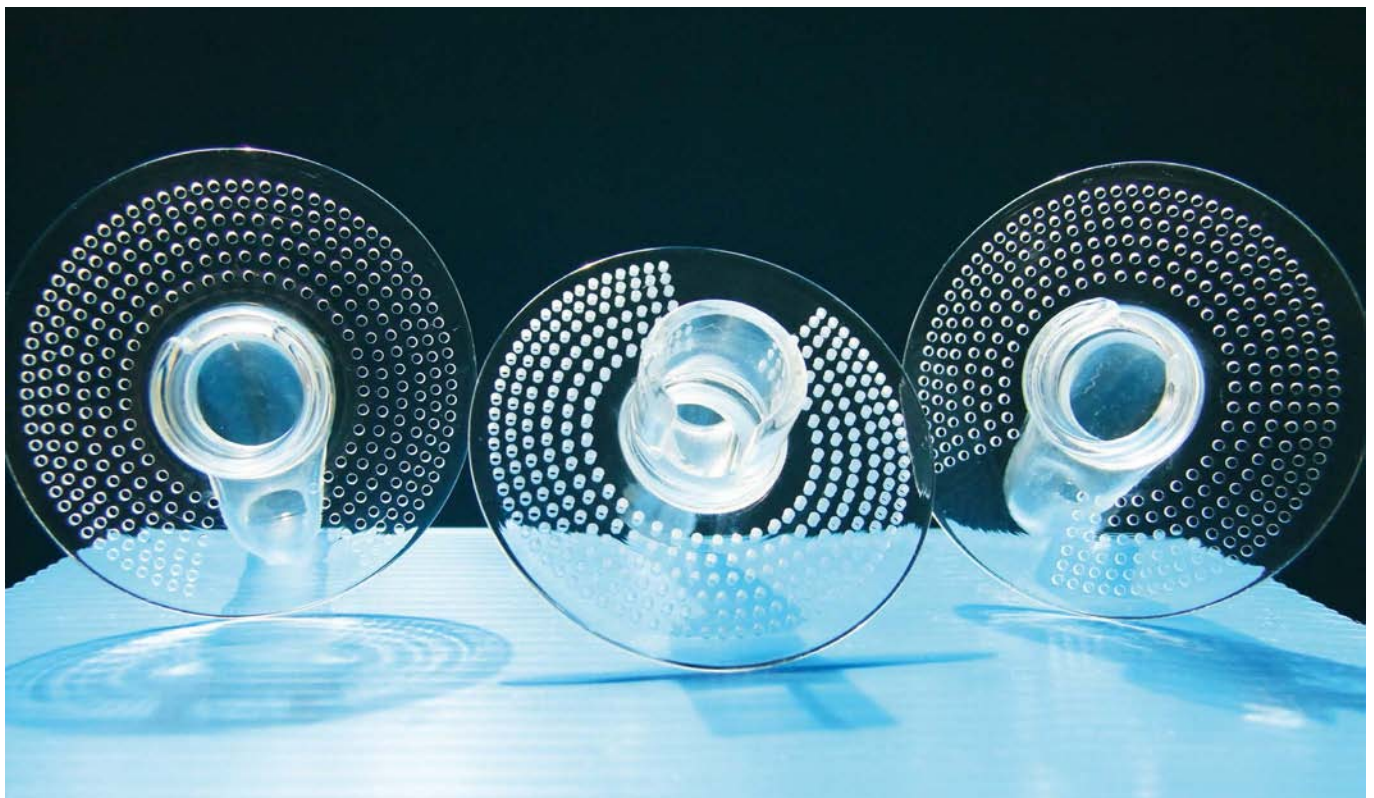


# Mit Ultraschall-Schwingungen

## harte und spröde Werkstoffe wirtschaftlich bearbeiten

Dipl.-Ing. (FH) A. Groß  
GROSS Ultraschall-Technik / Rottenburg

**Ultraschall-Schwingungen sind in der Technik weit verbreitet und nicht mehr wegzudenken. Egal ob in der Medizintechnik, der Kunststofftechnik oder der Bearbeitungstechnik, überall werden die Vorteile dieser hochfrequenten Schwingungen, in unterschiedlicher Weise genutzt und erfolgreich eingesetzt.**



Die Ursprünge der Ultraschall-Bearbeitung liegen in der Schmuckindustrie zur Herstellung kleiner Bohrungen in Perlen und in Edelsteinen.

Durch die rasante Entwicklung bei den Werkstoffen, Richtung Hochleistungswerkstoffe, insbesondere der Technischen-Keramiken, technischer Gläser oder Verbundwerkstoffen, war es erforderlich geeignete Bearbeitungsverfahren für diese Werkstoffe zu finden oder zu entwickeln.

Die Erkenntnisse aus der Schmuckindustrie stellten eine interessante Basis für die Entwicklung neuer wirtschaftlicher Bearbeitungsverfahren für diese harten und spröden Werkstoffe dar.

Im Rahmen des Vortrags werde ich auf die drei, meiner Meinung nach interessantesten Varianten der Ultraschall-Bearbeitung eingehen, das Verfahrensprinzip beschreiben, die Vor- und Nachteile aufzeigen und die Einsatzmöglichkeiten anhand von Bearbeitungsbeispielen erläutern.

# 1. Verfahrensvarianten zur Ultraschall-Bearbeitung

Typische Merkmale und Unterschiede

## 1.1 Ultraschall-Erosion

- Loses Schleifmittel SiC ( Siliziumcarbid ) oder B4C ( Borcarbid ) in Wasser aufgeschwemmt als Suspension.
- Stehendes Formzeug / Werkzeug
- Der Abtrag erfolgt durch die Longitudinalschwingung des Formzeuges
- Die Formzeuggeometrie entspricht der zu erzeugenden Kontur im Werkstück

## 1.2 Ultraschall-Erosion mit überlagerter Rotation

- Loses Schleifmittel SiC oder B4C in Wasser aufgeschwemmt als Suspension
- Rotierendes Formzeug
- Der Abtrag erfolgt durch die Longitudinalschwingung des Formzeuges, sowie die Schleifwirkung der Rotation

## 1.3 Schleifen mit überlagerten Ultraschallschwingungen

- Gebundenes Schleifkorn, Diamantschleifstife, Diamanthohlbohrer
- Kühlung und Spülung mit Wasser oder Schleifemulsion
- Der Abtrag erfolgt durch die Schleifwirkung der Rotation, mit Unterstützung von longitudinalen Ultraschallschwingungen

# 2. Verfahrensprinzip Ultraschall-Erosion

Hochfrequente Schwingungen, das Geheimnis der Ultraschall-Bearbeitung

Das „eigentliche“ Werkzeug besteht bei der Ultraschall Erosion aus einer Vielzahl loser, in einer Flüssigkeit aufgeschwemmter Schleifmittelkörner (Suspension). Diese werden durch ein im Ultraschallbereich longitudinal schwingendes Formzeug auf die Werkstückoberfläche eingehämmert, wodurch mikroskopisch kleine Risse im Werkstück induziert werden, die durch wiederholte Impulseinwirkung zum Ausbrechen kleinster Werkstückpartikel und somit zur Abbildung des Formzeuges im Werkstück führen.

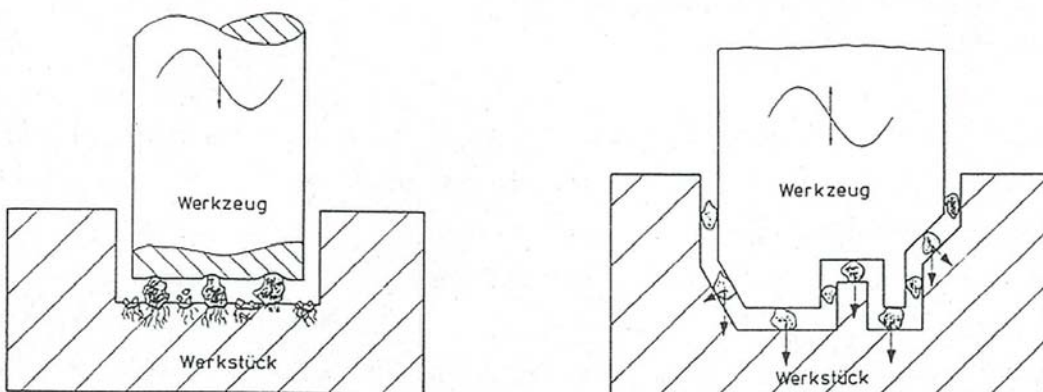


Abbildung des Formzeuges im Werkstück, durch kontinuierliches Ausbrechen kleinster Werkstückpartikel.

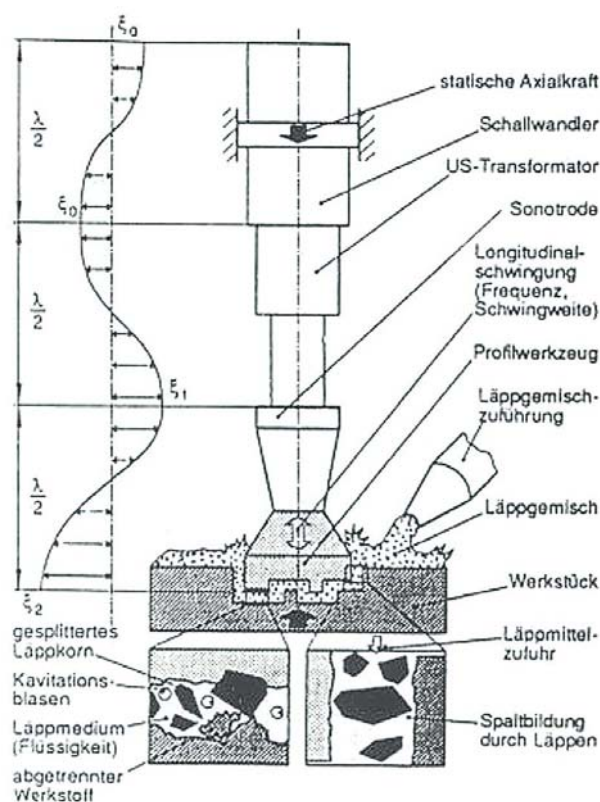
Zur Erzeugung von Ultraschall Schwingungen wird heute überwiegend der piezoelektrische Effekt spezieller Keramiken ausgenutzt. Dieser wurde erstmals an natürlichem Quarzeinkristall entdeckt, der bei äußerer Krafeinwirkung elektrische Spannung abgibt.

Moderne Schallwandler enthalten in der Regel mehrere Keramikscheiben aus Bleizirconat-Titanat, welche durch zwei Endmassen begrenzt, über zentrische Verschraubung mechanisch vorgespannt sind. Bei Anlegung einer elektrischen Wechsellspannung führt diese Einheit eine mechanische Schwingung gleicher Frequenz aus.

## 2.1 Schwingungsübertragung auf das Formzeug

Die vom Ultraschall Generator erzeugte hochfrequente elektrische Wechsellspannung wird über den Schallwandler in eine mechanische Longitudinalschwingung gleicher Frequenz umgewandelt. Über eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Schallwandler und Sonotrode wird die auf dieselbe Frequenz abgestimmte Sonotrode ebenfalls in Resonanz versetzt, wodurch die Schwingung auf das an der Stirnseite der Sonotrode befestigte Formzeug übertragen wird. Durch die Sonotrodengeometrie wird die Schwingweite den Anforderungen entsprechend verstärkt.

Bei Bedarf kann die Schwingweite durch den Einbau eines US Transformators, zwischen Schallwandler und Sonotrode, weiter verstärkt werden.



Schwingungsübertragung

Verfahrensbedingt lassen sich mit dieser Technologie nur harte und spröde Werkstoffe bearbeiten. Die Schleifmittelkörner müssen dabei eine größere Härte, als das zu bearbeitende Werkstück aufweisen.

Das Formzeug sollte entweder eine höhere Härte als das Schleifmittelkorn besitzen, oder aber über hohe Zähigkeit und geringere Härte verfügen, so dass es bei Impulseinwirkungen durch die Schleifmittelkörner am Formzeug zu plastischen Verformungen und nicht zur Rissbildung kommt. Der Vorteil dieser weichen und zähen Formzeuge liegt in der einfachen und preiswerten Herstellung, während Formzeuge mit höherer Härte längere Standzeiten erzielen.

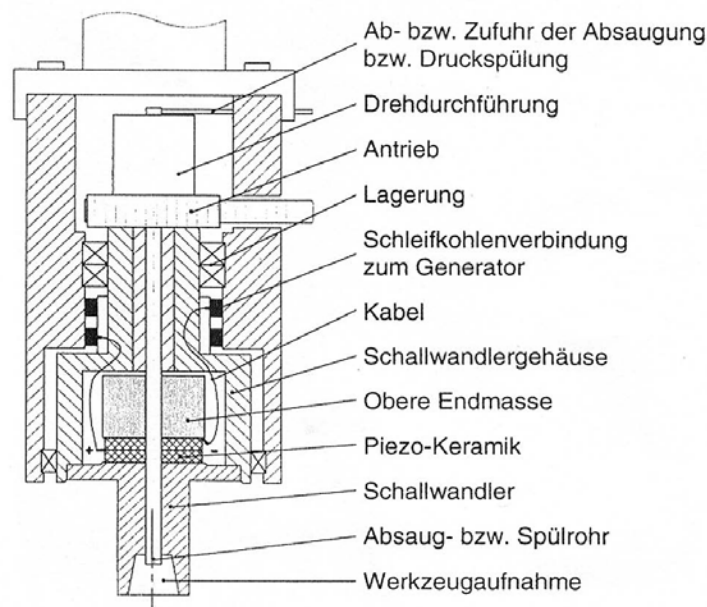
## 2.2 Bearbeitungsparameter

Die erzielbare maximale Abtragsleistung bei der Ultraschall-Erosion hängt im wesentlichen von der richtigen Abstimmung der fünf wichtigsten Bearbeitungsparameter ab.

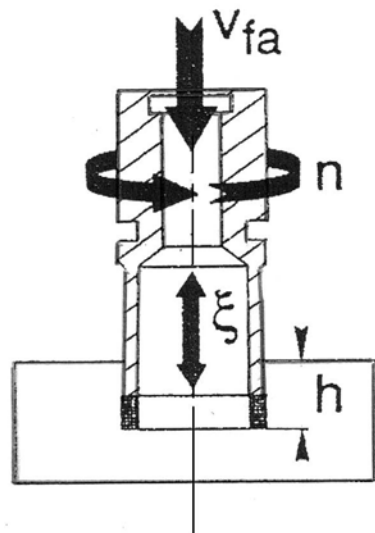
- Schwingungsamplitude
- Korngröße des Schleifmittels
- Auflagekraft
- Schleifmittelkonzentration
- Suspensionsaustausch an der Bearbeitungsfläche

## 2.3 Verfahrensprinzip bei der Bearbeitung mit Rotation

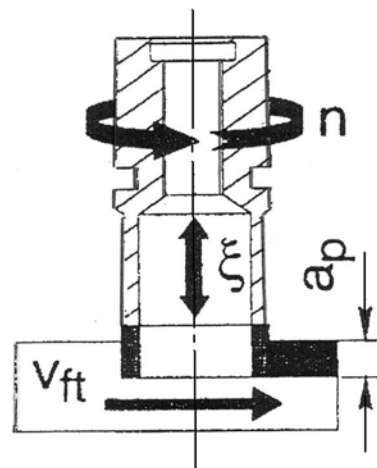
Aufbau einer Ultraschall-Spindel



Ultraschall-Spindel



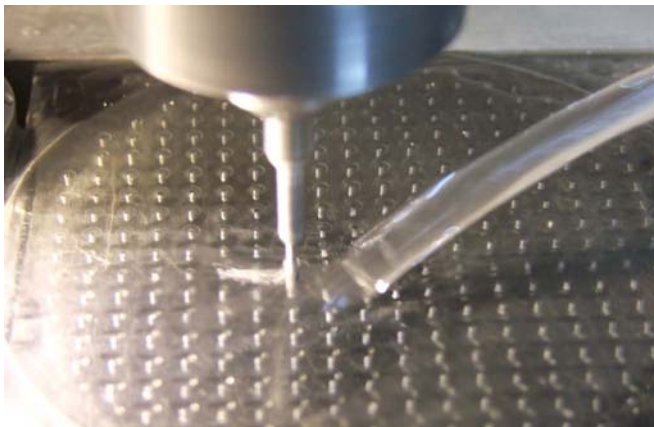
Ultraschall-Erosion mit überlagerter Rotation



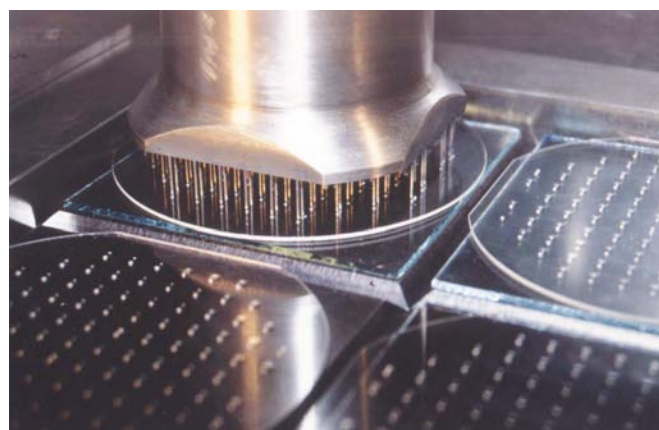
Schleifen mit überlagerten Ultraschall-Schwingungen

### 3 Auswahl der Verfahrensvariante anhand der Bearbeitungsaufgabe

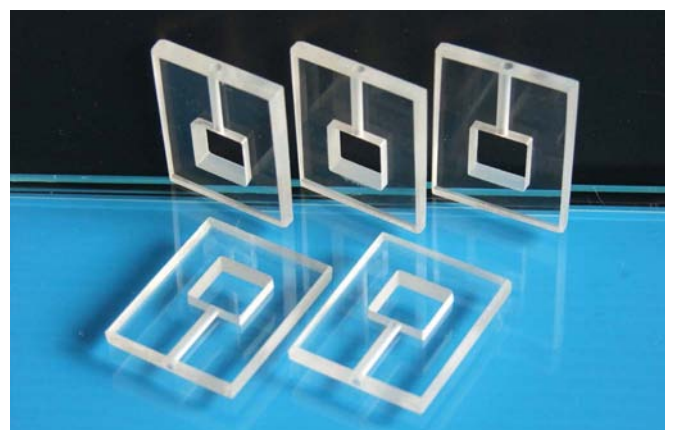
#### Ultraschall-Erosion



Ultraschall-Erosion mit überlagerter Rotation



Schleifen mit überlagerten Ultraschall-Schwingungen



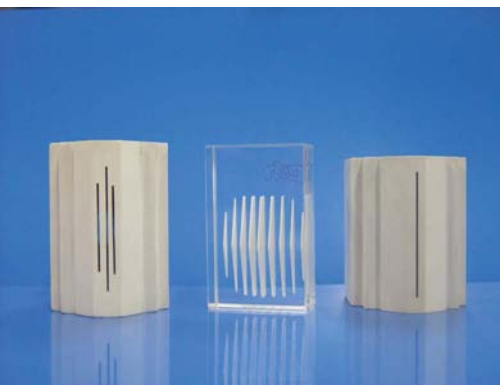
### 3.1 Ultraschall-Erosion

#### Vorteile, Möglichkeiten:

- Preiswerte Einstiegstechnologie
- Einfache, leicht zu bedienende Maschinen
- Komplexe Konturen in einem Arbeitsgang einarbeitbar
- Einsatz von Mehrfachwerkzeugen möglich
- Minimale Bauteilbelastung, keine Schädigung bei der Bearbeitung
- Sehr gute Kantenqualität erreichbar
- Bohrungen ab Durchmesser 0,5mm
- Bearbeitungstoleranzen +/- 0,05mm
- Erzielbare Oberflächengüten  $Ra = 2\mu m$

#### Nachteile:

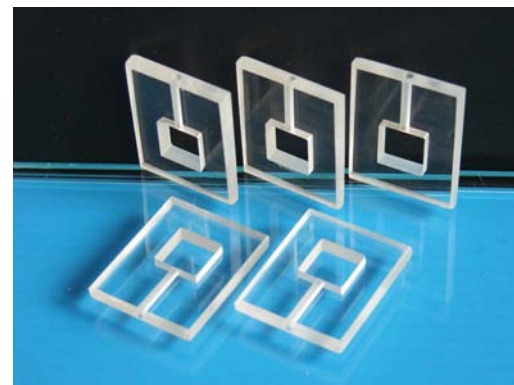
- Jede Bearbeitung erfordert ein spezielles Werkzeug / Formzeug
- Gewisse Grundkenntnisse der Schwingungstechnik sind unbedingt erforderlich



Profilierte Schlitzte in Glas und Keramik



Kieselsteine mit Firmenlogo, scharfkantige Konturen



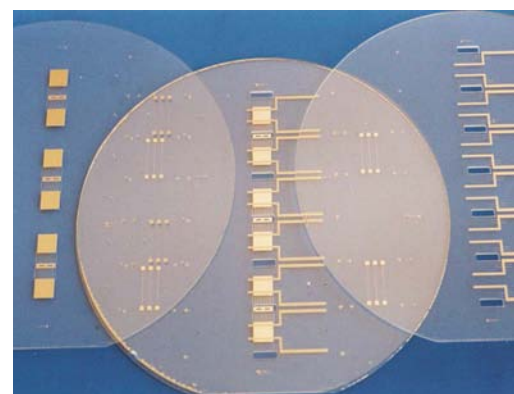
Glasrahmen mit quadratischer Bohrung



Durchbrüche in Faserverbund Keramik



Glaswafer Bearbeitung mit Mehrfachwerkzeug



Glaswafer für die Mikrotechnik

## 3.2 Ultraschall-Erosion mit überlagerter Rotation

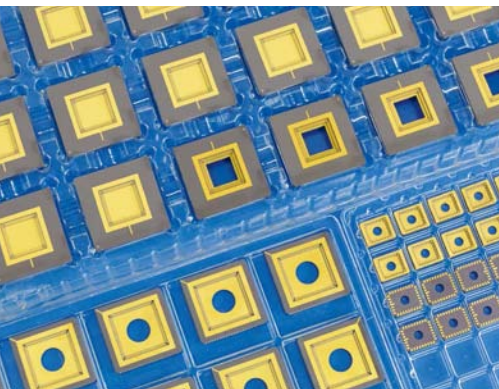
### Vorteile, Möglichkeiten:

- Höhere Abtragsleistung beim Bohren, durch zusätzliche Schleifwirkung der Rotation
- Höhere Genauigkeit durch das rotierende Werkzeug
- Bearbeitungstoleranz  $\pm 0,03$  mm
- Große Bearbeitungstiefen auch bei kleinen Bohrungsdurchmessern herstellbar
- Gute Kantenqualität der Bohrungen
- Minimale Werkstückbelastung bei der Bearbeitung
- Einfache und preiswerte Werkzeuganfertigung möglich
- Edelstahlrohre oder PKD bestückte Werkzeuge als Bohrer einsetzbar
- Einfacher Werkzeugaustausch über Konusaufnahme möglich
- Kein Zusetzen der Werkzeuge bei der Bearbeitung

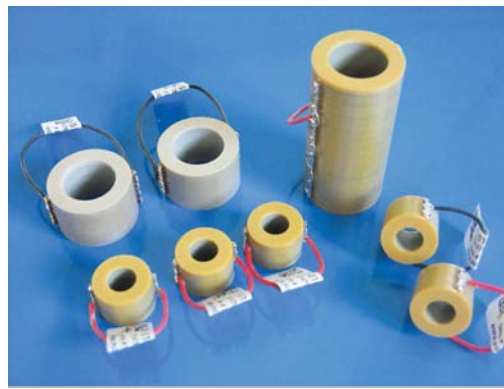
### Nachteile:

- Die Fertigung komplexer Konturen oder Bauteile ist nicht möglich

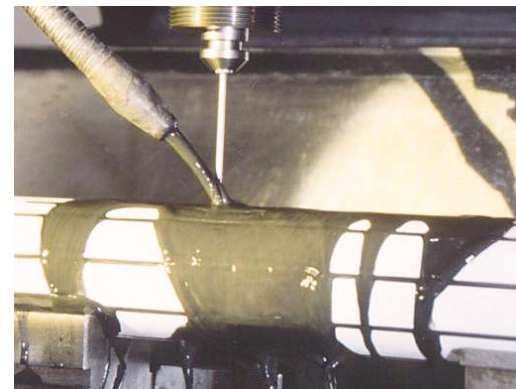
### Bearbeitungsbeispiele:



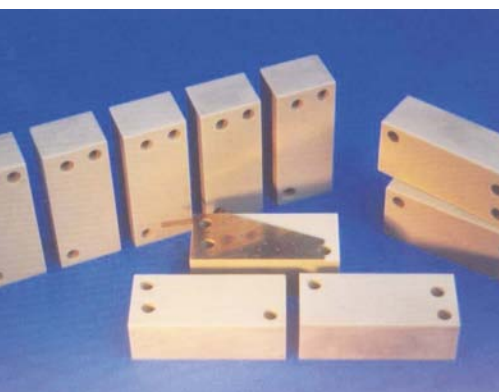
Elektrotechnik Chipträger



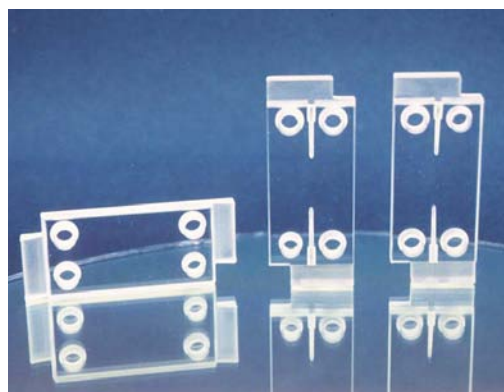
Aktoren aus Piezokeramik



Welle aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Blöcke aus Piezokeramik



Medizintechnik, Glasplatten

### 3.3 Schleifen mit überlagerten Ultraschall-Schwingungen

#### Vorteile, Möglichkeiten:

Die Möglichkeiten dieser Verfahrensvariante hängen sehr stark von der eingesetzten Bearbeitungsmaschine ab. Diese Technologie kann auf einfachen manuell bedienbaren Maschinen oder auch auf 3–5 Achsen Hightech-Bearbeitungsmaschinen eingesetzt werden.

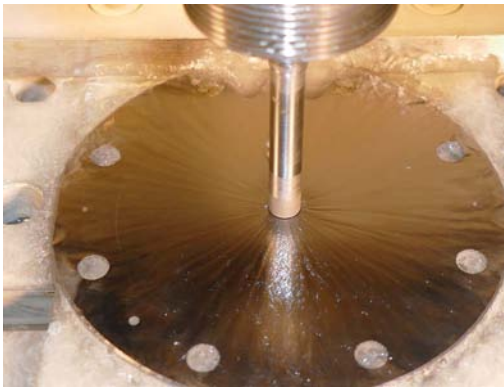
In der Regel kann durch die Bearbeitung mit gebundenem Schleifkorn eine höhere Genauigkeit erzielt werden als bei der Bearbeitung mit losem Korn. Die Endgenauigkeit der Bearbeitung hängt in erster Linie von der Maschinensteifigkeit, der Positioniergenauigkeit und der Spindelgenauigkeit ab.

- Auf CNC gesteuerten Maschinen ist die Bearbeitung komplexer Bauteile mit speziellen Diamantwerkzeugen möglich
- Oberflächenqualitäten  $Ra < 0,5 \mu\text{m}$  können problemlos erzielt werden
- Hohe Genauigkeiten in Abhängigkeit der Maschinengenauigkeit
- Bei kontinuierlicher Prozessüberwachung ist ein vollautomatischer Betrieb möglich
- Bearbeitung großer Flächen.

#### Nachteile:

- Hohe Anschaffungskosten, je nach Maschinentyp

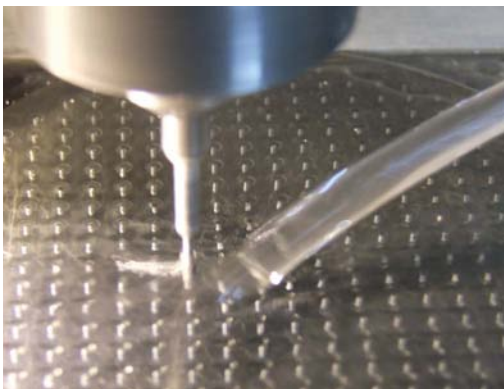
#### Bearbeitungsbeispiele:



Silizium Wafer



3D-Kontur in Graphit



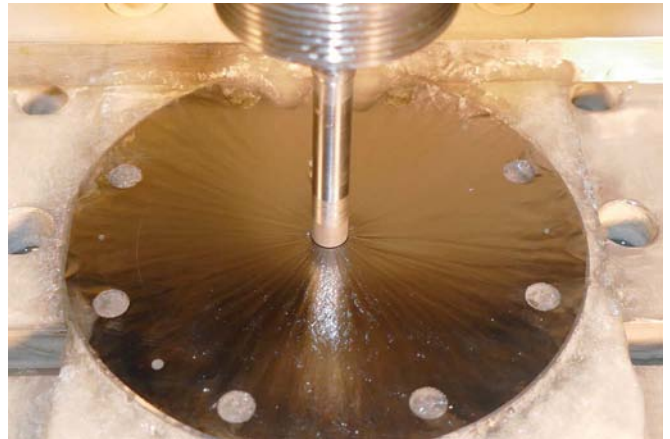
Glaswafer mit abgestuften Bohrungen



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

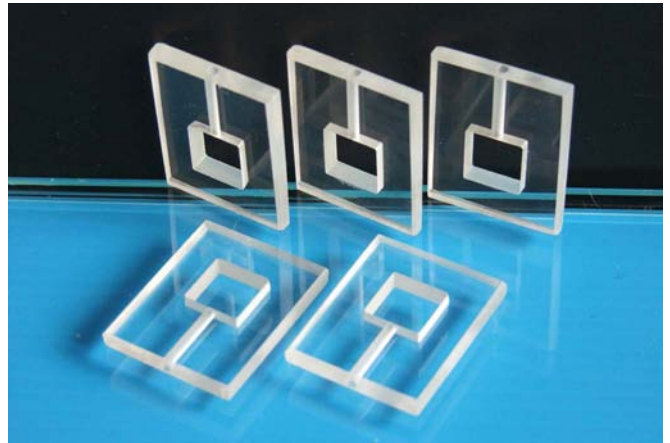
Bei der Bearbeitung harter und spröder Werkstoffe, hat das Verfahren „**Schleifen mit überlagerten Ultraschall-Schwingungen**“, in den letzten Jahren am stärksten an Bedeutung dazu gewonnen.

Auf CNC gesteuerten Maschinen ist die Bearbeitung komplexer Bauteile mit hohen Genauigkeitsanforderungen möglich. Aber auch bei einfachen Bohraufgaben in Glas oder Keramik ist eine wirtschaftliche Bearbeitung mit einfacheren Maschinen möglich.



Die Vorteile der „**klassischen Ultraschall-Erosion**“ liegen in der Bearbeitung mit Mehrfachwerkzeugen und Konturwerkzeugen.

Bei der Herstellung scharfkantiger Innenkonturen, dünner Schlitzte oder komplexer Konturen in einem Arbeitsgang, ist die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens nicht zu überbieten.



### **Ultraschall-Erosion mit überlagerter Rotation**

Das einfache und flexible Werkzeugsystem, die minimale Werkstückbelastung bei der Bearbeitung und die Möglichkeit des einfachen Werkzeugaustausches, sind die Vorteile dieser Variante der Ultraschall-Bearbeitung.

#### **GROSS Ultraschall-Technik**

Dipl.-Ing. (FH) Albrecht Groß

Fünfzehn Morgen 28

72108 Rottenburg

Tel.: 07472 / 947145 / e-mail: gross-ust@t-online.de

