaufwendig
- **Werkstoffabtrag**
 - Umformen der Oberflächenprofilspitzen
 - spanabhebender Prozess
- Oberflächencharakteristik
 - glatte Bereiche
 - Mulden



Einfluß des Diamantkorns auf die Oberflächenqualität

Quelle: ARD01



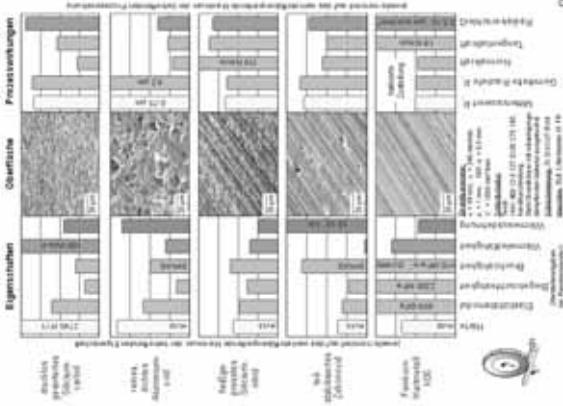
2.6. Hartbearbeitung - Folie 15

Oberflächen und Prozesswirkungen

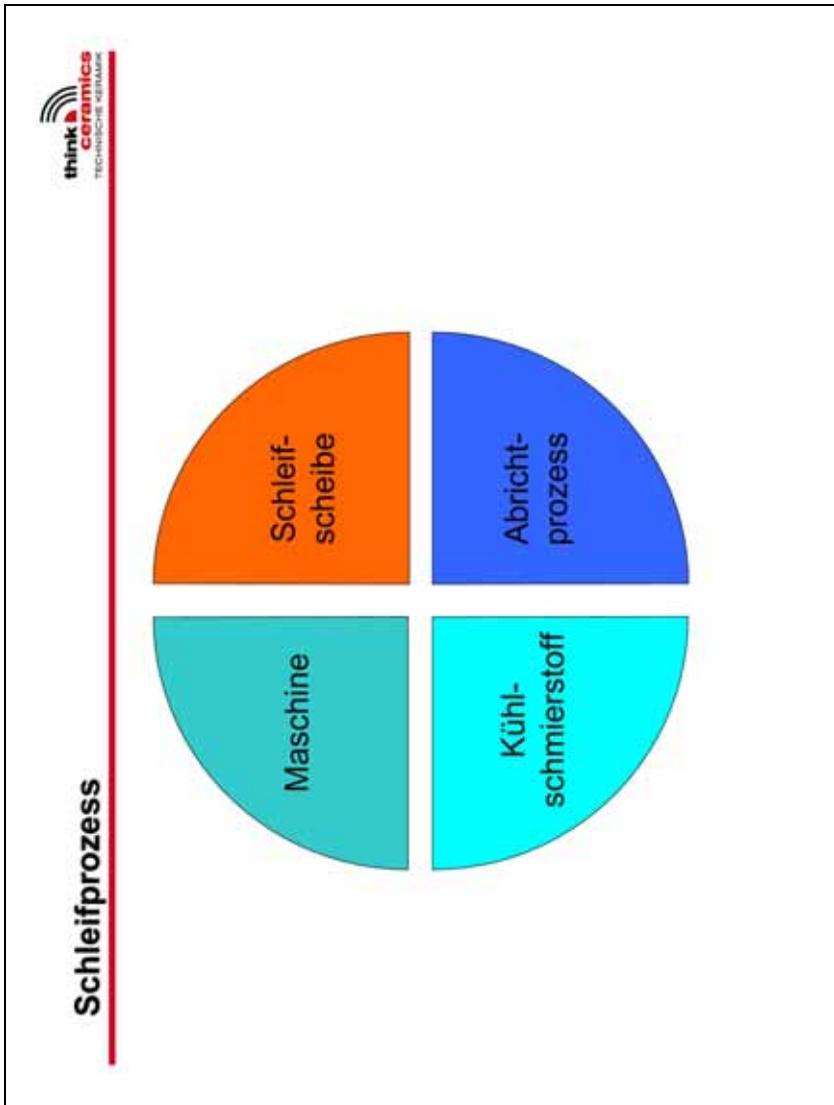
- Trennmechanismus
- bearbeitungsabhängige Oberflächenausbildung

ist

werkstoffspezifisch !



Quelle: ARD01

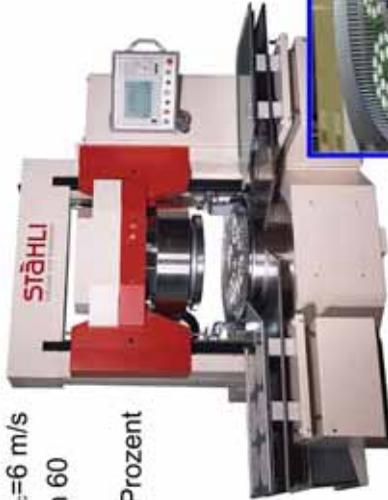
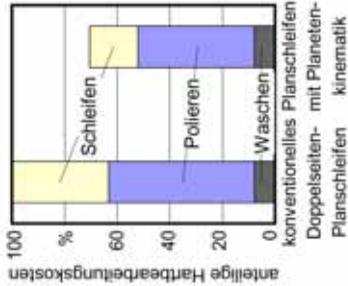


2.6. Hartbearbeitung - Folie 17

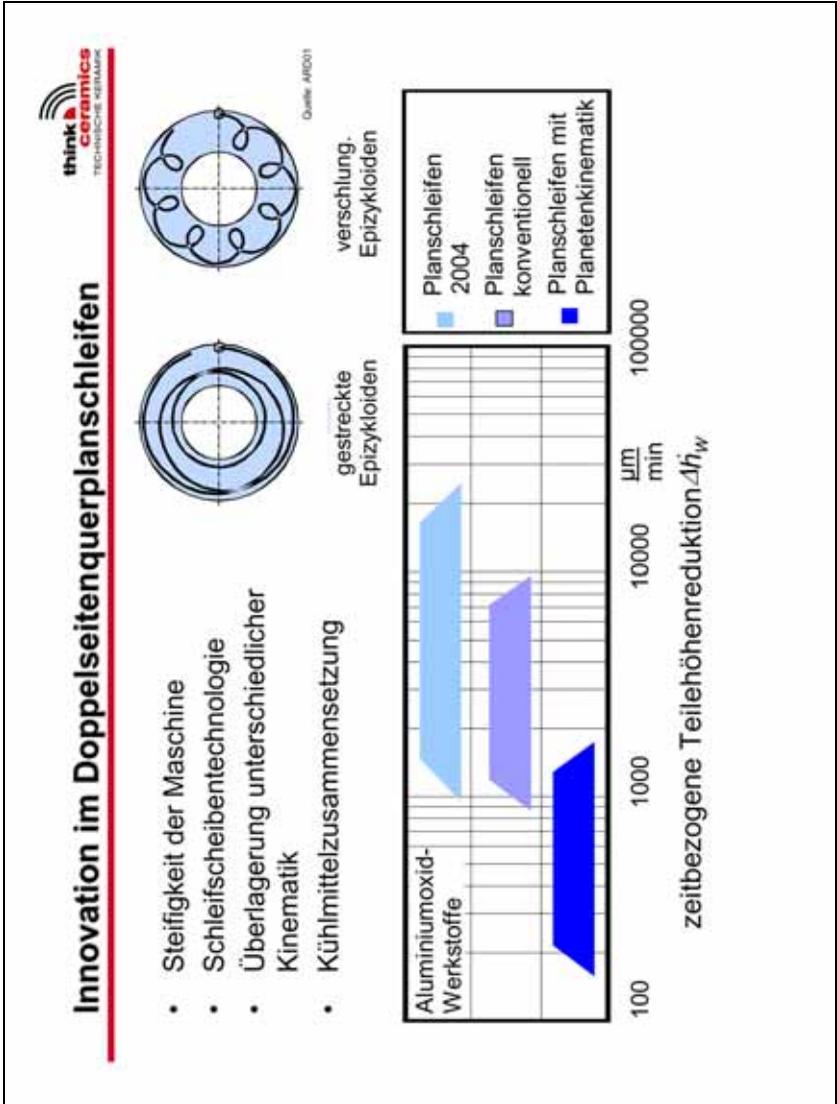
Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik



- Schnittgeschwindigkeit $v_c=6$ m/s
- Hauptzeitreduzierung um 60 Prozent
- Werkzeugkosten um 25 Prozent geringer



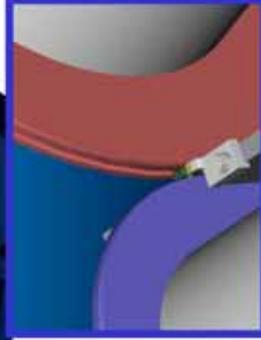
Doppelseitenquerschleifen mit Planetenkinematik von Dichtscheiben aus Aluminiumoxid



Schrägeinstechschleifen mit Spitzentechnologie



- hochprofitabel
- spannungsfreie Aufnahme Werkstücke
- mehrere Werkstücke je Zyklus möglich
- Einsatz keramisch gebundener Diamantschleifscheiben
- hohe Formtreue der Schleifscheibe mit spezieller Abrichttechnologie
- einfache Automation
- Großserientechnik



Ergebnisse Schleifen von Siliziumnitrid

	Soll	Ist
• Schleifzeit:	20 s	16,2 s
• Abrichtintervall:	nach 1000 Stück noch kein Verschleiß	
• Rundheit :	< 4,0 μm	2,04 $\mu\text{m}^{(1)}$
• Planlauf:	< 20 μm	3,07 $\mu\text{m}^{(1)}$
• Oberfläche Rz $\varnothing 6$:	< 1,6 μm	2,02 $\mu\text{m}^{(1)}$
• Oberfläche Rz plan:	< 4,0 μm	1,89 $\mu\text{m}^{(1)}$
• Durchmesser:	$\pm 6 \mu\text{m}$	$\pm 2 \mu\text{m}$

⁽¹⁾ Mittelwerte aus Stichprobe

Rundschleifen von Siliciumcarbid



- Schleifscheibe Saint-Gobain
Abrasives D126 C100 1A1
- Umfangsgeschwindigkeit $v_c = 50$ m/s
- Zeitspannungsvolumen $Q_w > 8$
 $\text{mm}^3/(\text{mm} \cdot \text{s})$
- G-Verhältnis > 500

Ergebnis:

- Durchmessertoleranzen $< 10 \mu\text{m}$
- Oberflächenwert $R_a < 0,6 \mu\text{m}$
- Prozessfähigkeit $c_{pk} > 1,67$