

2.4 Feinmechanische Präzisionsbauteile aus Zirkonoxid

- Markus Bappert
DeguDent GmbH
Hanau

Die Folien finden Sie ab Seite 151.

2.4.1. Einleitung

Keramik + Präzision – ein Widerspruch?

Keramiken entstehen durch Sinterung aus pulverförmigen, nichtmetallischen Ausgangsstoffen. Die mit der Sinterung einhergehenden Gefügeverdichtungen führen zu einer Volumenschrumpfung des Materials. Nach dem Sintern sind Keramiken aufgrund der enormen Festigkeit und Härte nur noch mit Diamantwerkzeugen und schleifend zu bearbeiten – Bearbeitungsprozesse, die keramische Bauteile mit hoher Präzision für die Anwendung oft unerschwinglich oder gar unmöglich machen.

Zirkonoxid ist eine Oxidkeramik mit herausragenden physikalischen Eigenschaften. Durch ein flexibles und wirtschaftliches Bearbeitungsverfahren kann es jetzt auch zur Herstellung kleiner, hochkomplexer, feinmechanischer Präzisionsbauteile eingesetzt werden. Toleranzen im Hundertstel- bzw. Mikrometerbereich sind dabei gewährleistet, ohne dass es einer weiteren mechanischen Bearbeitung nach dem Sinterprozess bedarf. Gewinde und feinste Bohrungen sind ebenfalls möglich sowie eine sehr hohe Oberflächengüte. Mit diesen Material- und Bearbeitungsmöglichkeiten können Ingenieure und Techniker konstruktiv in ganz neue Richtungen denken – so ist zum Beispiel das Verschrauben eines Keramik-Bauteils mit einem Maschinenelement aus Stahl möglich, um hoch belastete Zonen vor Verschleiß zu schützen.

Im Folgenden sollen Material wie auch Anwendungs- und Gestaltungsmöglichkeiten hierzu näher beschrieben werden.

2.4.2. Der Werkstoff Zirkonoxid

Zirkonoxid, genau genommen ZrO_2 – Zirkondioxid, ist eine Hochleistungskeramik und im Bereich der Oxidkeramiken einzuordnen. Anwendungstechnisch betrachtet ist Zirkonoxid den Struktur- oder Ingenieurkeramiken zuzuordnen.

Reines Zirkonoxid ZrO_2 wird aufgrund seiner Polymorphie nicht als technische Keramik verarbeitet.

Zirkonoxid kommt in drei Modifikationen vor: bei Raumtemperatur ist es monoklin, oberhalb von 1.170°C ist es tetragonal und oberhalb von 2.370°C kubisch (s. Bild 1). Beim Phasenübergang tetragonal nach monoklin kommt es mit dem Umklappen der Gitterstruktur zu einer plötzlichen Volumenzunahme von etwa 3%. Reines Zirkonoxid würde, bedingt durch diesen besonderen Effekt, beim Sinterprozess zerstört werden.

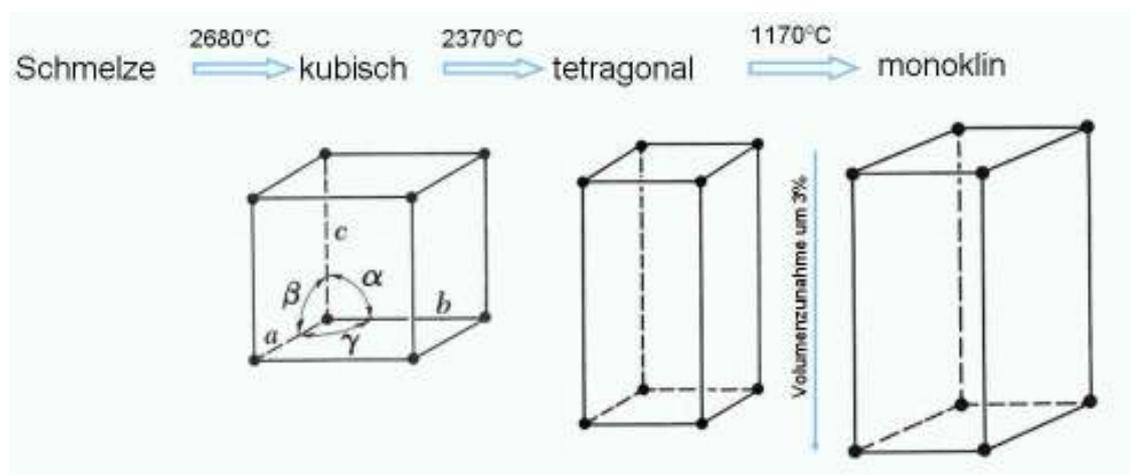


Bild 1: Polymorphie von Zirkonoxid

Deshalb stabilisiert man Zirkonoxid-Keramiken durch Zugabe anderer Metalloxide wie Yttriumoxid, Magnesiumoxid oder Calciumoxid. Man unterscheidet dabei zwischen vollstabilisiertem Zirkonoxid (FSZ – Fully Stabilized Zirconia) und teilstabilisiertem Zirkonoxid (PSZ – Partially Stabilized Zirconia).

Die größte Bedeutung in der Technik hat das teilstabilisierte, polykristalline, tetragonale Zirkonoxid (TZP – Tetragonal Zirconia Polycrystal). Y-TZP kennzeichnet die Stabilisierung auf Yttriumoxid-Basis.

2.4.2.1. Anwendungsbeispiele von Zirkonoxid

Zirkonoxid, insbesondere Y-TZP, wird wegen seiner mechanischen und thermischen Eigenschaften bevorzugt für hoch belastbare Komponenten eingesetzt.

Durch die uneingeschränkte Biokompatibilität sowie die hohe chemische Beständigkeit und Inertheit findet das Material, das auch als Biokeramik bezeichnet wird, nicht nur in technischen, sondern auch in medizintechnischen Produkten bzw. im menschlichen Körper seine Anwendung. Im medizintechnischen Bereich wird es bevorzugt für künstliche Hüftgelenkskugeln sowie im dentalmedizinischen Bereich für Kronen, Brücken und Implantate verwendet. Weiterhin findet das Material bei chirurgischen Instrumenten (z. B. Bohrer) und in medizintechnischen Geräten seine Anwendung (z. B. Endoskopie) sowie in der Analytik und im Liquid-Handling Bereich (Biotechnologie).

In technischen Bereichen wird Zirkonoxid vor allem für Verschleißteile im Maschinenbau eingesetzt. Typische Anwendungen sind Düsen, Ventile, Pumpenteile, Verschleißteile im Sondermaschinenbau, Schneidkeramiken (Textilindustrie, Papierindustrie), Fadenführer (Textilindustrie), Dichtungen, Armaturenteile, Positionierstifte in der Schweißtechnik und vieles mehr.

Eine weitere Besonderheit des Zirkonoxids ist seine Sauerstoffionenleitfähigkeit bei höheren Temperaturen. Dieses Phänomen kann nutzbar gemacht werden zur Messung von Sauerstoff-Partialdrücken. Technisch findet dies Anwendung in der Sensorik: z. B. bei Lambda-sonden für die Abgasregelung von Benzinmotoren sowie bei Sauerstoffelektroden in der Prozessleittechnik von Stahlwerken bzw. in der Glasproduktion.

Als weitere Spezialanwendungen, die die Vielseitigkeit des Materials unterstreichen, sind noch Anwendungen als Elektrolyt in der Festbrennstoffzelle (SOFC), als Optical Interconnects in der optischen Telekommunikation sowie Anwendungen in der optischen Industrie und in der Halbleitertechnik zu nennen.

Zirkonoxid-Keramik verfügt also über ein breites Anwendungsspektrum und kann zu recht als High-Tech Werkstoff bezeichnet werden.

2.4.2.2. Yttriumoxid-stabilisiertes Zirkonoxid (Y-TZP)

Das Yttriumoxid-stabilisierte Zirkonoxid (Y-TZP) ist sehr gut geeignet für den technischen Einsatz in Maschinenkonstruktionen. Es verfügt über eine Biegefestigkeit von über 1.000 N/mm², ist extrem verschleißfest, hat eine zu Guss bzw. Stahl vergleichbare Wärmeausdehnung (WAK $10,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) sowie den gleichen E-Modul wie Stahl (210 GPa). Das Material ist im Vergleich zu Aluminiumoxid-Keramiken deutlich weniger spröde und weist eine hohe Bruchzähigkeit auf. Ist also (begrenzt) auch für dynamische Belastungen einsetzbar. Darüber hinaus ist Y-TZP hoch temperaturbelastbar bis über 1.000 °C, elektrisch isolierend mit einer Durchschlagfestigkeit von über 10 kV/mm und chemisch sehr beständig, sogar gegenüber Flusssäure. Weiterhin ist Y-TZP äußerst biokompatibel.

Das hier betrachtete 3Y-TZP enthält neben Zirkonoxid zur Stabilisierung 3 Mol% Yttriumoxid. Hafniumoxid und Aluminiumoxid sind als natürliche Begleiter von Zirkonoxid ebenfalls noch in geringen Mengen (< 3%) enthalten.

2.4.2.2.1. Besondere Eigenschaften von Y-TZP

- a. Die enorme Festigkeit, bedingt durch die extreme Feinkörnigkeit und hohe Dichte des Gefüges. Erreicht wird das feinkörnige Gefüge durch die Verwendung von extrem feinem Ausgangspulver („Nanopulver“) (s. Bild 2).

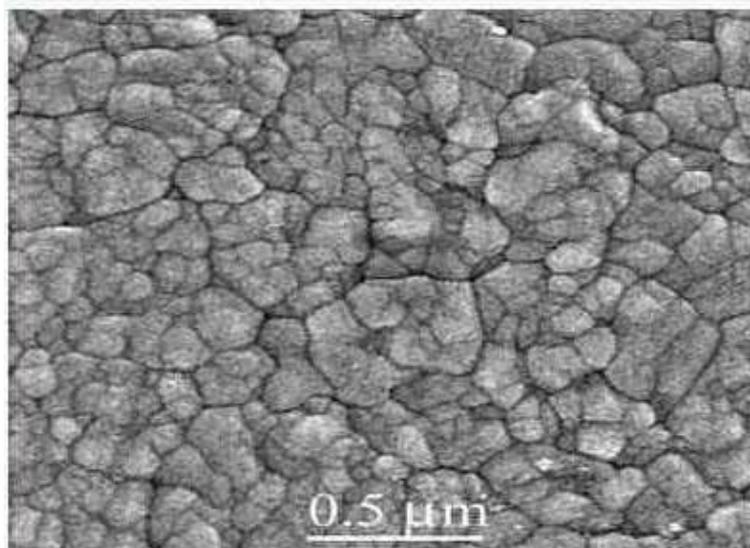


Bild 2: Gefüge von Y-TZP

Vortragsblock 1

- b. Die hohe Bruchzähigkeit, bedingt durch den besonderen Effekt der Transformationsverstärkung bei der Umwandlung der metastabilen tetragonalen Phase in die monokline Phase und der damit einhergehenden Volumenzunahme (s. Punkt 2.). Dieser Effekt, der auch Selbstheilungseffekt genannt wird, wird durch Mikrorisse ausgelöst und verschließt diese umgehend wieder (s. Bild 3).

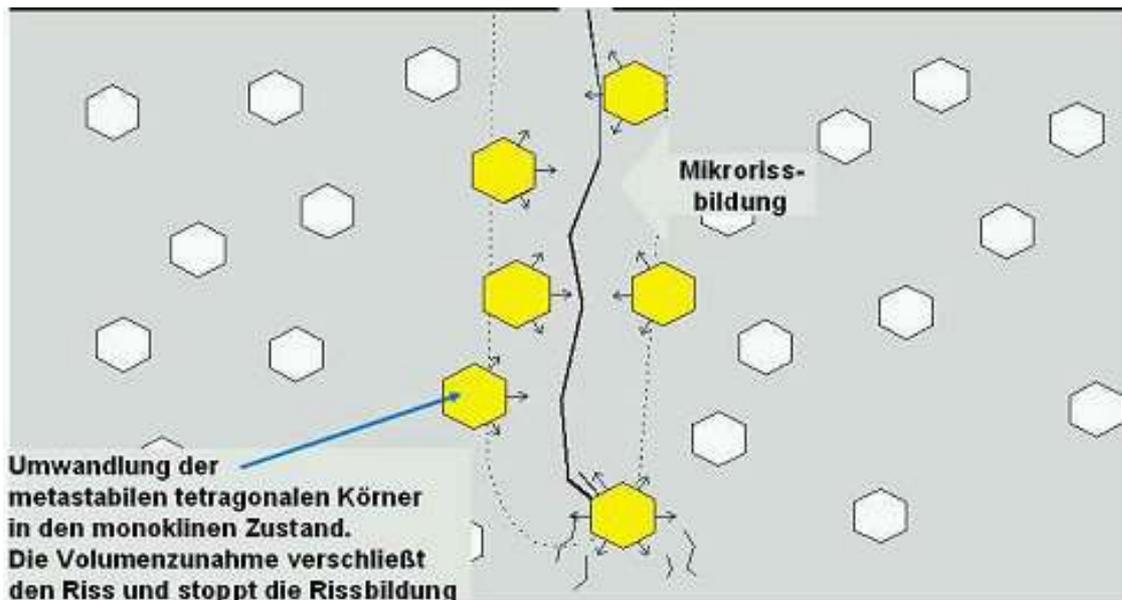


Bild 3: Gefüge von Y-TZP

Diese spezifischen Eigenschaften machen das Material höchst belastbar und verschleißfest.

2.4.2.2.2. Materialdaten von 3Y-TZP

Dichte:	6,05 g/cm ³
Biegefestigkeit: (4-Punkt Biegeversuch nach DIN-EN 843-1)	1050 N/mm ²
Druckfestigkeit:	2000 N/mm ²
Härte:	1250 (HV10)
Weibull-Modul:	>10
α-Wert:	10,5 10 ⁻⁶ K ⁻¹
E-Modul:	210 GPa
Bruchzähigkeit K _(Ic) :	7,2 MPa m ^{1/2}
Wasseraufnahme:	0%
Porosität:	< 0,1%
Durchschlagsfestigkeit:	10-12 kV/mm
Spez. Durchgangswiderstand:	2 x 10 ¹² Ohm cm
Dielektrizität:	33 (1 MHz)
Wärmeleitfähigkeit:	2,5 W/mK
Temperaturwechselbeständigkeit:	350 K/s
Hinweis: Angegebene Werte wurden nach genormten Verfahren ermittelt bzw. stellen auf Literaturangaben basierende Richtwerte dar.	

Tabelle 1: Materialdaten von 3Y-TZP

2.4.3. Bearbeitungsmöglichkeiten

2.4.3.1. Fertigungsverfahren

Das hier betrachtete Verfahren ist ein innovatives Verfahren, das seinen Ursprung in der Dentaltechnik hat. Es ermöglicht die Fertigung von einfachen und hochkomplexen Bauteilen mit einer Länge von max. 75 mm und einem Durchmesser von max. 30 mm ohne weitere mechanische Bearbeitung (Schleifprozesse) nach dem Sinterprozess.

Feinmechanische Präzision mit Toleranzen bis 0,01 mm und hohe Oberflächengüte ($R_a = 0,25 \mu\text{m}$) sind dabei gegeben. Allenfalls für Gleitflächen sind im Bedarfsfall noch Polierarbeiten durchzuführen. Durch die frästechnische Herstellung sind Gewinde und feinste Bohrungen ebenso darstellbar wie Freiflächen und geometrischer Extremitäten im Sinne von großen Wanddickenunterschieden.

Das Fertigungsverfahren ist sehr flexibel und geeignet sowohl zur Herstellung von Serienbauteilen in größeren Stückzahlen wie auch von Entwicklungsmustern, da keine Investitionen in teure Formenkosten anfallen wie sie für keramischen Spritzguss oder Pressverfahren erforderlich sind. Auf Vorversuche mittels Rapid Prototyping kann ebenfalls verzichtet werden.

Es handelt sich bei dem Verfahren um ein spanendes Verfahren. Die Präzisionsteile werden aus vorgesinterten Y-TZP Rohlingen auf Präzisions-Fräsbearbeitungszentren hergestellt. Der schematische Bearbeitungsprozess sieht folgendermaßen aus:



Bild 4: Schematischer Bearbeitungsprozess für feinmechanische Präzisionsbauteile aus Y-TZP

Die Kompetenz des Verfahrens liegt einerseits in der Materialbeherrschung, also der Kenntnis des Schrumpfungsverhaltens des Materials beim Sintern bis auf die dritte Nachkommastelle. Hierzu ist besonderes Know-how und Aufwand in der Rohlingsherstellung erforderlich.

Weiterhin erfordert die spanende Bearbeitung der vorgesinterten Rohlinge entsprechendes Werkzeug-Know-how und Maschinen-Know-how. Schließlich handelt es sich bei den zu bearbeitenden Rohlingen um Blöcke von kreideähnlicher Substanz, die ein komplettes Umdenken in der spanenden Bearbeitung im Vergleich zu anderen Werkstoffen (wie z. B. Metalle oder Kunststoffe) erfordern.

Nicht zuletzt auch der Sintervorgang, bei dem das Material um ca. 30% im Volumen schwindet, erfordert noch einmal besonderes „Fingerspitzengefühl“ um den Verzug der Bauteile auszuschließen. Wobei man den Begriff „Sinterverzug“ in Zusammenhang mit Keramik fast noch einmal neu definieren muss, wenn man von Toleranzen im Mikrometerbereich spricht.

2.4.3.2. Bauteilgestaltung

2.4.3.2.1. Gestaltungsmöglichkeiten des Verfahrens

Ein wesentlicher Vorteil dieses innovativen Bearbeitungsverfahrens liegt nicht nur in der feinmechanischen Präzision von Bauteilen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil liegt auch in den Gestaltungsmöglichkeiten und der erreichbaren Komplexität von keramischen Bauteilen in Verbindung mit sehr geringen Toleranzen (s. Bilder 5-7). Während das Pressen von keramischen Bauteilen oder der keramische Spritzguss deutliche Begrenzungen in den Formgebungsmöglichkeiten aufweisen, lassen sich mit diesem Verfahren komplexe Strukturen mit großen Wandstärkeunterschieden, feinsten Bohrungen und auch Gewinden am Bauteil realisieren. Bauteilstrukturen also, die selbst durch abrasive Nachbearbeitung gesinteter Keramik nicht darstellbar sind.

Vortragsblock 1



Bild 5: Beispiel für Komplexität;
Rippenwandstärke 0,785 mm, Fasen 45°; Gewinde M1,8;
Passungsbohrung 3 mm

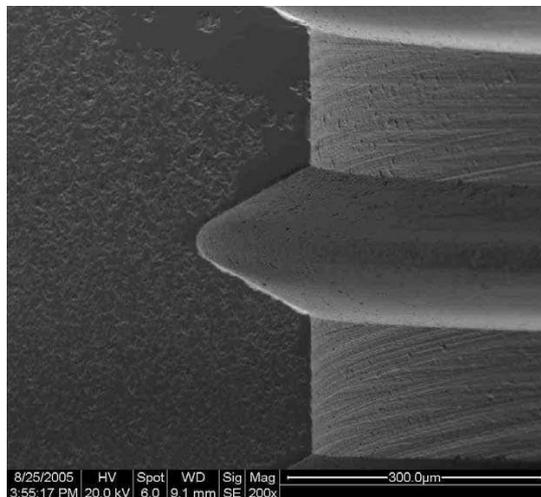


Bild 6: Beispiel für Gewinde; REM Aufnahme Gewinde M1,6 (200x)

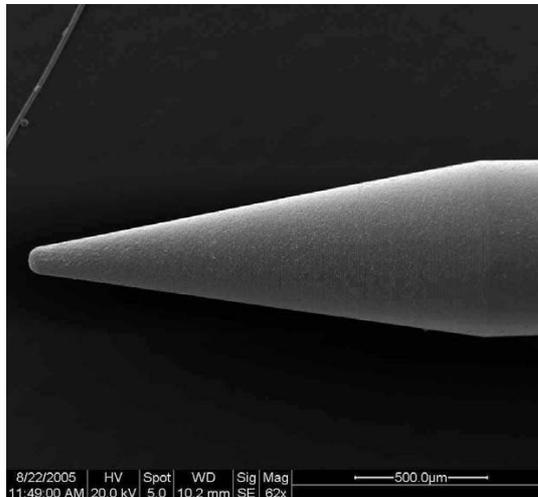


Bild 7: Beispiel für Präzision;
REM Aufnahme Nadelspitze mit definiertem Radius 0,05 mm
(Nadeldurchmesser 0,7 mm)

Allenfalls die Ultraschallbearbeitung gesinterter Keramik kann mit diesem Verfahren konkurrieren, wobei die Bearbeitungszeiten hierbei deutlich länger sind und der Komplexität in der Bauteilgestaltung deutliche Grenzen gesetzt sind.

2.4.3.2.2. Gestaltungsgrenzen des Verfahrens

Selbstverständlich hat auch dieses Verfahren seine Grenzen und kann deshalb nicht als Universalverfahren gelten, sondern stellt eine bereichernde Ergänzung neben allen anderen bestehenden Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus technischer Keramik dar.

Als derzeitige Begrenzungen können insbesondere genannt werden:

- Die Beschränkung auf das Material Zirkonoxid. Prinzipiell ließe sich das Verfahren zwar auch mit anderen keramischen Materialien kombinieren, jedoch ist momentan hierzu noch keine Entwicklung und Kommerzialisierung erfolgt.
- Die Beschränkung der Bauteilgröße auf kleine Bauteile bis max. ca. 30 mm Durchmesser und ca. 75 mm Länge. Eine Vergrößerung des Durchmesserbereiches bis auf 100 mm ist nach heutigem Stand möglich, befindet sich aber noch in der Entwicklungsphase.

Als „neuralgische Punkte“ in der Bauteilgestaltung sind weiterhin noch folgende zu erwähnen:

Vortragsblock 1

Anwender, die Bauteile mit diesem Verfahren herstellen lassen möchten, sind oft auf der Suche nach einem leistungsfähigeren Werkstoff für ein existierendes Bauteil. Dieses ist aus einem anderen, oftmals metallischem Werkstoff, hergestellt ist und weist eine für die Anwendung unbefriedigende Performance auf. Der keramische Werkstoff Zirkonoxid (Y-TZP) verspricht dann eine bessere zu erwartende Performance, zumeist handelt es sich dabei um eine Summation von Performanceverbesserungen wie z.B. höhere Verschleißfestigkeit und bessere thermische Beständigkeit in Kombination mit höherer chemischer Stabilität.

Die Gefahr liegt dann darin, dass der Anwender geneigt ist, das Bauteil 1:1 nach bestehender Zeichnung in der keramischen Ausführung umsetzen zu wollen. Auch wenn dies mit dem genannten Herstellungsprozess möglich ist und die geforderte Bauteilgeometrie und die Präzision mit dem Verfahren dargestellt werden können, so ist man doch beraten, die spezifischen Besonderheiten des keramischen Werkstoffs zu berücksichtigen und das Bauteil daraufhin zu adaptieren. Dies bezieht sich insbesondere auf die Härte und die Sprödigkeit der Keramik im Vergleich zu duktilen Werkstoffen. Eine keramikgerechte Bauteilgestaltung (Vermeidung scharfer Kantenübergänge, etc.) ist also in jedem Fall anzustreben.

Ebenso sind die Besonderheiten des keramischen Werkstoffs bei der Montagetechnik zu berücksichtigen – Presspassungen, Verschweißungen, Verklebungen, etc. lassen sich nicht (ohne weiteres) auf das keramische Bauteil übertragen.

Bei der Umsetzung eines bestehenden Bauteils aus einem nicht-keramischen Werkstoff ist auch noch das bisherige Herstellungsverfahren zu berücksichtigen. Erodierete oder im Spritzgussverfahren hergestellte Teile lassen sich oftmals nicht in der gleichen Geometrie mit einem frästechnischen Prozess abbilden.

Aus diesen Erfahrungen heraus ist es also in jedem Fall erforderlich, dass der Anwender mit dem Hersteller eng zusammen arbeitet, um ein optimiertes Bauteil aus Zirkonoxid (Y-TZP) zu erhalten, das auch die gewünschten Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit des Bauteils mit sich bringt. Diese Verbesserung der Leistungsfähigkeit kann dann bei erfolgreicher Umsetzung aber gewaltig sein.

2.4.3.3. Wirtschaftlichkeit des Verfahrens

In Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit steht auch die Wirtschaftlichkeit eines Bauteils. Fast auf natürliche Weise ist beim Anwender mit der 1:1 Transferierung nach Zeichnung eines bestehenden nicht-keramischen Bauteils der Wunsch verbunden, dies auch zu gleichen oder gar reduzierten Kosten darzustellen. In diesem Zusammenhang ist unbedingt zu berücksichtigen, dass ein keramisches Bauteil, bedingt durch die Werkstoffkosten selbst wie auch den aufwändigen Bearbeitungs- und Sinterprozess, in der Regel fast immer teurer ist als ein metallisches oder ein Kunststoffbauteil. Wenn ein keramisches Bauteil allerdings die gewünschte Performanceverbesserung erreicht, so ist für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit unbedingt die Gesamtsituation (inkl. eingesparter Montage-/Wartungskosten) zu berücksichtigen. Ein reiner Vergleich der Stückkosten kann sonst zu einer verfehlten Annahme mangelnder Wirtschaftlichkeit führen.

Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens im Vergleich zu anderen keramischen Bearbeitungsverfahren hängt übrigens deutlich von der spezifischen Bauteilgeometrie sowie von der Stückzahl ab. Tendenziell ist das Verfahren am wirtschaftlichsten im Bereich von kleinen bis mittleren Stückzahlen (5 bis 5000 Stück). Die Anwendung des Verfahrens für Massenteile im Bereich von > 100 Tsd. Stück ist unter günstigen Voraussetzungen der Bauteilgeometrie zwar auch denkbar, erfordert in jedem Fall aber eine (Teil-) Automatisierung des Prozesses.

2.4.4. Literaturhinweise

Informationszentrum Technische Keramik (IZTK);
Brevier Technische Keramik;
Fahner Verlag, Lauf, November 2003

R.W. Cahn, P. Haasen, E.J. Kramer, M. Swain;
Materials Science and Technology;
Vol. 11, Structure and Properties of Ceramics

N. Claussen, M. Rühle, A. Heuer;
Advances of Ceramics, 12;
The American Ceramics Society, Columbus, Ohio, USA
H. Schubert;

Vortragsblock 1

Korrelation zwischen Herstellung, Gefüge und Eigenschaften für
Y₂O₃-stabilisiertes, tetragonales ZrO₂;
Dissertation, Univ. Stuttgart

Fraunhofer Institut Verbund Hochleistungskeramik
AdvanCer Newsletter

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 17) finden sich auf den
folgenden Seiten.



**Kleine, komplexe
Präzisionsbauteile aus
Zirkonoxid für
technische
Applikationen**

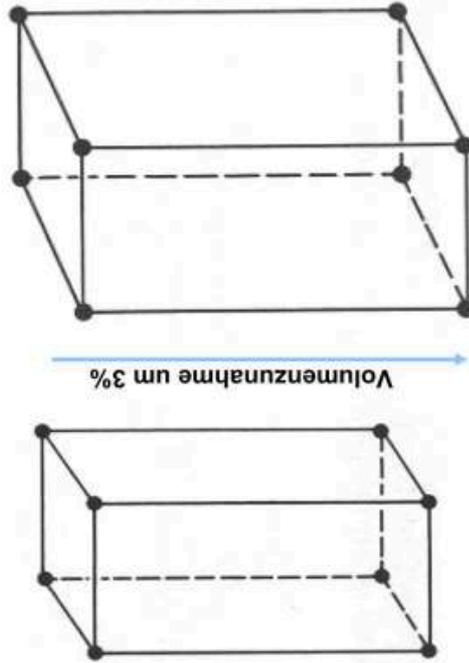
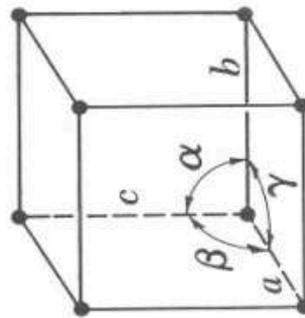
Markus Bappert
DeguDent GmbH
Hanau - Wolfgang

Der Werkstoff Zirkonoxid



Polymorphie von ZrO_2 : beim Umklappen der tetragonalen in die monokline Struktur nimmt das Volumen um 3% zu. Deshalb stabilisiert man die tetragonale Phase mit Yttrium -> Y-TZP = Yttrium Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals

Schmelze \rightleftharpoons kubisch $\xrightarrow{2.370^\circ C}$ tetragonal $\xrightarrow{1.170^\circ C}$ monoklin



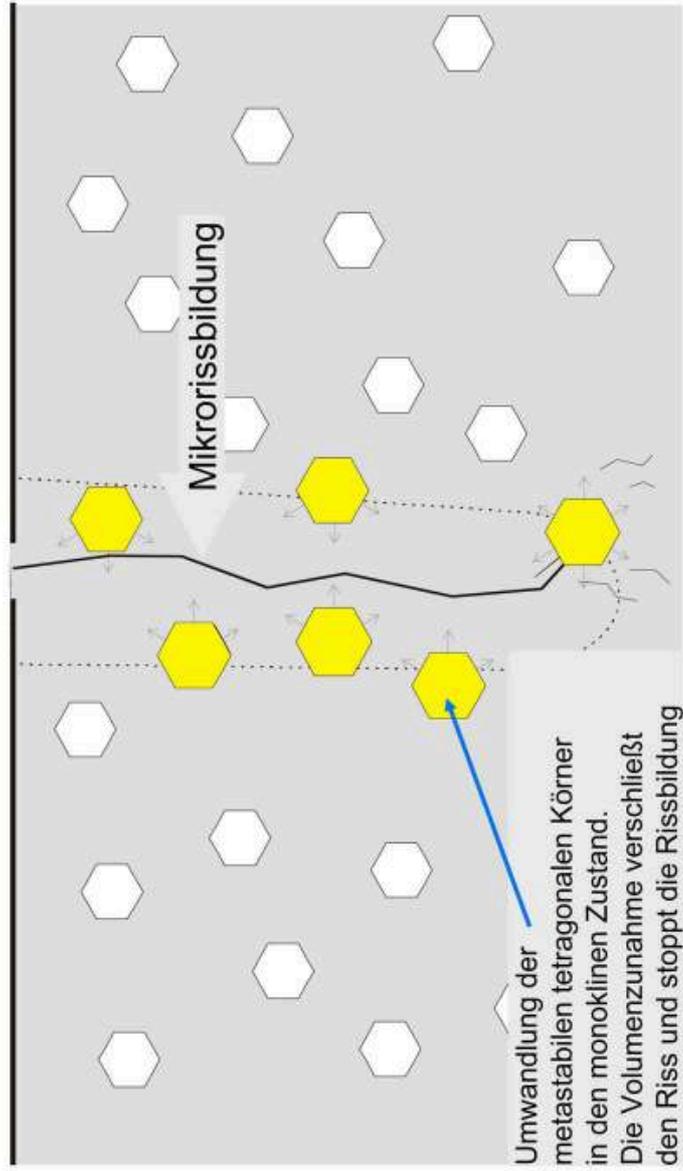
Ceramic Steel?

R. C. Garvie et al., Nature 258 (1975) p. 55

Umwandlungsverstärkung



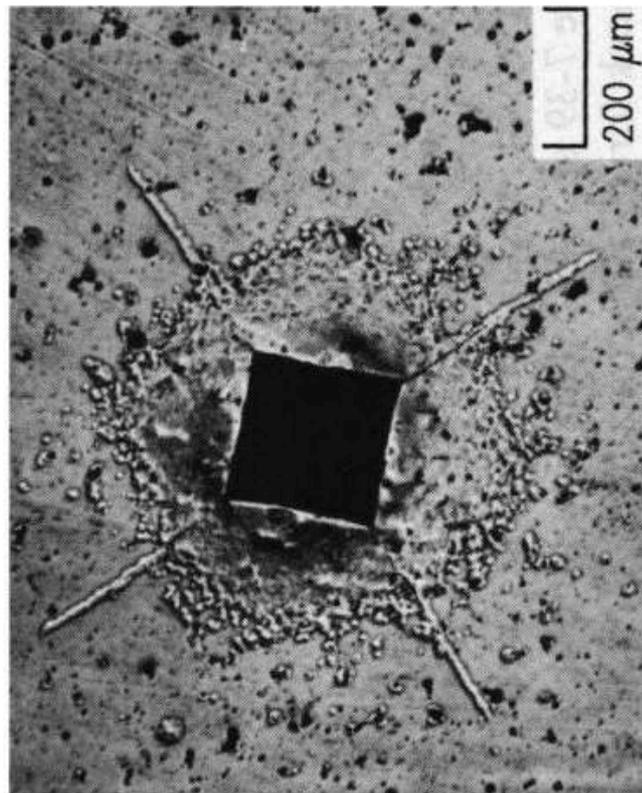
Die Umwandlung der metastabilen tetragonalen Phase bewirkt den besonderen Effekt der Transformationsverstärkung. Dies charakterisiert die außergewöhnliche Zähigkeit dieser Keramik.



Selbtheilungseffekt



Beobachtung des Selbstheilungseffekts durch Transformationsverstärkung nach einer Vickers Härtemessung von tetragonalem Zirkonoxid



Werkstoffdaten im Vergleich

Materialwerte im Vergleich zeigen: Zirkonoxid ist als technische Keramik ideal einsetzbar in der Kombination mit Stahl bzw. Guß

Mechanische Eigenschaften (*Literaturwerte)	Zirkonoxid (Y-TZP)	Aluminiumoxid*	Borcarbid*	Stahl*	Guss*	Hartmetall*
	Wert	Wert	Wert	Wert	Wert	Wert
Dichte	6,05	3,95	2,5	7,85	7,3	15
Biegefestigkeit	1050	350 - 560	400	300 - 450	95 - 170	
Zugfestigkeit	650	350				
Druckfestigkeit	2000	4000 - 5000				
Härte	1250	1700 - 2400	3000 - 4000			ca. 1500
α -Wert	10,5	7,8	6	12	11	6
Elastizitätsmodul	210	380 - 420	390 - 440	200 - 210	70 - 130	300
Bruchzähigkeit K_{Ic}	7,2	4			140	

Eigenschaften und Applikationen



Die Hochleistungskeramik ZrO_2 wird aufgrund dieser hervorragenden Eigenschaften bereits in vielen technischen und medizintechnischen Bereichen eingesetzt.

Materialeigenschaften:

- höchste Biegebruch- und Zugfestigkeit
- hohe Bruchzähigkeit
- hohe Verschleißfestigkeit
- hohe Wärmeisolation
- Wärmedehnung ähnlich Gußeisen
- E-Modul ähnlich Stahl
- Sauerstoffionenleitfähigkeit
- sehr gute tribologische Eigenschaften (sehr gut für Gleitpaarungen geeignet)
- thermisch hoch belastbar
- hohe chemische Beständigkeit
- sehr gute Biokompatibilität

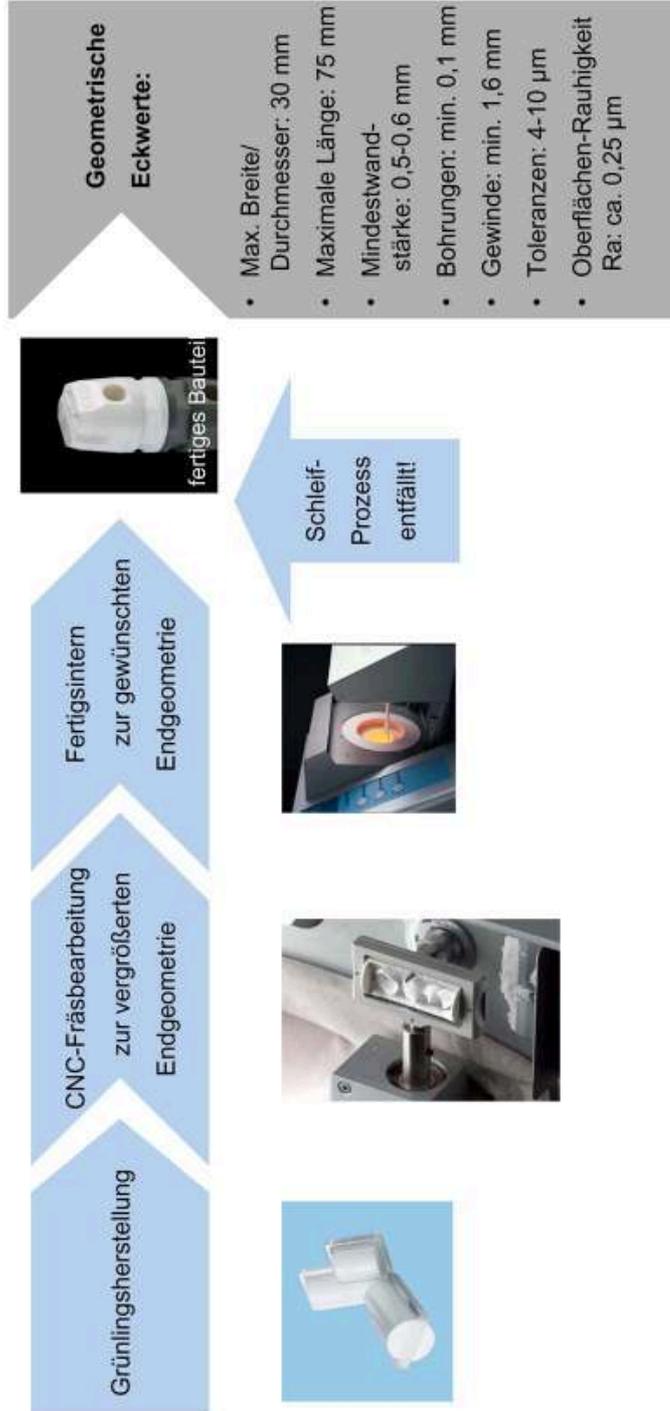
Heute typische Applikationen:

- Verschleißteile (Maschinenbau)
- Schneidkeramiken (Textilindustrie, Papierindustrie, Chirurgie)
- Hüftgelenksprothesen (Medizintechnik)
- Lambdasonden (Kraftfahrzeugtechnik)
- Sauerstoffelektroden (Prozesseleittechnik)
- Elektrolyt in der Festbrennstoffzelle (SOFC)
- Optical interconnects (Telekommunikation)

Das Herstellungsverfahren



Das Herstellungsverfahren zeichnet sich durch Flexibilität, Wirtschaftlichkeit und Schnelligkeit aus. Die Begrenzung liegt fast ausschließlich in der Bauteilgröße.



Flexibilität von Verfahren



Die größte Limitation für technische Keramiken liegt in der Flexibilität der Herstellung, die vom Maschinenpark abhängt. Mit speziellen Verfahren können komplexeste Bauteile problemlos hergestellt werden.

	„Flexibles“ Verfahren	Keramisches Pressverfahren	Keramischer Spritzguss
Gesamtgröße	klein	groß	klein bis mittel
Wandstärke	flexibel	groß	klein
Genauigkeit	sehr gut	mittel	mittel - hoch
Bauteilgestaltung	komplex	einfach	einfach
Gewinde	möglich	nicht möglich	nicht möglich
Formen benötigt	nein	ja	ja
Produktionsprozess	flexibel	unflexibel	unflexibel
Stückzahl	5 - 5.000	> 100	> 1000

▶ **Damit eröffnen sich für technische Bauteile aus Zirkonoxid nahezu die gleichen Gestaltungsmöglichkeiten wie für Metall und Kunststoff.**

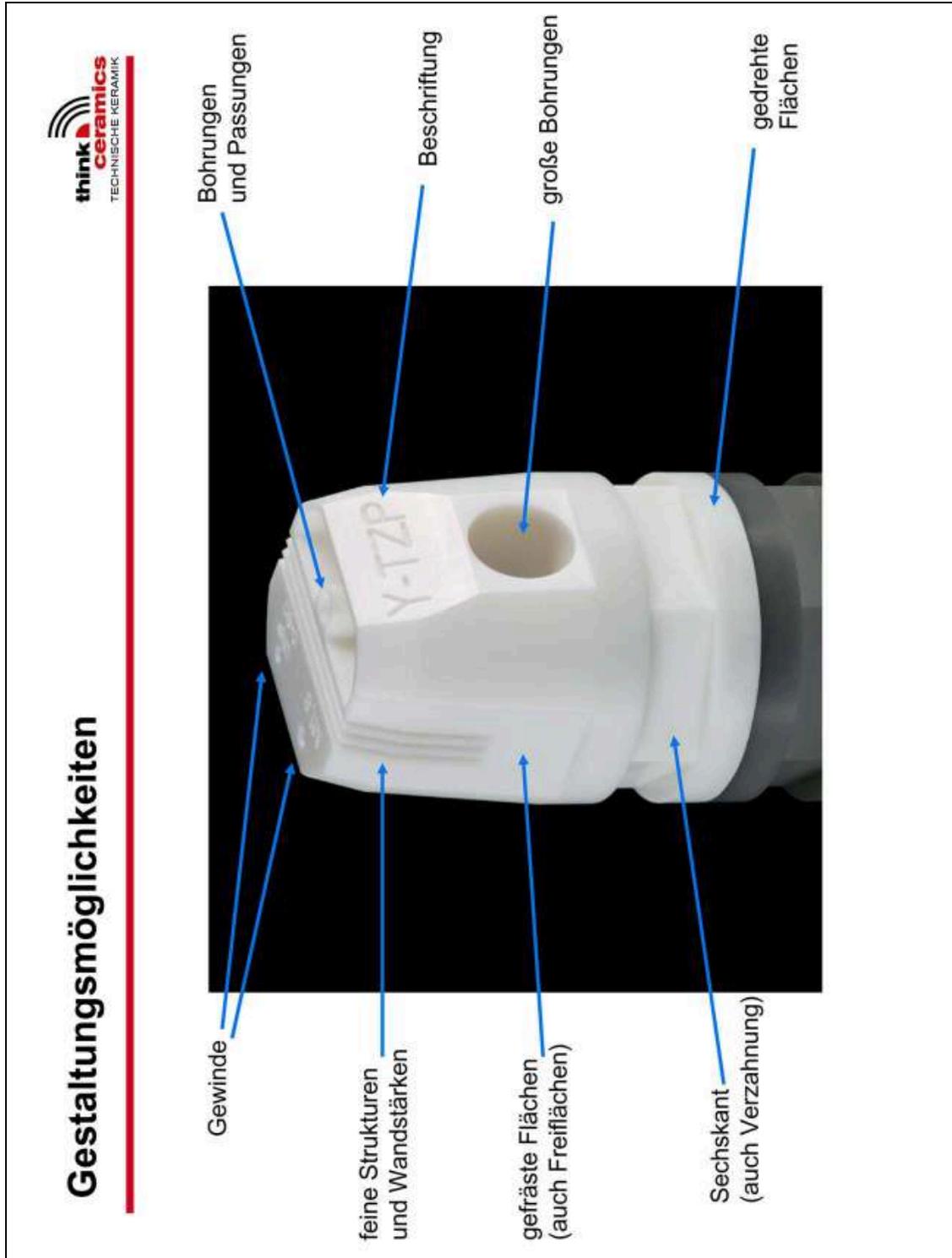
Toleranzen

Präzision lässt sich bei Keramik oft nur durch Hartbearbeitung realisieren.
In dem hier vorgestellten Verfahren ist die Präzision „inklusive“.

typische Toleranzen	Referenzgröße	ungeschliffen			geschliffen			Spezial
		wie gesintert	ökonomisch	typisch	Feinstbearbeitung	wie gesintert		
äußerer Durchmesser	< 25 mm	+/- 300 µm	+/- 250 µm	+/- 125 µm	+/- 10 µm	10 µm		
Bohrung innerer Durchmesser	< 25 mm	+/- 300 µm	+/- 250 µm	+/- 125 µm	+/- 10 µm	10 µm		
Oberflächengüte	Ra	32 - 125	64	44	8	0,25 µm		
Radius	< 25 mm	+/- 500 µm	+/- 375 µm	+/- 250 µm	+/- 125 µm	10 µm		
Gewinde		Gewinde nicht möglich						>1,6 mm



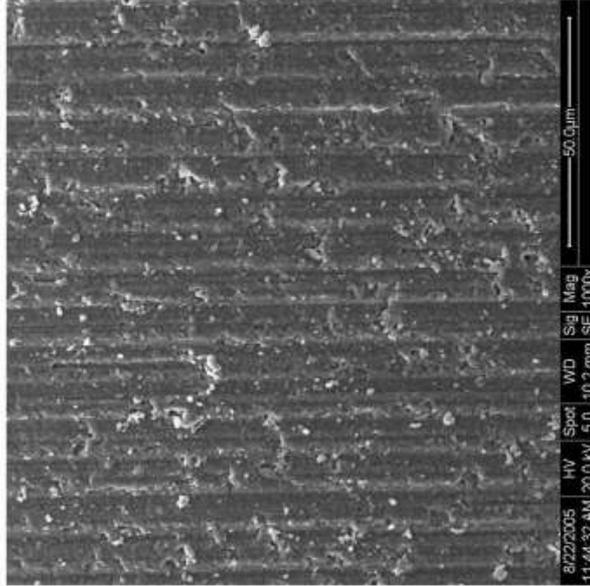
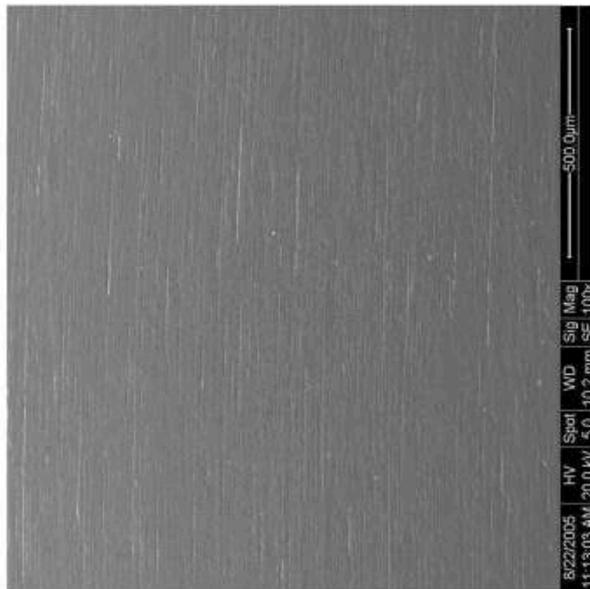
Damit eröffnen sich für technische Bauteile aus Zirkonoxid nahezu die gleiche feinmechanische Präzision wie sie für Metall und Kunststoff möglich ist.



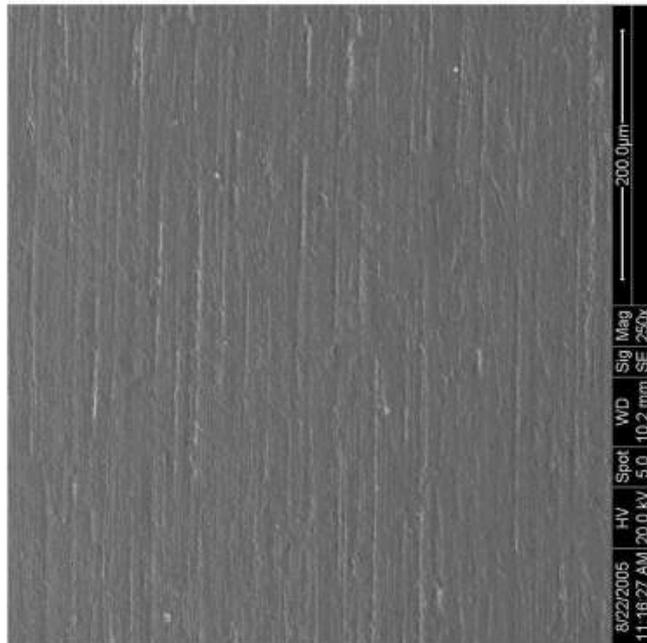
2.4 Präzisionsbauteile - Folie 10

Oberflächengüte

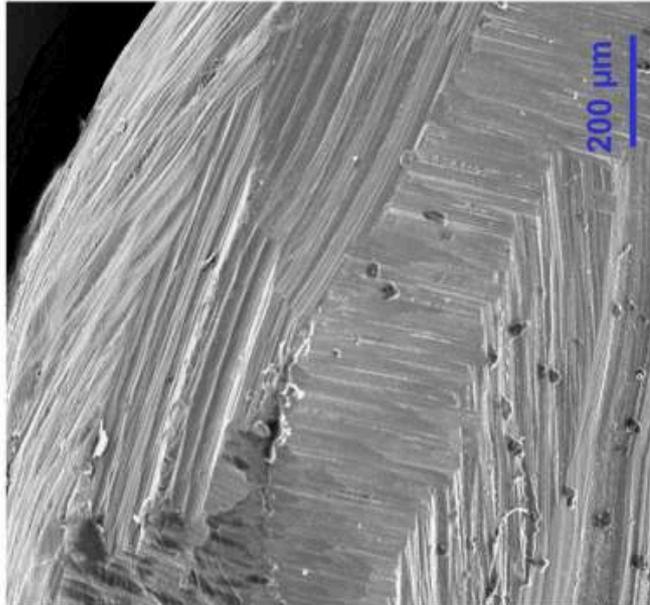
Oberflächengüte: R_a ca. 0,25 μm



Oberflächenqualität durch Hartbearbeitung



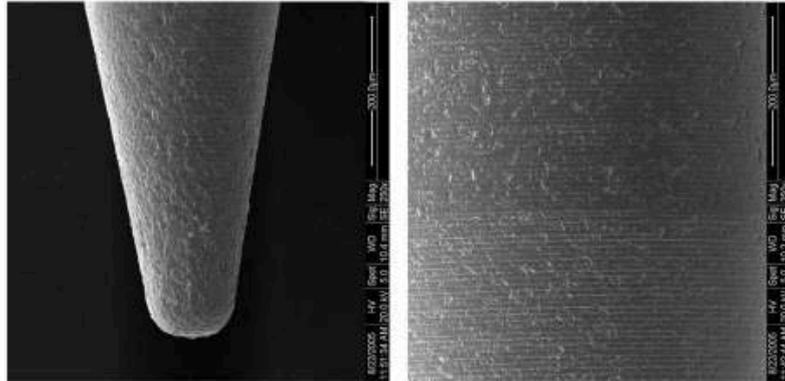
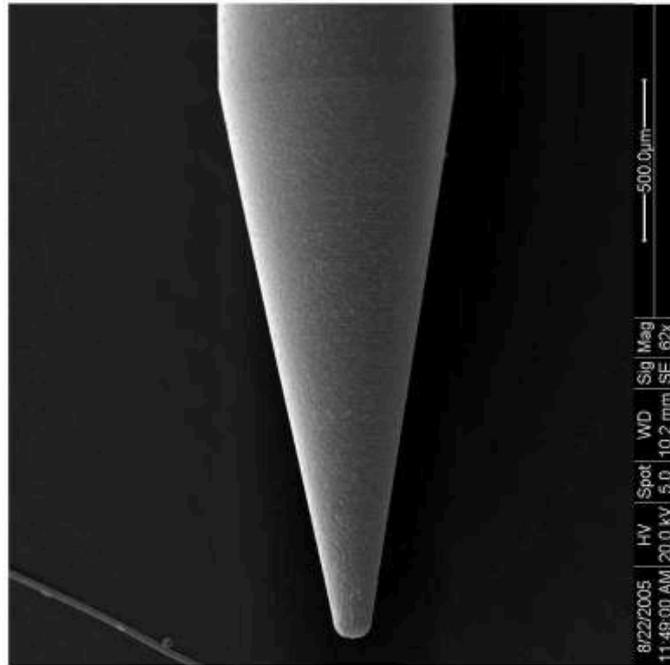
Fräsen von vorgesintertem Zirkonoxid



Fräsen von gesintertem Zirkonoxid

Nadel

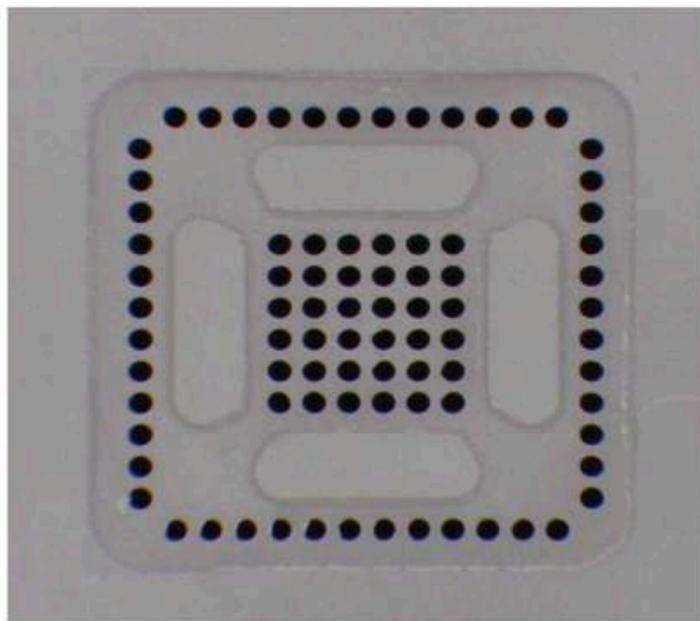
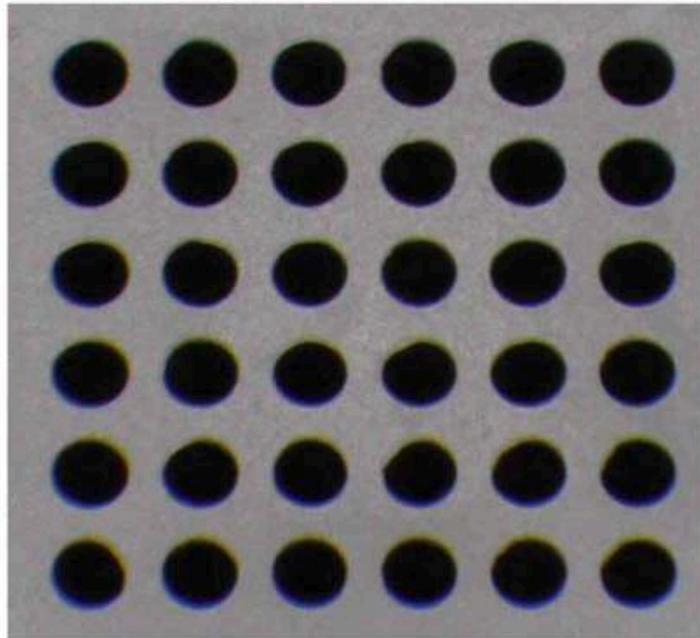
Beispiel für Präzision: Nadel 0,7 mm,
Nadelspitze mit Radius 0,05 mm





Bohrungen

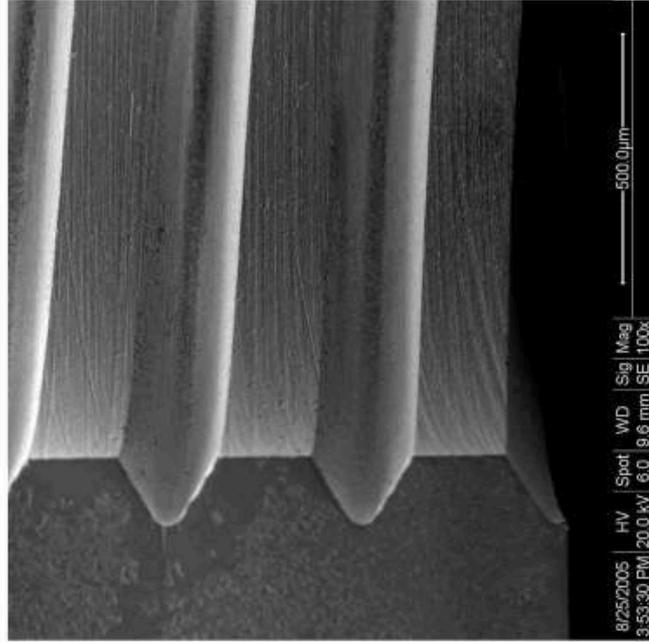
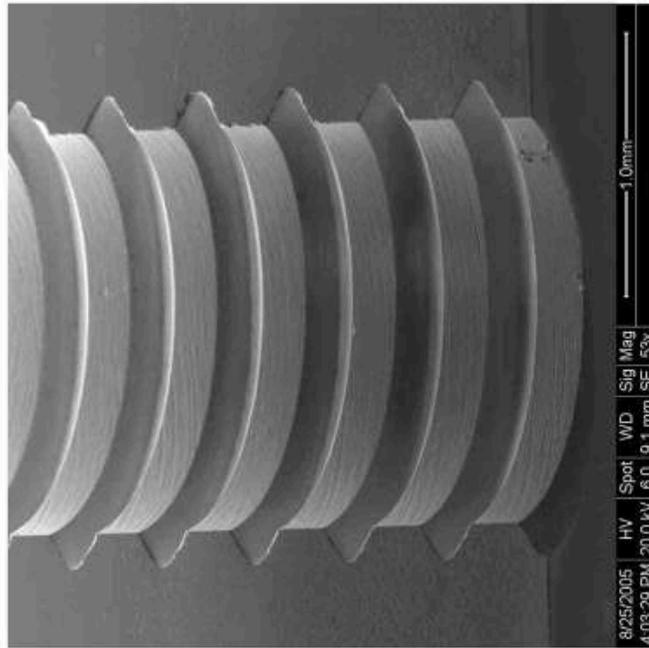
Beispiel für Präzision: Bohrungen 0,35 mm

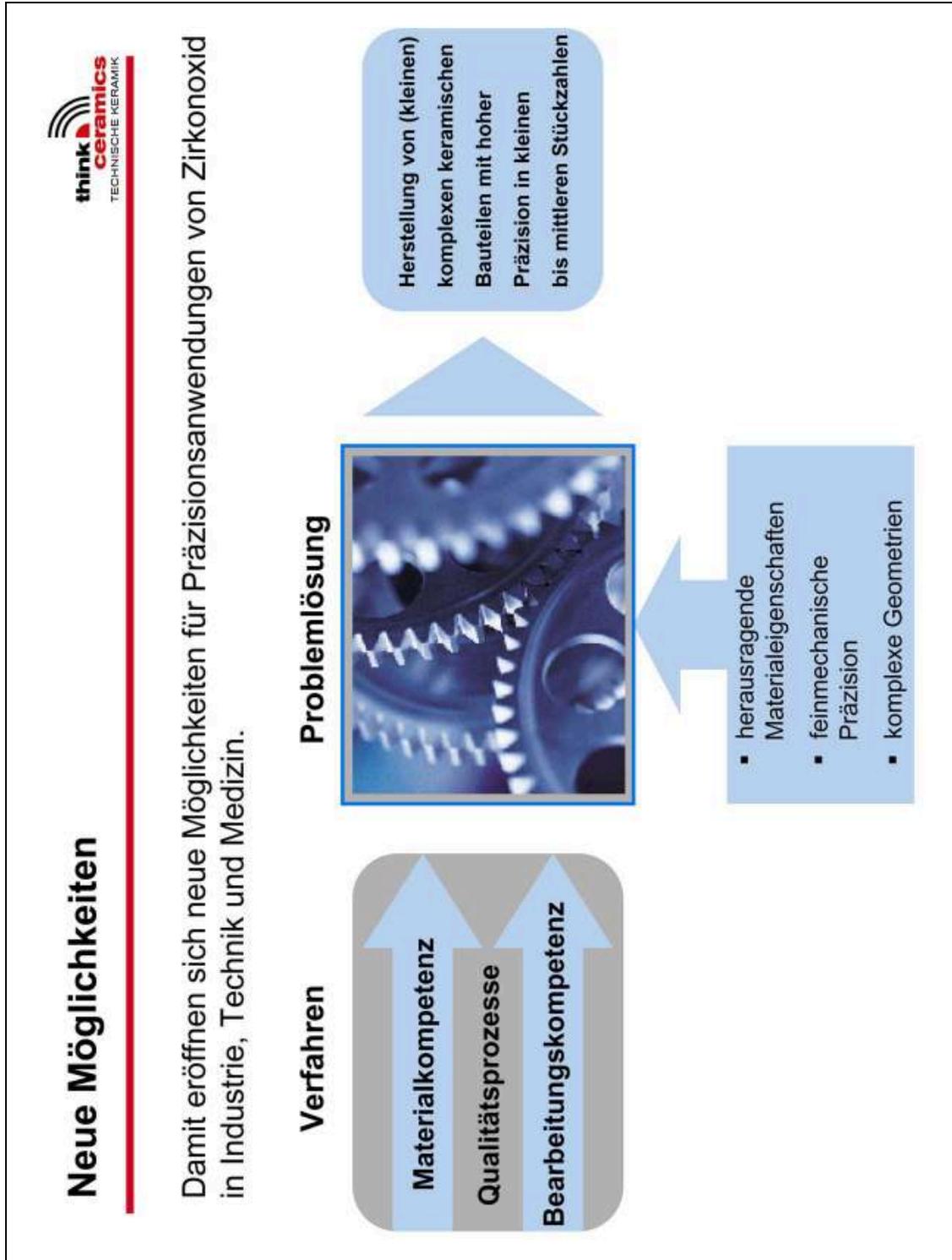


Innengewinde



Beispiel für Präzision: Innengewinde M 1,6





2.4 Präzisionsbauteile - Folie 16

Zusammenfassung

- Zirkonoxid (Y-TZP) als ausgezeichnete Materialgrundlage mit hervorragenden und bewährten Eigenschaften
- Flexible Bearbeitungsmöglichkeiten für komplexe Geometrien
- Feinmechanische Präzision mit hoher Oberflächengüte
- Wirtschaftlicher Herstellungsprozess ohne Nachbearbeitung (sofern keine Politur notwendig)
- zuverlässige Lieferanten mit kompetenter technischer Beratung und Qualitätsprozessen