

Prof. Dr.-Ing. Taghi Tawakoli  
M.Sc.- Ing. Abdolreza Rasifard  
M.Sc.- Ing. Bahman Azarhoushang

Hochschule Furtwangen University, IAF  
Kompetenzzentrum für Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung (KSF)

## **Abrichten von CBN-Schleifscheiben mit Ultraschallunterstützung**

### **Abstract:**

### **Dressing of CBN Wheels using with ultrasonic assistance**

Due to the many advantageous as well as high efficiency of Cubic boron nitride (CBN) comparing to conventional abrasives, the traditional grinding wheels have been substituted by CBN Wheels in most modern manufacturing environments. However it should also be mentioned that the full utilization of vitrified CBN grinding tools, especially in automated machinery, is only possible with appropriate preparation of CBN grinding tools. Although ultrasonic assistance has been successfully used for a long time in different machining processes, the use of its positive effects in dressing of superabrasives grinding tools is rather new so that could draw the researchers' attention to this method of conditioning in the last decade. In ultrasonic assisted dressing high-frequency and low-amplitude vibrations are superimposed on the movement of dressing tool or grinding tool. The experimental investigation carried out at the KSF Institute showed that applying ultrasonic vibration to a stationary diamond dressing tool in discontinuous mode reduces the grinding forces and increases the dressing ratio. The use of ultrasonic assistance in point crushing also reduces the grinding forces, causing a reduction of the heat generated at the grinding zone. These results demonstrate the great potential of the use of the ultrasonic assistance in dressing process.

## 1 Einleitung

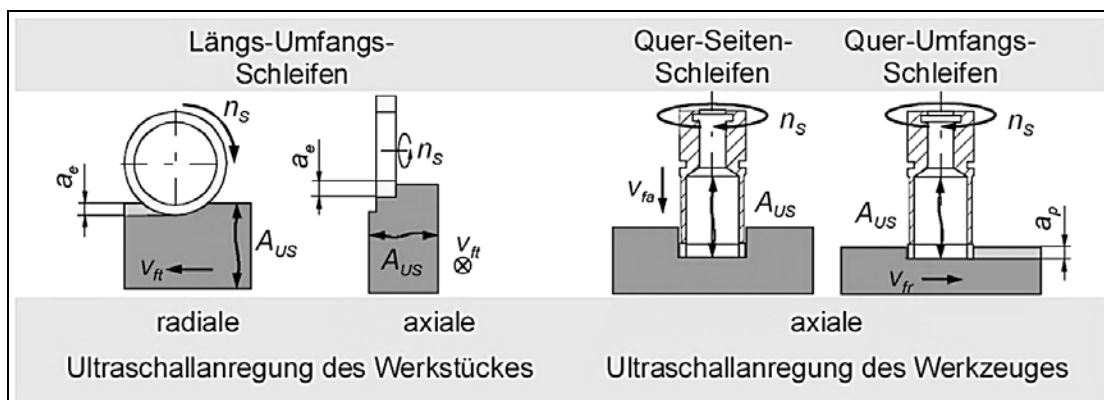
Sowohl beim Spanen mit geometrisch bestimmten als auch beim Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden können durch die Überlagerung der Kinematik des konventionellen Bearbeitungsprozesses mit einer zusätzlichen Schwingung im Mikrometerbereich bei Frequenzen im Ultraschallbereich erhebliche Prozessverbesserungen erzielt werden.

Die folgenden Punkte zählen zu den wichtigsten Vorteilen des Einsatzes der Ultraschallunterstützung bei der Materialbearbeitung [Daus04, Kapp 99, Kloc03, Sham99, Schm02, Thoe98]:

- Reduzierung der wirkenden Bearbeitungskräfte
- Verbesserung der Kühlschmierstoffzuführung in die Prozesszone
- Reduzierung der Reibung zwischen Werkzeug und Span
- Reduzierung des Werkzeugverschleißes
- Reduzierung der Materialschädigung im mikroskopischen und makroskopischen Bereich und damit Erzeugung wesentlich feinerer Strukturelemente
- Erhöhung der Formgenauigkeit der Werkstückprofile

Die Ultraschallunterstützung wird auf verschiedene Weise in der Schleiftechnik eingesetzt. Durch Einbringung von Ultraschallschwingungen in die Schleifwirkzone können wesentliche Optimierungen insbesondere beim Schleifen von Hochleistungswerkstoffen erzielt werden. Das ist vor allem auf die Änderung des Abtrennvorganges zurückzuführen [Kloc03, Uhl01]. Es wurden bereits vielfach ultraschallunterstützte Schleifverfahren entwickelt und erprobt. Beispiele dafür zeigt das **Bild 1**.

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des Schleifprozesses durch die Ultraschallschwingungen bietet der Einsatz eines schwingenden, in geringerem Abstand gegenüber der Schleifscheibe installierten Gegenstandes, der durch die Lenkung und Beschleunigung des Kühlschmierstoffs in Richtung der Schleifscheibe die Reinigungswirkung und die Abkühlungsraten an der Schleifscheibe erhöht [Maly90, Peac61]. Bei einem anderen Forschungsprojekt haben Wu u.a. [Wu04] beim spitzenlosen Außenrundscheifen die Regelscheibe durch einen elliptisch ultraschallangeregten Gegenstand ersetzt. Hierdurch konnten sie die Rundheitsgenauigkeit der Werkstücke erhöhen.



**Bild 1:** Beispiele für ultraschallunterstützte Schleifverfahren [Uhl01]

Obwohl die Ultraschallunterstützung schon längst in den unterschiedlichen Bearbeitungsprozessen verwendet wird, ist deren Einsatz beim Abrichten von hochharten Schleifwerkzeugen ein neues Verfahren, das in der letzten Dekade die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen hat.

Über die ersten Untersuchungen zum ultraschallunterstützten Abrichten von CBN-Schleifscheiben wurde von Ikuse u.a. im Jahr 1996 berichtet, wobei stehende Diamantwerkzeuge mit einer Frequenz von etwa 33 kHz und einer im lastfreien Zustand maximalen US-Amplitude von 2,5  $\mu\text{m}$  beaufschlagt wurden. Durch den Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten konnte eine Senkung der Schleifkräfte und eine Verbesserung der Werkstückrauheit, sowie eine des Abricht-Verschleißverhältnisses nachgewiesen werden [Ikus96].

Durch den Einsatz von longitudinalen Ultraschallschwingungen beim Profilieren von einer keramisch gebunden bzw. kunstharzgebunden Diamantschleifscheibe mit einem Diamant-Abrichttopf konnte Liebe höhere Abrichtbeträge gegenüber dem konventionellen Abrichten erreichen, wobei der Winkel zwischen den Rotationsachsen der Schleifscheibe und des Abrichttopfes  $75^\circ$  betrug. Beim ultraschallunterstützten Abrichten von der keramischen Schleifscheibe wurden jedoch durch die Schwingungen Risse in der Bindung induziert, die bei nachfolgenden Schleifversuchen zu einer Reduzierung des Schleifverhältnisses führten. In anschließenden Schleifversuchen mit Kunstharzschleifscheiben zeigte sich bei annähernd gleichem Kraftniveau über den Prozessverlauf ein größerer Gradient bei der ultraschallunterstützt abgerichteten Schleifscheibe, was auf ein vergleichsweise schnelleres Abstumpfen der scharfen Schneidkanten zurückzuführen ist [Lieb96].

Ebenfalls hat Sroka Untersuchungen bei der Profilierung von kunstharzgebunden Diamantschleifscheibe mit einem rotierenden Diamant-Abrichttopf, der mit Schwingungen im Ultraschallbereich beaufschlagt wurde, durchgeführt. Durch die Ultraschallunterstützung konnte er das Abrichtverhältnis auf 10fache steigern und die Profilkosten um 59% reduzieren [Srok05].

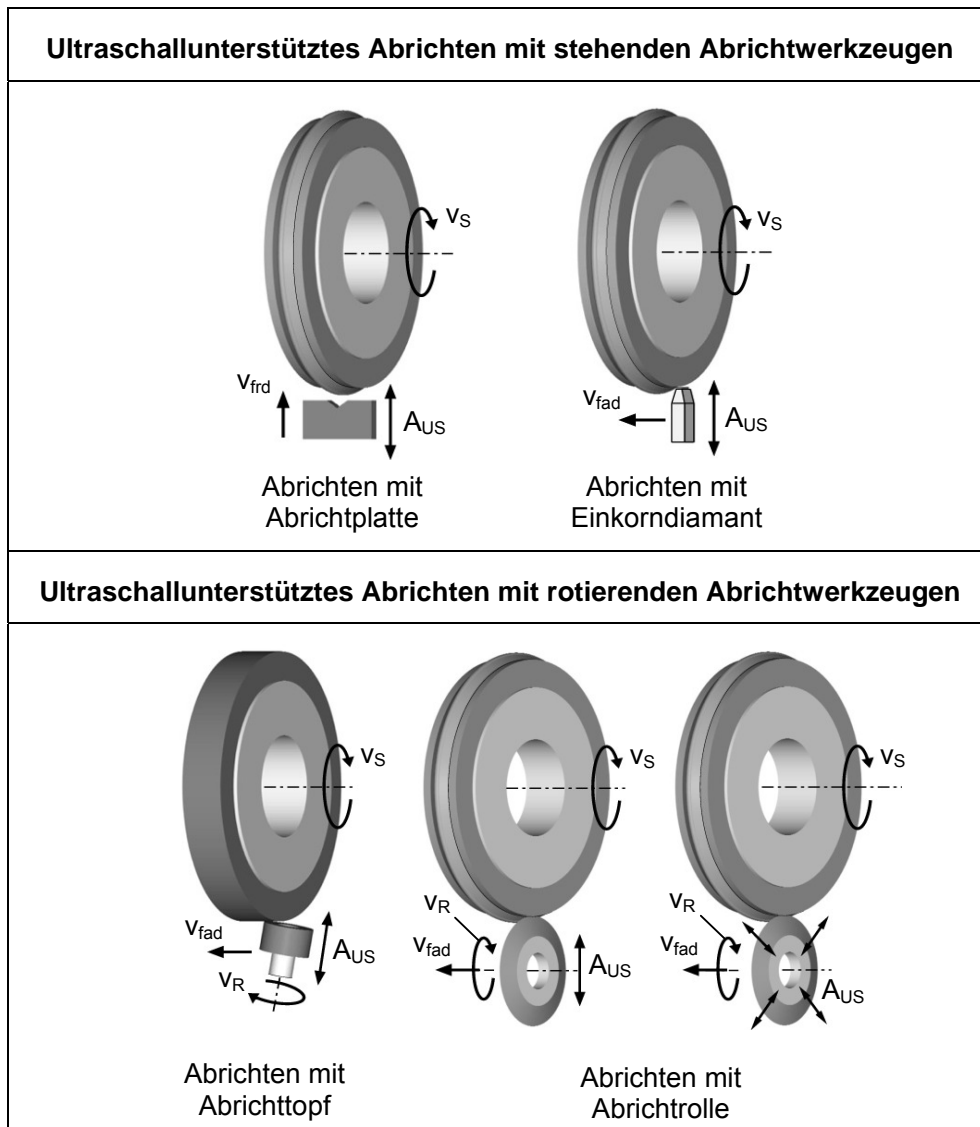
Nomura et al. untersuchten den Effekt der Ultraschallschwingung auf das Abrichten und Touchieren von kleinen CBN-Schleifscheiben zum Innenrundscheifen. Bei den Untersuchungen wurde der Schleifstift mit einer longitudinalen Ultraschallschwingung beaufschlagt, womit eine Reduzierung der beim Touchieren auftretenden Kräfte um über 22% und eine Verbesserung der Schleifscheiben-Rundheit um etwa 30% nachgewiesen werden konnte [Nomu05].

Aufgrund der großen Bedeutung des Abrichtprozesses beim Einsatz von CBN-Schleifscheiben und dessen derzeit vorhandenen Schwierigkeiten und Probleme, wie z. B. der schnelle Verschleiß von Abrichtwerkzeugen, befasst sich „Kompetenzzentrum für Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung“ der Hochschule Furtwangen intensiv mit Fragestellungen auf dem Gebiet der Abrichttechnologie [Tawa05, Tawa06, Tawa08]. Hier werden einige der Resultate der durchgeführten Untersuchungen zur Ermittlung des Einflusses der Ultraschallunterstützung beim Abrichten mit einem stehenden bzw. einer freilaufenden Diamantcrushierrolle dargestellt.

## 2 Ultraschallunterstütztes Abrichten

Beim ultraschallunterstützten Abrichten wird der konventionellen Wirkbewegung des Prozesses eine Ultraschallbewegung überlagert, wobei die Ultraschallunterstützung durch eine Schwinganregung des Abrichtwerkzeugs in die Kontaktzone eingebracht wird. Das ultraschallunterstützte Abrichten lässt sich sowohl mit stehenden als auch mit rotierenden Abrichtwerkzeugen realisieren (**Bild 2**).

Beim ultraschallunterstützten Abrichten können in Abhängigkeit von der Ultraschallamplitude  $A_{US}$  und der Abrichtzustellung  $a_{ed}$  zwei unterschiedliche Kontaktarten auftreten: der kontinuierliche Eingriffsmodus und der unterbrochene Eingriffsmodus (**Tabelle 1**).



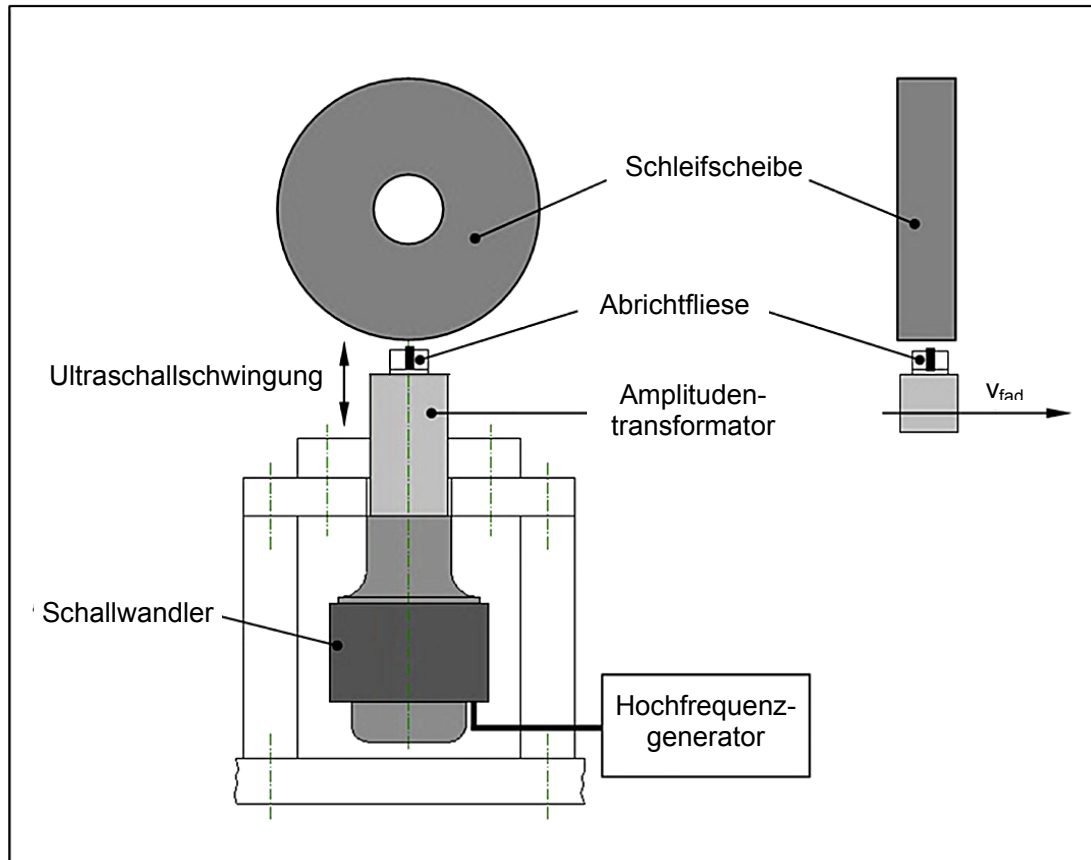
**Bild 2:** Verfahren des ultraschallunterstützten Abrichtens

Abrichtmodus	Bedingung	Darstellung	Beschreibung
unterbrochener Modus	$a_{ed} < A_{US}$		Der Abrichter stößt diskontinuierlich an die Schleifscheibe; Es gibt Zonen auf der Oberfläche der Schleifscheibe, die vom Abrichter nicht berührt werden.
kontinuierlicher Modus	$a_{ed} \geq A_{US}$		Der Abrichter stößt diskontinuierlich an die Schleifscheibe; Die Ortskurve der Schleifscheibe ist sinusförmig

**Tabelle 1:** Zwei unterschiedliche Kontaktarten beim ultraschallunterstützten Abrichten mit einem stehenden Diamantwerkzeug [Jiao06]

Beim ultraschallunterstützten Abrichten mit rotierenden Abrichtwerkzeugen bezeichnet der unterbrochene Modus diejenigen Kontaktart, in dem es aufgrund der Ultraschallschwingung zu einem Freischneiden und erneutem Einschneiden des Abrichtkornes während eines Korneingriffes kommt. Beim unterbrochenen Eingriffsmodus mit stehenden Abrichtwerkzeugen sind die Abrichtkräfte durchschnittlich kleiner und gleichmäßiger. Das führt zu einer gleichmäßigeren Höhe der während des Abrichtens erzeugten Mikroschneiden [Jiao06].

Zur Erzeugung der Ultraschallschwingungen wird vorwiegend ein piezoelektrischer Schallwandler eingesetzt, der anhand vom piezoelektrischen Effekt die elektrische Energie in eine elastomechanische Schwingung umwandelt. Die Bereitstellung der hochfrequenten elektrischen Wechselspannung erfolgt durch die Umwandlung von niederfrequenter Netzspannung in einem Spannungsgenerator. Die longitudinal stehenden Ultraschallwellen wurden mit einem Amplitudentransformator vom Schallwandler auf das Abrichtwerkzeug übertragen. **Bild 3** zeigt eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung beim Abrichten mit stehenden Abrichtwerkzeugen.



**Bild 3:** Schematische Darstellung der Versuchsanordnung beim Abrichten mit einem stehenden Abrichtwerkzeug

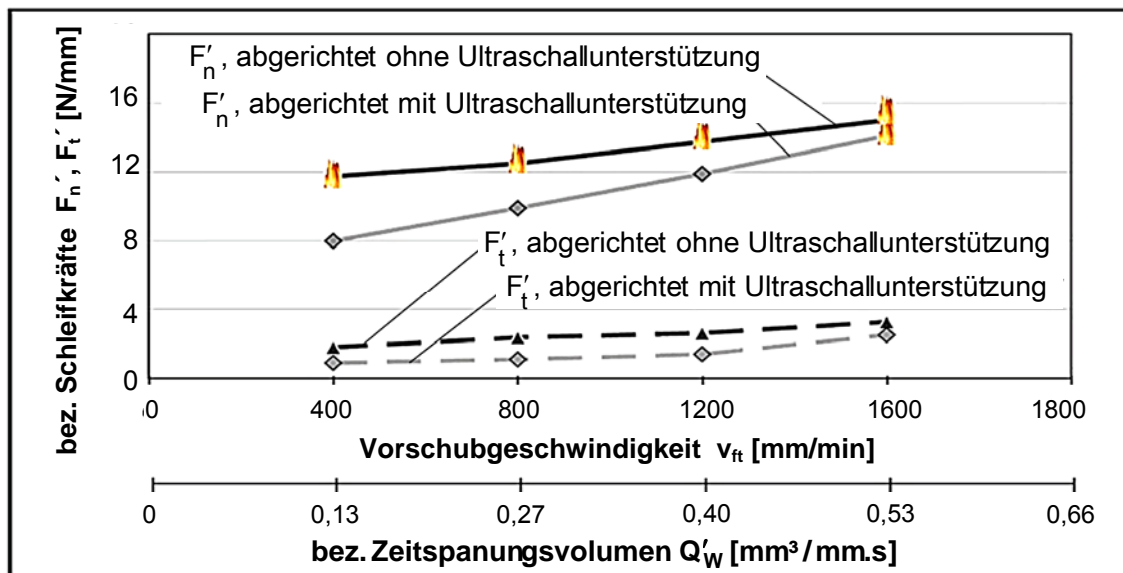
### 3 Versuchsbedingungen und -resultate

#### **3.1 Ultraschallunterstütztes Abrichten mit dem stehenden Abrichtwerkzeug**

Die Ermittlung des Einflusses der Ultraschallunterstützung beim Abrichten mit stehenden Diamantwerkzeuge auf die Schleifergebnisse erfolgte unter Verwendung einer keramisch gebundenen CBN-Schleifscheibe mit der Korngröße B126. Die Versuchsbedingungen sind in **Tabelle 2** angegeben. Die Abrichtversuche wurden im unterbrochenen Modus durchgeführt.

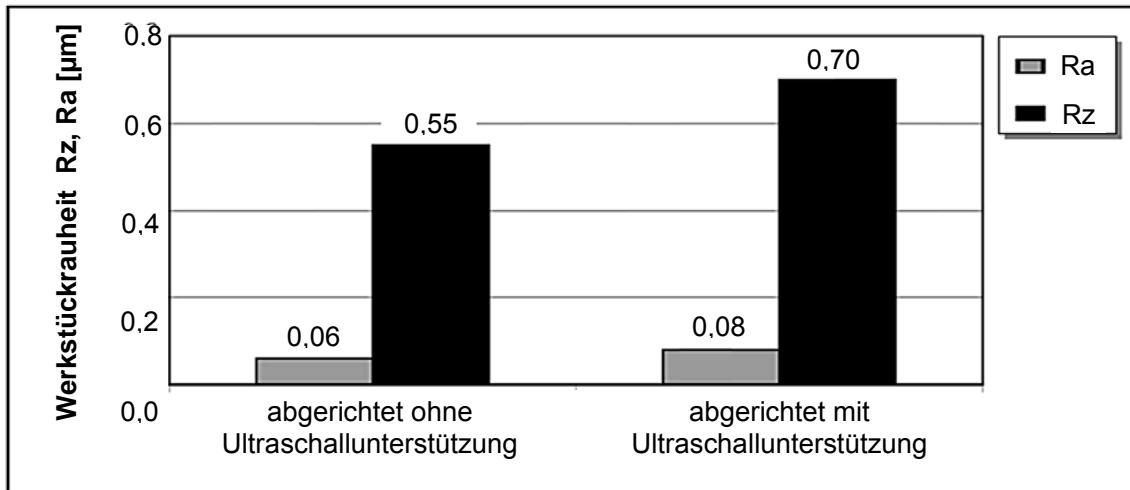
In **Bild 4** sind die bezogenen Schleifkräfte  $F'_n$  und  $F'_t$  in Abhängigkeit von der tangentialen Vorschubgeschwindigkeit  $v_{ft}$  und des bezogenen Zeitspannungsvolumens  $Q'_w$  dargestellt, wobei das Auftreten von Schleifbrand mit einem Feuer-Symbol markiert ist. Es zeigt sich, dass der Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten von keramisch gebundenen CBN-Schleifscheiben zur Reduzierung der Schleifkräfte und der Schleifbrandgefahr führt. Der Hauptgrund dafür ist eine optimierte Erzeugung von Mikroschneiden und Spanräume im CBN-Belag durch die Ultraschallunterstützung, welche die Reibung reduziert und den Spanbildungsprozess begünstigt [Lieb96].

Werkzeugmaschine	CNC-Flachschleifmaschine vom Typ „MICRO-CUT AC 8 CNC“ der Firma ELB-Schliff
Schleifscheibe	keramisch gebundene CB-Schleifscheibe, B126 C125; Ø300 mm x Ø127 mm x 20 mm
Schleifbedingungen	Werkstück: 100Cr6, 60 HRC; $v_{ft} = 400\text{--}1200\text{ mm/min}$ , $v_c = 50\text{ m/s}$ , $a_e = 0,02\text{ mm}$ ; Kühlschmierstoff: Schleiföl, 100 l/min
Abrichtwerkzeug	CVD-Abrichtfliese
Bedingungen des konventionelln Abrichten	$v_{cd} = 50\text{ m/s}$ , $a_{ed} = 3\text{ }\mu\text{m}$ , $v_{fad} = 200\text{ mm/min}$ ; Kühlschmierstoff: Schleiföl, 100 l/min
Bedingungen des ultraschallunterstützten Abrichten	Ultraschallamplitude: $A_{US} = 3\text{ }\mu\text{m}$ ; Ultraschallfrequenz: $f_{US} = 18,750\text{ kHz}$ ; $v_{cd} = 50\text{ m/s}$ , $a_{ed} = 0\text{ }\mu\text{m}$ , $v_{fad} = 200\text{ mm/min}$ ; Kühlschmierstoff: Schleiföl, 100 l/min

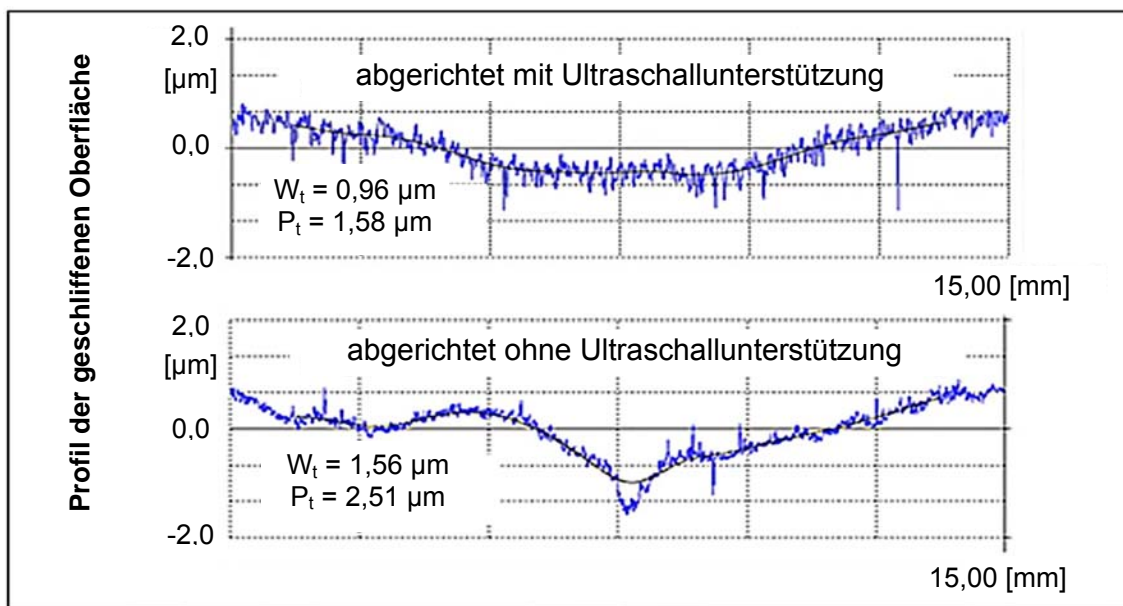
**Tabelle 2:** Versuchsbedingungen – Abrichtfliese

**Bild 4:** Reduzierung der Schleifkräfte durch den Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten mit CVD-Abrichtfliese

**Bild 5** zeigt, dass der Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten mit stehenden Abrichtwerkzeugen zu einem rauerem CBN-Belag.

In **Bild 6** sind die Profile zweier verschiedener Oberflächen, die mit unter unterschiedlichen Bedingungen abgerichteten Schleifscheiben geschliffen wurden, einander gegenübergestellt. Dabei wird eine Verbesserung der Profilgenauigkeit durch die Ultraschallunterstützung beim Abrichten deutlich. Der Grund dafür kann an der Reduzierung der Abrichtkräfte liegen.



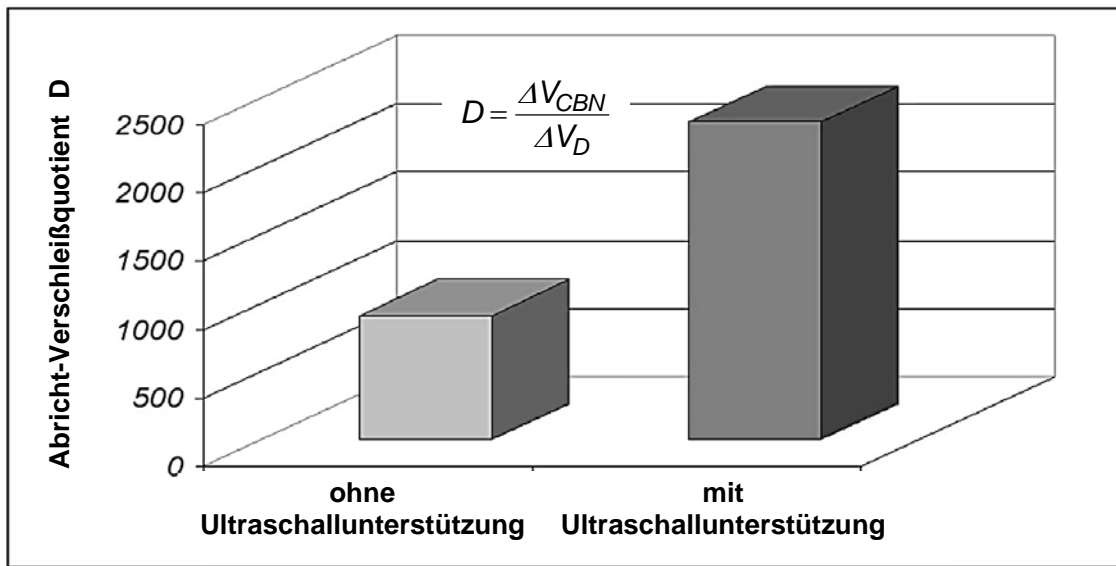
**Bild 5:** Einfluss der Ultraschallunterstützung beim Abrichten auf die Rauheit des geschliffenen Werkstück beim Abrichten mit CVD-Abrichtfliese



**Bild 6:** Verbesserung der Profilgenauigkeit durch die Ultraschallunterstützung beim Abrichten mit CVD-Abrichtfliese

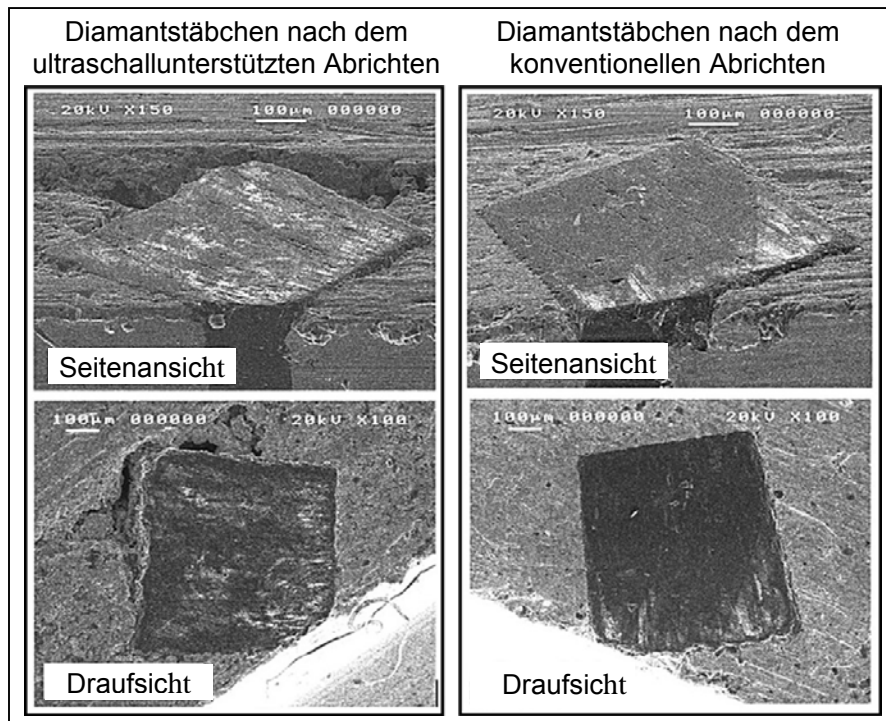
**Bild 7** stellt die Abricht-Verschleißquotienten  $D$  für konventionelles und ultraschallunterstütztes Abrichten dar, wobei das Verhältnis  $D$  das abgerichtete Kornvolumen der CBN-Schleifscheibe  $V_{\text{CBN}}$  auf das Verschleißvolumen des Abrichtwerkzeuges  $V_D$  bezieht. Der Abricht-Verschleißquotient steigt dabei von 906,5 beim konventionellen auf 2323,4 beim ultraschallunterstützten Abrichten an. Die Verschleißreduzierung ist im Wesentlichen auf die Reduzierung des Reibungskoeffizienten und damit der Wärmeentwicklung durch die Ultraschallschwingungen zurückzuführen. Dadurch wird die Gefahr einer Graphitisierung des Abrichtdiamanten, welche in direktem Zusammenhang mit der Verschleißausbildung am Abrichtdiamanten und den Abtragsmechanismen an der Schleifscheibe steht, reduziert.





**Bild 7:** Abriecht-Verschleißquotient D

In **Bild 8** sind die REM-Aufnahmen der Diamantstäbchen nach dem Abriechtprozess dargestellt. Im Vergleich zum konventionellen Abriechtprozess zeigt die Oberfläche des Diamanten beim ultraschallunterstützten Abriechen einen wesentlich gleichmäßigeren Verschleiß mit geringen abrasiven Spuren und kaum Kornabsplitterungen in der Randzone des Diamanten. Darüber hinaus weist das Trägergefüge hier nur geringe Beschädigungen auf, welche auf die Reduzierung der Wärmeentwicklung zurückzuführen ist.

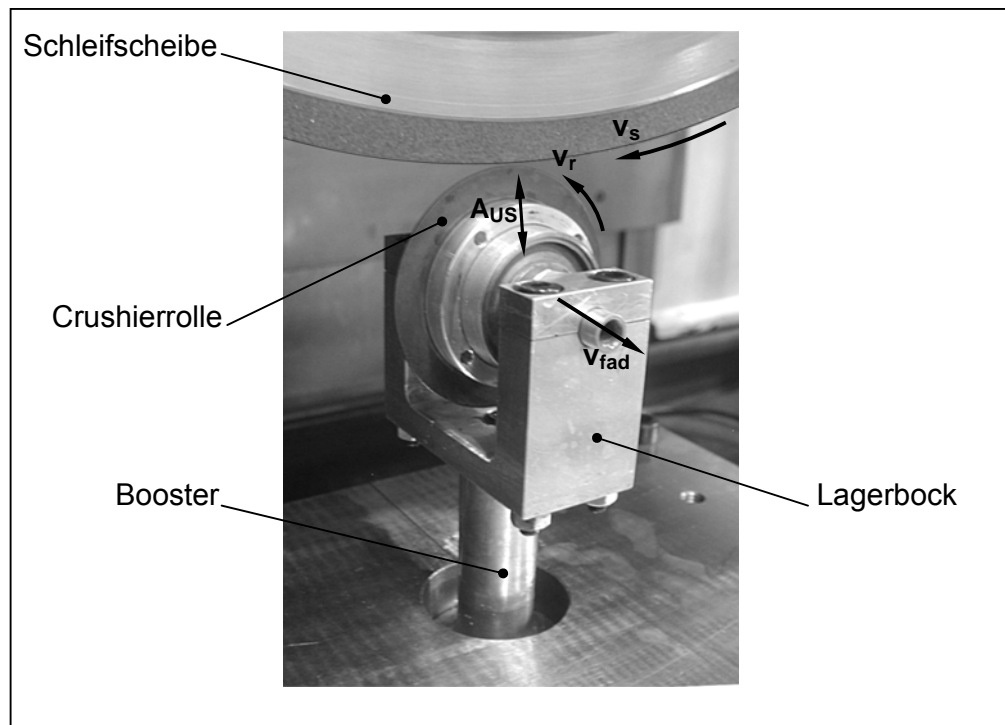


**Bild 8:** REM-Aufnahmen der Diamantstäbchen

### 3.2 Ultraschallunterstütztes Crushieren

Das Crushierverfahren ist ein Sonderverfahren des Konditionierens der Schleifwerkzeugen mit rotierenden Abrichtwerkzeugen, bei dem das Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit der Abrichtrolle  $v_r$  zu der Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe  $v_s$ , das als das Abrichtgeschwindigkeitsverhältnis  $q_d$  bezeichnet wird, gleich eins ist. In Abwesenheit der Relativgeschwindigkeit zwischen Schleifscheibe und Abrichtrolle beruht das Wirkprinzip des Crushierens auf dem Zerschneiden von Bindungsbrücken durch die Normalkraft. Daher ist das Crushieren nur bei Schleifscheiben mit spröden Bindungssystemen wie Keramik oder Sprödbronze einsetzbar. Beim Eintritt eines Punktes der Crushierrolle in die Schleifscheibentopographie wirkt eine Normalkraft zwischen den Wirkpartnern, die bei Überschreiten eines bestimmten Kraftniveaus zum Zerschneiden von Bindungsbrücken im Schleifbelag führt, so dass das Schleifscheibenprofil generiert wird. Dabei wird zwischen Vollcrushieren und Punktcrushieren unterschieden. Beim Vollcrushieren wird eine Profilrolle und beim Punktcrushieren wird eine Diamantformrolle als Abrichtwerkzeug eingesetzt [Hess03].

Zur Ermittlung des Einflusses der Ultraschallunterstützung beim Punktcrushieren wurde eine freilaufende Crushierrolle mit einem PKD-Belag mit Schwingungen im Ultraschallbereich in Richtung der Schleifscheibe beaufschlagt (**Bild 9**). Die Versuchsbedingungen sind in **Tabelle 3** angegeben. Die Abrichtversuche wurden hier ebenfalls im unterbrochenen Modus durchgeführt.

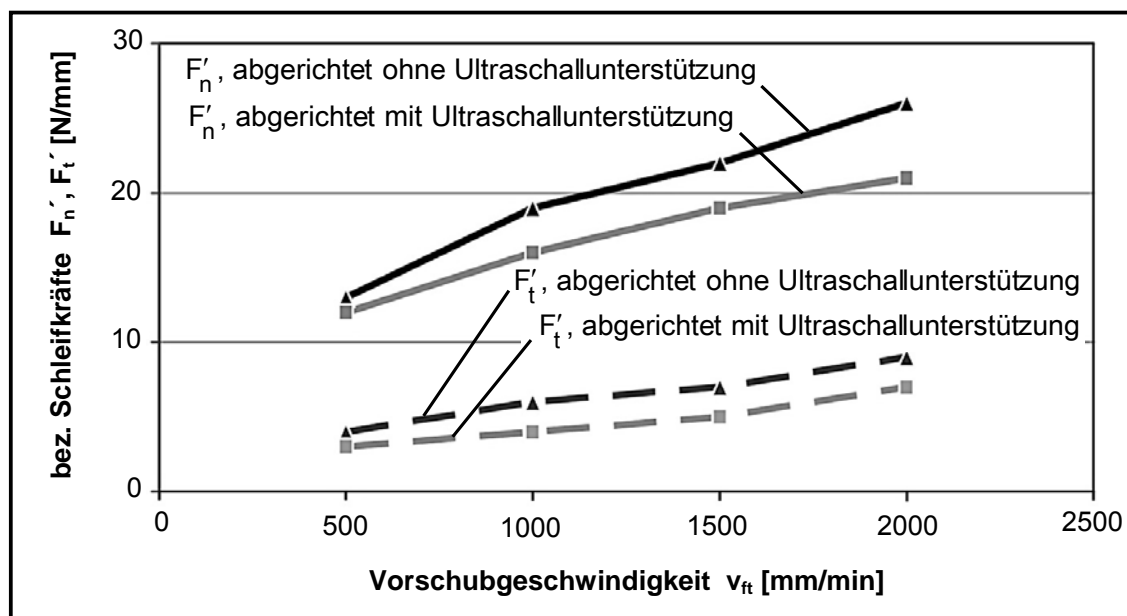


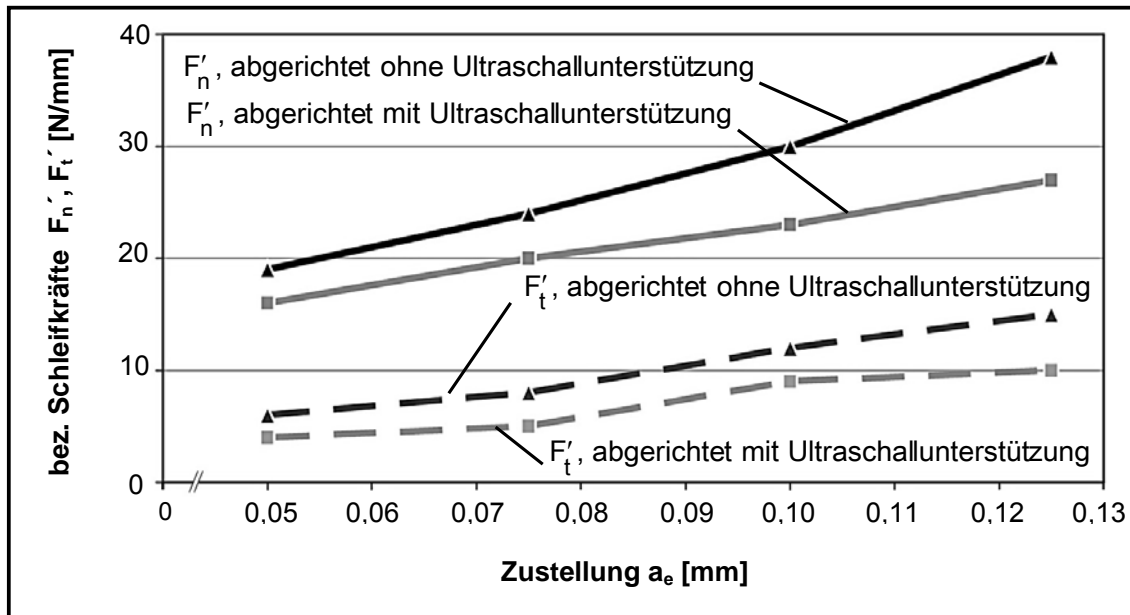
**Bild 9:** Versuchsaufbau beim ultraschallunterstützten Crushieren

Werkzeugmaschine	CNC-Flachschleifmaschine vom Typ „MICRO-CUT AC 8 CNC“ der Firma ELB-Schliff
Schleifscheibe	keramisch gebundene CB-Schleifscheibe, B126 C125; Ø400 mm x Ø203,2 mm x 15 mm
Schleifbedingungen	Werkstück: 100Cr6, 60 HRC; $v_{ft} = 500\text{--}2000\text{ mm/min}$ , $v_c = 25\text{ m/s}$ , $a_e = 0,05\text{--}1,25\text{ mm}$ ; Kühlschmierstoff: Lösung, 120 l/min
Abrichtwerkzeug	Crushierrolle mit PKD-Belag
Bedingungen des konventionelln Abrichten	$v_{cd} = 25\text{ m/s}$ , $a_{ed} = 3\text{ }\mu\text{m}$ , $v_{fad} = 120\text{ mm/min}$ ; Kühlschmierstoff: Lösung, 120 l/min
Bedingungen des ultraschallunterstützten Abrichten	Ultraschallamplitude: $A_{US} = 3\text{ }\mu\text{m}$ ; Ultraschallfrequenz: $f_{US} = 20\text{ kHz}$ ; $v_{cd} = 25\text{ m/s}$ , $a_{ed} = 0\text{ }\mu\text{m}$ , $v_{fad} = 120\text{ mm/min}$ ; Kühlschmierstoff: Lösung, 120 l/min

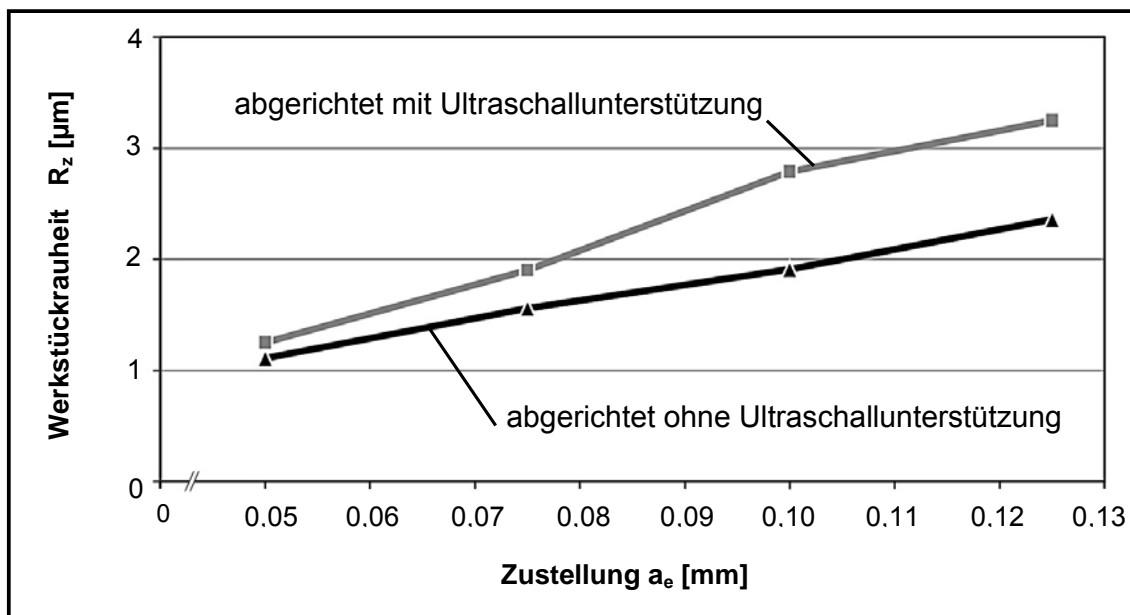
**Tabelle 3:** Versuchsbedingungen – Crushierrolle

In **Bilder 10 und 11** sind die bezogenen Schleifkräfte  $F'_n$  und  $F'_t$  in Abhängigkeit von der Schleifzustellung bzw. der Vorschubgeschwindigkeit  $v_{ft}$  dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass der Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Crushieren zur Reduzierung der Schleifkräfte führt, welche auf die Erzeugung einer rauereren Schleifscheibentopographie durch die Ultraschallunterstützung zurückzuführen ist. Dies ist dadurch zu erklären, dass durch die Ultraschallschwingung sowohl Rissbildung an den Bindingbrücken sowohl Kornsplitterung an den Schleifkorn intensiver wird.


**Bild 10:** Einfluss des Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Crushieren auf die Schleifkräfte bei einer Schleifzustellung von 0,05 mm



**Bild 11:** Einfluss des Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Crushieren auf die Schleifkräfte bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 1000 mm/min



**Bild 12:** Einfluss des Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Crushieren auf die Werkstückrauheit bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 1000 mm/min

**Bild 12** zeigt den Einfluss der Ultraschallunterstützung beim Crushieren auf die Werkstückrauheit. Das weist wiederum auf eine rauere Schleifscheibentopographie hin.

## **4 Zusammenfassung**

Der Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Abrichten von keramisch gebundenen CBN-Schleifscheiben mit einem stehenden Abrichtwerkzeug im unterbrochenen Modus führt zu einer Reduzierung des Abrichtdiamantenverschleißes und einer Erhöhung der Schleifscheibenprofilgenauigkeit. Die Reduzierung der Schleifkräfte und damit die Verminderung der Wärmeentwicklung in der Schleifkontaktzone aufgrund einer optimierten Schleifscheibentopographie sind weitere positive Einflüsse des ultraschallunterstützten Abrichtens im Vergleich zum konventionellen Abrichten. Der Einsatz der Ultraschallunterstützung beim Crushieren führt ebenfalls zur Reduzierung der Schleifkräfte.

## **5 Literatur**

- [Daus04] Daus, N. –A.: *Ultraschallunterstütztes Quer-Seiten-Schleifen*; Dissertation, Technische Universität Berlin, 2004
- [Iku96] Ikuse Y. et al: *Development of New Ultrasonic Dressing Equipment*; Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 30, No. 3, 217-222, 1996
- [Hess03] Hessel, D.: *Punktcrushieren keramisch gebundener Diamantdiamantschleifscheiben*; Dr. -Ing. Dissertation, Universität Hannover, 2003
- [Jiao06] Jiao, F. et al: *Ultrasonic Dressing of Grinding Wheel and its Influence on Grinding Quality*; Key Engineering Materials, Vols. 304-305, 62-65, 2006
- [Kapp99] Kappmeyer, G.: *Hochfrequenzhonen: Beitrag zum ultraschallunterstützten Dornhonen*; Dr. -Ing. Dissertation, TU Braunschweig, 1999
- [Kloc03] Klocke, F., Brinksmeier, E., Kiewewetter, L. u.a.: *Zerspanung mit definierter Schneide*; Abschlusskolloquium DFG Schwerpunktprogramm 1012 M „Mikromechanische Produktionstechnik“. Aachen, Shaker, 2003
- [Lieb96] Lieb, I.: *Auswahl und Konditionierung von Werkzeugen für Aussenrund-Profilschleifen technischer Keramiken*; Dr. -Ing. Dissertation, Technische Universität Berlin 1996
- [Maly90] Malyshev, V.; Levin, B.; Kovalev, A.: *Grinding with Ultrasonic Cleaning and Dressing of Abrasive Wheels*; Stanki I Instruments, Vol. 61 No. 9, pp. 22-26, 1990
- [Nomu05] Nomura, M. et al: *Effects of ultrasonic vibration in Truing and Dressing of CBN Grinding Wheel used for Internal Grinding of Small Holes*; Key Engineering Materials, Vols. 291-292, 183-188, 2005
- [Peac61] Peacock, J.: *Ultrasonics ups grinding efficiency*; American Machinist/Metalworking Manufacturing, Vol. 105 (1961), pp. 124-125

- [Sham99] Shamoto, E.; Moriwaki, T.: *Ultrasonic Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting*; Annals of the CIRP, Vol. 48, pp. 441-444
- [Schm02] Schmütz, J.: *Mikrobearbeitung duktiler Werkstoffe mit ultraschallangeregten Diamantwerkzeugen*; Dr. -Ing. Dissertation, Univ. Bremen, 2002
- [Srok05] Sroka, F.: *Konditionieren von Diamantschleifscheiben*; Dr. -Ing. Dissertation, Technische Universität Berlin 2005
- [Tawa05] Tawakoli, T.; Rabiey, M.; Rasifard, A.: *The new developments in CBN grinding technology*; 1st International Industrial Diamond Conference, 20-21 October 2005, Barcelona, Spain, Proceedings CD
- [Tawa06] Tawakoli, T.; Westkämper, E.; Rasifard, A.: *Prozessorientiertes Abrichten mit Formrollen*; wt Werkstattstechnik online 96 (2006), Nr.6, S.359-365, ISSN: 1436-4980
- [Tawa08] Tawakoli, T.; Rasifard, A.: *Verschleißverhalten von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben*; Diamond Business, Hefte 24 (1/2008), S. 68-73
- [Thoe98] Thoe, T. B.; Aspinwall, D. K.; Wise, M. L. H.: *Review on ultrasonic machining*; International Journal of Machine Tools and Manufacturing, Vol. 38 (1998), No. 4, pp. 239-255
- [Ulma01] Uhlmann, E; Daus, N.-A.: *Ultraschallunterstütztes Schleifen*; Einsatzvorteile durch ein innovatives Schleifverfahren. 2001, A4 Bericht
- [Wu04] Wu, Y.; Fan, Y.; Kato, M.; Kuriagawa, T.; Syojo, K; Tachibana, T: *Development of an ultrasonic elliptic-vibration shoe centerless grinding technique*; Journal of Materials Processing Technology 155-156 (2004), pp. 1780-1787