

# WHITEPAPER

## Ultraschallunterstütztes Schleifen von Quarzglas und Aluminiumoxid

Quarzglas und technische Keramiken wie Aluminiumoxid sind essenzielle Materialien in zahlreichen Hightech-Branchen. Quarzglas wird beispielsweise in der Halbleiterindustrie für Waferhalter und Ätzmasken verwendet, weil es sowohl thermisch als auch chemisch stabil ist. In der Optik werden Präzisionslinsen, Prismen und Lichtleiter aus Quarzglas gefertigt. Darüber hinaus spielt Quarzglas eine Schlüsselrolle in der modernen Medizintechnik, etwa in diagnostischen Geräten und Lasersystemen.

Aluminiumoxid findet ebenfalls breite Anwendung in der Industrie. Im Bereich der Medizintechnik wird es beispielsweise für biokompatible Implantate wie künstliche Hüftgelenkköpfe genutzt, die von der hohen Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit profitieren. Weitere Anwendungen finden sich in der Luft- und Raumfahrt, wo es als Hitzeschutz für kritische Komponenten oder als Material für Lager und Dichtungen eingesetzt wird, die extremen mechanischen und thermischen Belastungen standhalten müssen.

Die Materialeigenschaften, welche Quarzglas und Aluminiumoxid so wertvoll machen, erschweren gleichzeitig ihre Bearbeitung. Beide Materialien zeichnen sich durch eine hohe Härte und Sprödigkeit aus, was zu Mikrorissen, hohen Werkzeugverschleißraten und unzureichenden Oberflächenqualitäten führen kann. Zudem erfordert der Schleifprozess eine hohe Präzision, insbesondere bei komplexen Geometrien, um den Anforderungen moderner Anwendungen gerecht zu werden.

Die Nutzung einer Ultraschallunterstützung für Schleifprozesse zeigt hohes Potenzial, diese Herausforderungen zu bewältigen. Durch die Einbringung hochfrequenter Bewegungen können Prozesskräfte reduziert, die Oberflächenqualität verbessert und der Werkzeugverschleiß minimiert werden. Diese Arbeit zeigt die Effekte und Vorteile der ultraschallunterstützten Schleiftechnologie für Quarzglas und Aluminiumoxid. Dabei wird das Ultraschallsystem VibroCut *ultrasonic* verwendet, um das Schleifwerkzeug mit Bewegungen im Ultraschallbereich zu beaufschlagen. Das innovative System zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Leistungsfähigkeit für hohe Amplituden sowie ein präzises Prozessverhalten aus.



## Untersuchung zur Anwendung der Ultraschallunterstützung mit VibroCut *ultrasonic*

Beispielhaft für die Gruppe der sprödharten Materialien erfolgt eine Untersuchung des ultraschallunterstützten Schleifens an Bauteilen aus Quarzglas und Aluminiumoxid.

Zur Realisierung der Ultraschallunterstützung wurde eine Werkzeugmaschine, ausgeführt als Bearbeitungszentrum, mit dem System VibroCut *ultrasonic* ausgerüstet. Hierbei wird im rotierenden Werkzeughalter eine Ultraschallbewegung erzeugt und die Kinematik des Zerspanungsprozesses mit dieser gezielt überlagert. Die Amplitude wird



Abbildung 1: Bearbeitungssituation

mittels M-Befehlen im NC-Programm vorgegeben und kann in weiten Bereichen eingestellt werden. Die Ultraschallfrequenz wird vom System automatisch gefunden und nachgeregelt. Alleinstellung des Systems ist die hohe Leistungsfähigkeit und Präzision, welche sich auf einem internen Sensor zur hochdynamischen Regelung des Ultraschalls begründet.

Die Versuchsparameter wurden in Abhängigkeit der zu bearbeitenden Materialien variiert und sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Parameter der Schleifuntersuchungen

|                               | Quarzglas                                      | Aluminiumoxid                                  |
|-------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Werkzeug                      | Schleifstift – Diamantkorn galvanisch gebunden | Schleifstift – Diamantkorn galvanisch gebunden |
| Werkzeugdurchmesser           | Ø10 mm                                         | Ø10 mm                                         |
| Schnittgeschwindigkeit $v_c$  | 2,5 m/s                                        | 2,5 m/s                                        |
| Zustellung $a_p$              | 0,2 mm                                         | 0,06 mm                                        |
| Eingriffsbreite $a_e$         | 1 mm                                           | 2 mm                                           |
| Vorschubgeschwindigkeit $v_f$ | 120...200 mm/min                               | 300...500 mm/min                               |
| KSS-Druck                     | Emulsion 30 bar                                | Emulsion 30 bar                                |
| Ultraschallfrequenz           | ≈ 18,5 kHz                                     | ≈ 18,5 kHz                                     |
| Amplitude $\hat{A}_{pp}$      | 4 µm / 8 µm / 12 µm                            | 4 µm / 8 µm / 12 µm                            |

Um die Effekte der Ultraschallunterstützung zu evaluieren, wurden mit Hilfe einer Kraftmessplattform (Fa. Kistler) die Passivkräfte des Schleifprozesses erfasst und für das konventionelle und ultraschallunterstützte Schleifen verglichen.



## Technologische Effekte und Wirkmechanismen

Für die Untersuchung des ultraschallunterstützten Schleifens von Quarzglas wurde das Bauteil an der Stirnseite plan geschliffen. Abbildung 2 zeigt für das Schleifen von Quarzglas den Verlauf der Vorschubkräfte für die verschiedenen Vorschübe sowie den konventionellen und ultraschallunterstützten Bohrprozess bei steigender Schwingweite zwischen  $4\text{ }\mu\text{m}$  und  $12\text{ }\mu\text{m}$ . Es wird ersichtlich, dass die Vorschubkräfte mit höherem Vorschub ansteigen und die Kräfte des konventionellen Schleifens bei max.  $4,5\text{ N}$  liegen. Die Zerspanungskräfte sind für den Schleifprozess bei sprödharten Materialien aufgrund des sensiblen Materials ein wichtiges Bewertungskriterium, weil darüber die Effizienz des Abtragprozesses bestimmt wird. Zu hohe Kräfte begrenzen Produktivität sowie Oberflächenqualität und können zu Qualitätsproblemen wie Mikrorissen oder

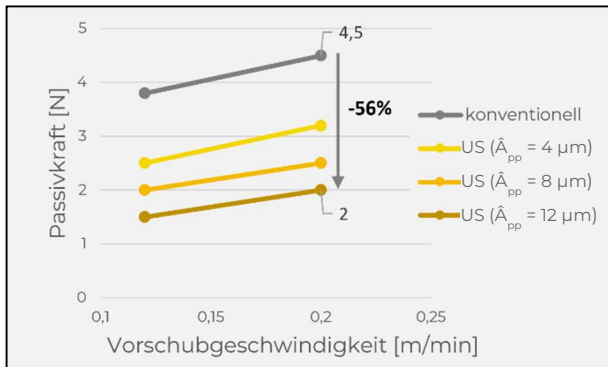


Abbildung 2: Diagramm der Passivkräfte Quarzglas

Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die Ultraschallunterstützung für beide Vorschübe zu einer signifikanten Reduzierung der Passivkraft führt. Dabei sinken die Kräfte mit zunehmender Amplitude. Bei einer Vorschubgeschwindigkeit von  $0,2\text{ m/min}$  und einer Amplitude von  $12\text{ }\mu\text{m}$  sinkt die Passivkraft von  $4,5\text{ N}$  durch die Ultraschallunterstützung auf  $2\text{ N}$ . Dies entspricht einer drastischen Kraftreduzierung von 56%. Dieser Effekt ist durch das „Mikro-Hämmern“ des Ultraschalls begründet, welcher das spröde Material mikroskopisch aufbricht und so einen kontrollierten Materialabtrag ermöglicht. Darüber hinaus führt die schnelle Bewegung des Werkzeugs zu einer veränderten Kinematik und mehrachsiger Belastung der Schleifkörner.

Für den zweiten Werkstoff Aluminiumoxid wurden in einer vergleichbaren Vorgehensweise die Kräfte gemessen. Abbildung 3 zeigt die Werte der Passivkräfte für die Schleifbearbeitung der Keramik. Auch hier steigen die Kräfte mit zunehmenden Vorschubwerten an. Für den konventionellen Schleifprozess und eine Vorschubgeschwindigkeit von  $0,5\text{ m/min}$  beträgt die Passivkraft für das Aluminiumoxid  $21\text{ N}$ . Auch bei diesem Material sind die Zerspanungskräfte für die Effizienz des Schleifprozesses maßgebend. Die Ultraschallunterstützung des Schleifprozesses führt hier ebenfalls zu drastisch

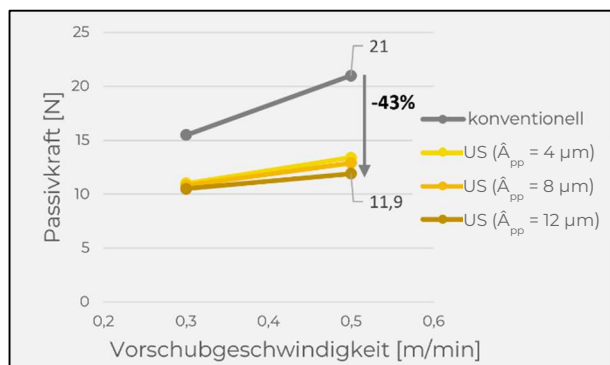


Abbildung 3: Diagramm der Passivkräfte Aluminiumoxid



reduzierten Bearbeitungskräften. Beim Vorschub von 0,5 m/min und einer Amplitude von 12 µm wird die Passivkraft um 43% auf 11,9 N vermindert. Im Gegensatz zum Quarzglas übt die Amplitude hier einen geringeren Einfluss aus. In diesem Zusammenhang sind die Effekte der Amplituden zwischen 4 µm und 12 µm nahezu identisch. Aufgrund des spröden Materialverhaltens wird auch hier der Materialabtrag durch den Ultraschall effizienter und kontrollierter, was sich positiv auf die Performance des Schleifprozesses auswirkt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Ultraschallunterstützung die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit des Schleifprozesses positiv beeinflusst. Die Ultraschall-Werkzeughalter versetzen das Schleifwerkzeug in eine hochfrequente Bewegung, wodurch sowohl die Prozesskinematik als auch die Wirkmechanismen bei der Spanbildung verändert werden. Die Effekte und Wirkungen lassen sich hierbei wie folgt zusammenfassen:

#### **1. Ultraschnelle Bewegung des Schleifkorns**

Der Schleifkörper wird durch den Ultraschall in extrem schnelle Bewegungen versetzt, wodurch sich jedes einzelne Schleifkorn zusätzlich zu seiner Drehbewegung in Axialrichtung oszillierend bewegt. Dadurch werden die Eingriffsverhältnisse der Schleifkörner maßgeblich beeinflusst.

#### **2. Effizienter Materialabtrag**

Der Ultraschall bewirkt ein „Mikro-Hämmern“ der Schleifkörner, das das sprödharte Material an der Oberfläche definiert aufbricht. Dadurch wird der Materialabtrag effizienter und kontrollierter.

#### **3. Selbstreinigung**

Durch den Ultraschall werden Ablagerungen am Schleifwerkzeug reduziert und ein Zusetzen des verhindert. Dadurch bleibt die Schärfe und Schnittfreudigkeit des Werkzeugs länger erhalten.

#### **4. Schärfung der Körner**

Die mehrachsige und stoßartige Belastung führt zum Ausbrechen der Schleifkörner, wodurch sich neue scharfe Schneiden bilden.



## Kundennutzen

Die drastisch reduzierten Bearbeitungskräfte wirken sich positiv auf die Grenzen des Schleifprozesses hinsichtlich Produktivität, Prozesssicherheit und Bauteilqualität aus. Abbildung 4 fasst die Vorteile der Ultraschallunterstützung beim Schleifen von sprödharten Werkstoffen wie Quarzglas oder Keramiken wie Aluminiumoxid zusammen.

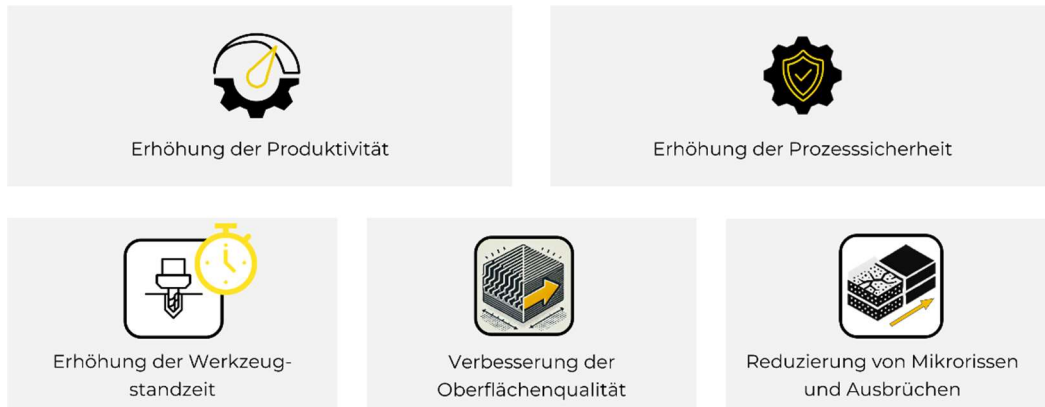


Abbildung 4: Vorteile beim ultraschallunterstützten Schleifen

Durch den effizienten und kontrollierten Materialabtrag wird die Bauteilqualität in Bezug auf die Oberflächenrauheit verbessert und Mikrorisse sowie Ausbrüche vermieden. Neben der Erhöhung der Werkzeugstandzeit ist vor allem das Potential zur Steigerung der Schnittwerte und dadurch der Produktivität des Schleifprozesses ein wesentlicher Faktor, um durch die Verwendung von VibroCut *ultrasonic* Kosteneinsparungen zu realisieren. Eine beispielhafte Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Abbildung 5 dargestellt. In vielen Anwendungsfällen wird hierbei ein Return of Invest von unter einem Jahr realisiert.

### Kosteneinsparung mit VibroCut *ultrasonic* beim Schleifen von sprödharten Werkstoffen

|                                                                                     |                                                                                                                                            |                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                                                                            |                                                            |
| <b>Berechnungsbeispiel Schnittparametererhöhung</b>                                 |                                                                                                                                            |                                                            |
|                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maschinenstundensatz:</li> <li>Planbelegungszeit:</li> <li>Anteil Schleifen an Taktzeit:</li> </ul> | 75,- € / h<br>4000 h / Jahr (500 Schichten / Jahr)<br>80 % |
| <b>Schnittparametererhöhung</b>                                                     | <b>Produktivitätssteigerung</b>                                                                                                            | <b>Einsparung pro Maschine / Jahr</b>                      |
| 20 %                                                                                | 13,3 %                                                                                                                                     | 39.900 €                                                   |
| 50 %                                                                                | 26,7 %                                                                                                                                     | 80.100 €                                                   |
| 100 %                                                                               | 40 %                                                                                                                                       | 120.000 €                                                  |

Abbildung 5: Beispielrechnung zum wirtschaftlichen Benefit bei Schnittwerterhöhung

Ein wesentlicher Vorteil der Ultraschallunterstützung liegt zudem in der Steigerung der Prozesssicherheit. Die effiziente und schonende Bearbeitung durch Anwendung des Ultraschalls ist insbesondere bei komplexen und kostenintensiven Bauteilen hilfreich, um die Gefahr von Prozessstörungen sowie qualitätsrelevanten Abweichungen zu reduzieren und dadurch kosten- und zeitintensiven Ausschuss zu vermeiden.



## Weiterführende Informationen

VibroCut *ultrasonic* ist ein patentiertes System der VibroCut GmbH. Wir treten als Produkt- und Technologieanbieter sowie Integrationspartner für den Einsatz der ultraschallunterstützten Zerspanung in Ihrer Fertigung auf. Dabei vertreiben wir die Ultraschallsysteme zur Ausrüstung von Neu- und Bestandmaschinen und bieten Ihnen zugehörige Servicedienstleistungen an.

Das Ultraschallsystem VibroCut *ultrasonic* steht für den stärksten und präzisesten Ultraschall am Markt. Durch die enorme Leistungsfähigkeit werden hohe Amplituden erreicht und auch größere Schleifwerkzeuge in Bewegung versetzt. Ein integrierter Sensor misst die Ultraschallbewegung direkt. Durch eine hochdynamische Regelung werden dadurch reproduzierbare Bewegungseigenschaften gewährleistet und die Präzision des Ultraschalls auf eine neue Dimension gehoben.

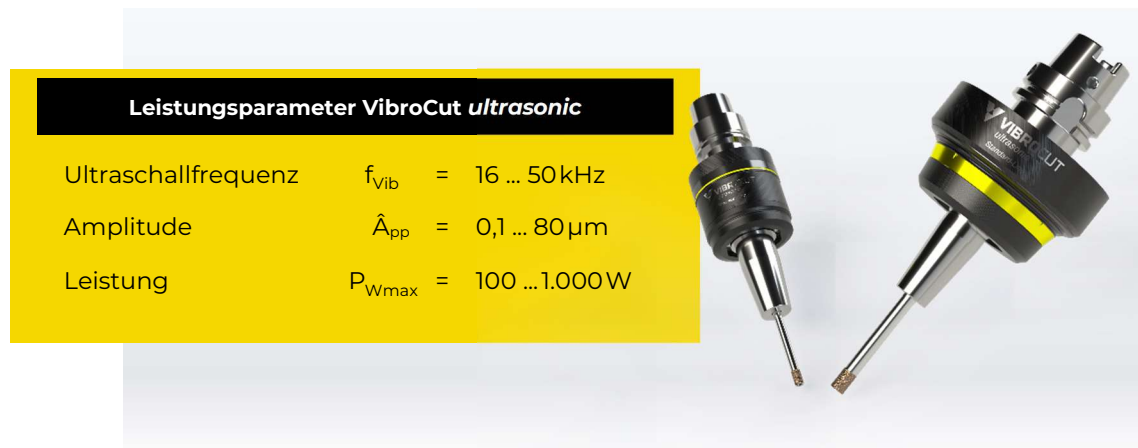


Abbildung 6: Ultraschall-Werkzeughalter für VibroCut *ultrasonic*

Das System ist in verschiedenen Leistungsklassen, Abmessungen und Schnittstellen passend für Ihre Werkzeugmaschine erhältlich. Für den Anwender stehen, je nach Anforderung des Bearbeitungsprozesses, vier verschiedene Leistungsklassen zur Auswahl – von der Precision-Line für filigrane Werkzeuge mit Drehzahlen von bis zu 30.000 U/min bis zur Performance-Line für Anwendungen mit großen, massereichen Werkzeugen. Die Precision-Line (100 W), Standard-Line (250 W) und Performance-Line (500 W) sind dabei für Bearbeitungszentren mit automatischen Werkzeugwechsel vorgesehen.

Treten Sie gern direkt mit uns in Kontakt oder informieren Sie sich auf unserer Website:

**VibroCut GmbH**  
 Annaberger Str. 240  
 09125 Chemnitz  
[info@vibrocut.de](mailto:info@vibrocut.de)  
[www.vibrocut.de](http://www.vibrocut.de)

