

### 2.2 Was bringt Keramik in Form – Die keramische Prozesskette

- Dr. Stephan Ahne,  
Dr. Ilka Lenke  
Carmen Hesch  
CeramTec AG  
Plochingen

*Die Folien finden Sie ab Seite 76.*

#### 2.2.1. Einleitung: Vielfalt der Keramik

Keramik kann ihre Stärken in sehr vielfältiger Weise zeigen. Bei mechanisch beanspruchten Bauteilen besitzt sie hohe Härte und Verschleißbeständigkeit und erreicht sehr hohe Festigkeitswerte.

Als thermisch belastetes Bauteil verträgt sie hohe Temperaturen und besitzt eine gute Temperaturwechselbeständigkeit. Je nach Sorte kann sie als Wärmeleiter oder -isolator eingesetzt werden.

Bei chemisch/biologischen Anwendungen wird ihre gute Korrosionsbeständigkeit und Bioinertheit genutzt, bei manchen Sorten aber auch die gute Biokompatibilität bis hin zu katalytischen Effekten.

Keramik ist in der Regel ein sehr guter Isolator mit einem hohen elektrischen Widerstand und wird deshalb für besonders durchschlagfeste Bauteile verwendet. Je nach Sorte sind aber auch halbleitende Eigenschaften bis hin zum keramischen Hochtemperatursupraleiter möglich.

Elektromechanisch ermöglichen Keramiken den Piezoeffekt und elektrochemische Besonderheiten sind z. B. die Ionenleitfähigkeit einiger Keramiken.

#### 2.2.2. Die gemeinsame keramische Prozesskette

Trotz dieser Vielfalt kann die Herstellung aller Keramiken in einer typischen Prozesskette zusammengefasst werden. Ein wesentlicher

Unterschied im Vergleich zu Metallen ist, dass der keramische Werkstoff erst nach der Formgebung entsteht, während er bei Metallen bereits vor der Formgebung vorliegt.

In der keramischen Prozesskette werden zunächst die Rohstoffe aufbereitet. Dabei werden alle Komponenten u. a. gemahlen, homogen gemischt und je nach Technologie plastifiziert oder granuliert.

Anschließend werden beim sogenannten „Urformen“ die aufbereiteten Rohstoffe in die gewünschte Bauteilform überführt. Dies findet z. B. über Extrudieren, Spritzgießen, Gießen oder Pressen statt.

Nach diesem Prozessschritt kann die Keramik noch problemlos bearbeitet werden. Dies gilt sowohl für den ungesinterten Zustand, als auch für den „leicht angesinterten“ Zustand (Weißbrand). Man nutzt dies bei der sogenannten „Grünbearbeitung“ (ungesinteter Zustand) und bei der „Weißbearbeitung“ (leicht angesinterte Keramik). Verfahren sind hier u. a. Fräsen, Drehen, Bohren und Sägen.

Anschließend folgt der Reaktions- und Sinterbrand. Dabei vereinigen sich die einzelnen Keramikpartikel im Bauteil zu einem festen Verbund. Die Folge ist ein sogenannter „Sinterschwund“, d.h. das Bauteil schrumpft.

Wenn vom Keramikbauteil engere Toleranzen gefordert werden, als beim Sinterprozess einstellbar sind, oder besondere Oberflächenqualitäten notwendig sind, dann folgt in einem letzten Schritt die sogenannte Endbearbeitung. Hierzu werden die Bauteile zuvor mit einem geringen Aufmass versehen und nach dem Sintern bei der sogenannten „Endbearbeitung“ exakt auf Maß geschliffen, geläppt oder poliert. Dieser Prozessschritt ist besonders aufwendig und teuer, weil die fertige Keramik nach dem Sintern sehr hart ist und oft nur noch mit Diamantwerkzeugen bearbeitet werden kann.

### **2.2.3. Einfluss der Prozessbeteiligten auf die Leistungsfähigkeit der Keramik**

Wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Keramik haben der Rohstoffaufbereiter, der Keramikhersteller und der Kunde selbst.

Die Basis für eine hohe Leistungsfähigkeit der Keramik wird bereits beim Rohstoffaufbereiter gelegt. Dieser ist in vielen Fällen auch der Keramikhersteller selbst.

Hohe Reinheit, vor allem die Vermeidung von Verunreinigungen, ist bei der Rohstoffaufbereitung besonders wichtig. Grund ist die fehlende Plastizität der Keramik im gesinterten Zustand. Verunreinigungen führen zu Spannungsspitzen in der Keramik, die im Unterschied zu Metallen nicht durch plastische Verformung reduziert werden können, und deshalb oft die Bruchursache darstellen.

Ein weiterer Schwerpunkt beim Rohstoffaufbereiter ist die homogene Aufbereitung. So können z. B. nicht ausreichend verteilte Sinteradditive zu ungleichmäßigem Kornwachstum führen, was wiederum die Eigenschaften der Keramik verschlechtert.

Auch bei der Formgebung muss der aufbereitete Rohstoff seine Homogenität bewahren. Ansonsten führen Inhomogenitäten nach der Formgebung zu Verzug im Bauteil bzw. im Extremfall sogar zu Rissen.

Ähnlich wie bei Stahl, der in sehr verschiedenen Varianten erhältlich ist, ist auch „Keramik nicht gleich Keramik“. So haben z. B. Aluminiumoxidkeramiken unterschiedliche Reinheit, Korngröße und Dichte und ergeben je nach Sorte eine optimale Anwendung entweder unter Kostengesichtspunkten, dem Festigkeitsniveau oder der Härte. Der Keramikhersteller sollte deshalb in die Materialauswahl des Kunden mit einbezogen werden und kann dann je nach Anforderungsprofil die für die Anwendung optimale Werkstoffvariante vorschlagen.

Auch das optimale Formgebungsverfahren kann der Keramikhersteller in Abhängigkeit von Stückzahl, Kosten und Qualitätsanforderungen am besten festlegen.

Der Kunde kann vor allem durch keramikgerechtes Design zur Leistungsfähigkeit der Keramik beitragen. Bei der Konstruktion der Bauteile sollten Spannungsspitzen minimiert werden und Druckspannungen bevorzugt werden. Radien sind besser als scharfe Kanten. Plötzliche Querschnittsänderungen und zu enge Lochabstände sollten vermieden werden. Die Auflageflächen sollten groß sein und für die aufwändige Nacharbeit sollten so wenig wie möglich Flächen vorgesehen sein. Grundsätzlich sollten einfache Formen bevorzugt werden bzw. bei komplizierteren Formen Modulbauweisen zur Anwendung kommen.

#### **2.2.4. Zusammenfassung**

Jeder Beteiligte der keramischen Prozesskette, d. h. Rohstofflieferant, Keramikhersteller und Kunde, kann seinen Beitrag dazu liefern, die Keramik „in Form“ zu bringen. Dann können bei noch mehr Anwendungen die vielfältigen Vorteile der Keramik genutzt werden.

Ein Erfolgsbeispiel für so eine „in Form gebrachte Keramik“ ist die Aluminiumoxidkeramik „BioloX Delta“. Sie widersteht im menschlichen Körper als Hüftgelenksprothese höchsten Belastungen über Jahrzehnte hinweg und dies auch noch mit äußerst hoher Zuverlässigkeit.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 36) finden sich auf den folgenden Seiten.

# Was bringt die Keramik in Form?

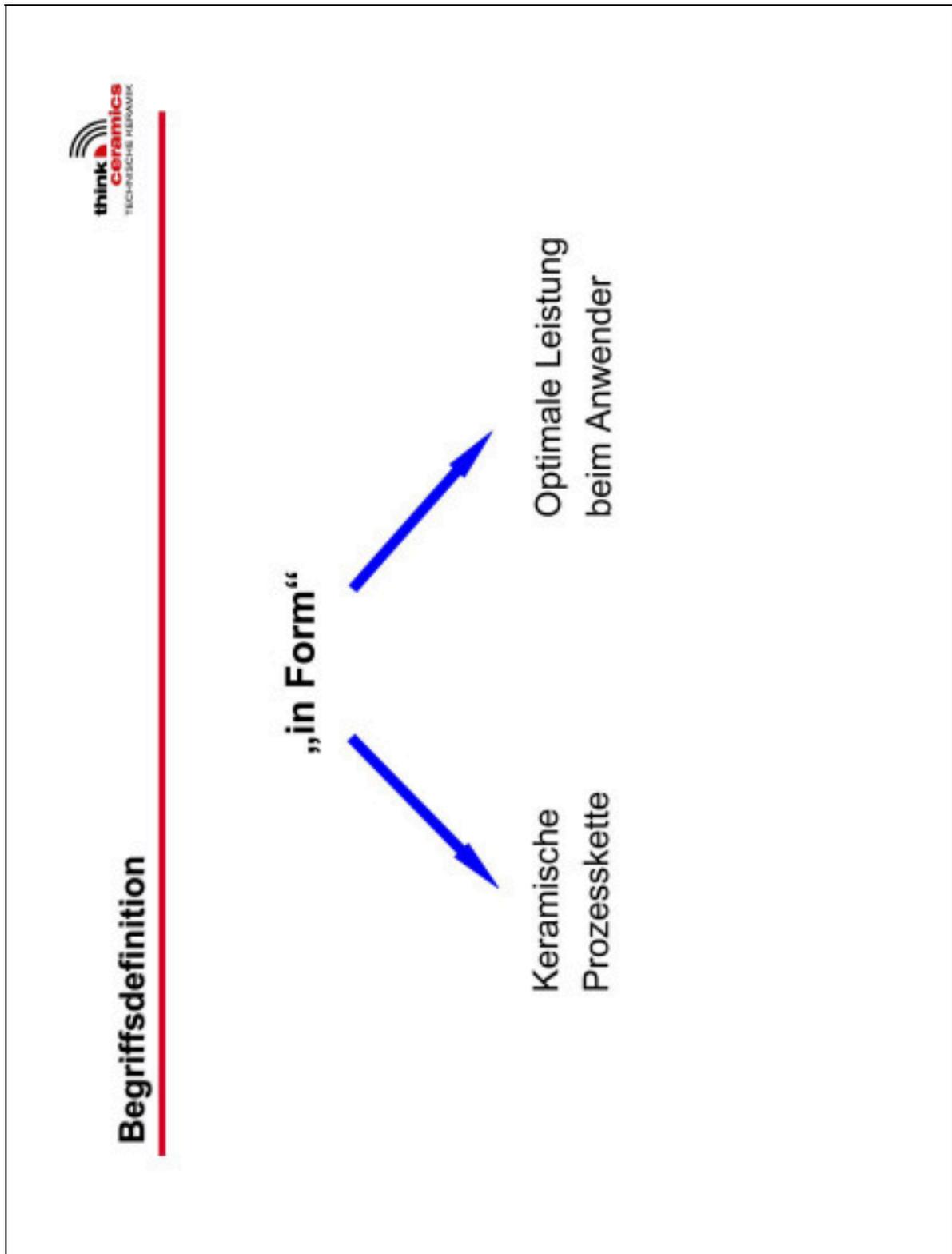


Dr. Stephan Ahne,  
Carmen Hesch,  
Dr. Ilka Lenke

CeramTec AG



2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 1



2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 2



## Inhalt

---

1. Einleitung
2. Die keramische Prozesskette
3. Einfluss des
  - Rohstoffaufbereiters
  - Keramikherstellers
  - Kundenauf die Leistungsfähigkeit der Keramik
4. Zusammenfassung

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 3

---

# 1. Einleitung: Vielfalt der Keramik

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 4



## **Vielfalt der Keramik**

<b>Mechanisch:</b>	<b>Festigkeit, Härte, Verschleißbeständigkeit,...</b>
<b>Thermisch:</b>	<b>Wärmeleiter/isolator, Thermoschockverhalten, Temperaturfestigkeit /- wechselbeständigkeit,...</b>
<b>Chemisch / biologisch:</b>	<b>Korrosionsbeständigkeit, katalytische Effekte, Biokompatibilität, Inertheit,....</b>
<b>Elektrisch:</b>	<b>Durchschlagfestigkeit, elektrischer Widerstand, Halbleitereigenschaften,...</b>
<b>Elektromechanisch:</b>	<b>Piezoeffekt,...</b>
<b>Elektrochemisch:</b>	<b>Ionenleitfähigkeit,...</b>

Quelle: VKI-Seminar 2004

## 2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 5

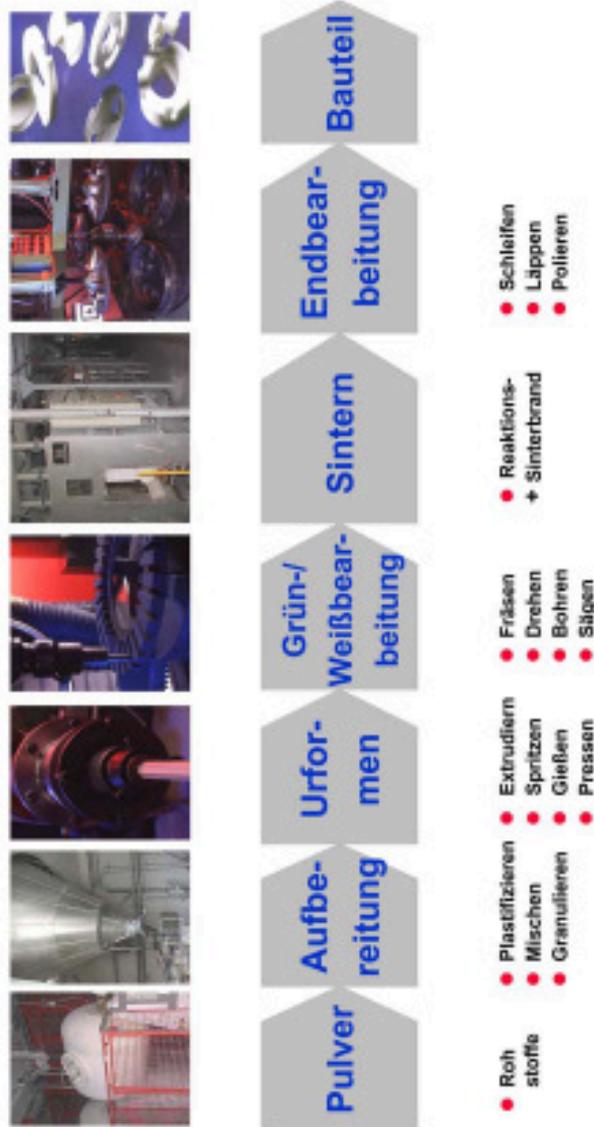
## 2. Die gemeinsame keramische Prozesskette

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 6



## Keramische Prozesskette

- vom Pulver bis zum Bauteil -



Quelle: VKI-Seminar 2004

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 7

### **3. Einfluss der Prozessbeteiligten auf die Leistungsfähigkeit der Keramik**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 8



## **Einfluss des Rohstoffaufbereiteters**

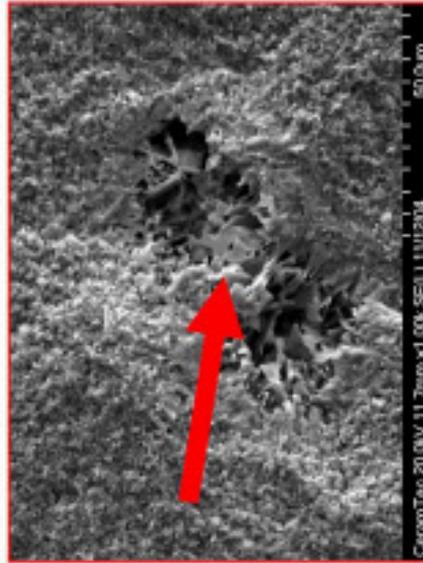
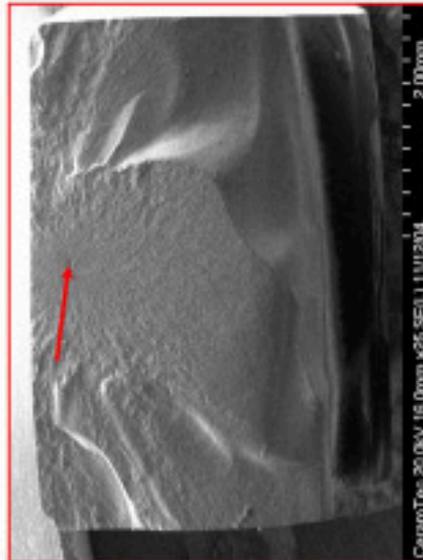
### **1. Verunreinigungen verhindern!**

**Warum?**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 9

## Einfluss des Rohstoffaufbereiteters

Verunreinigungen und Poren sind bruchauslösend!



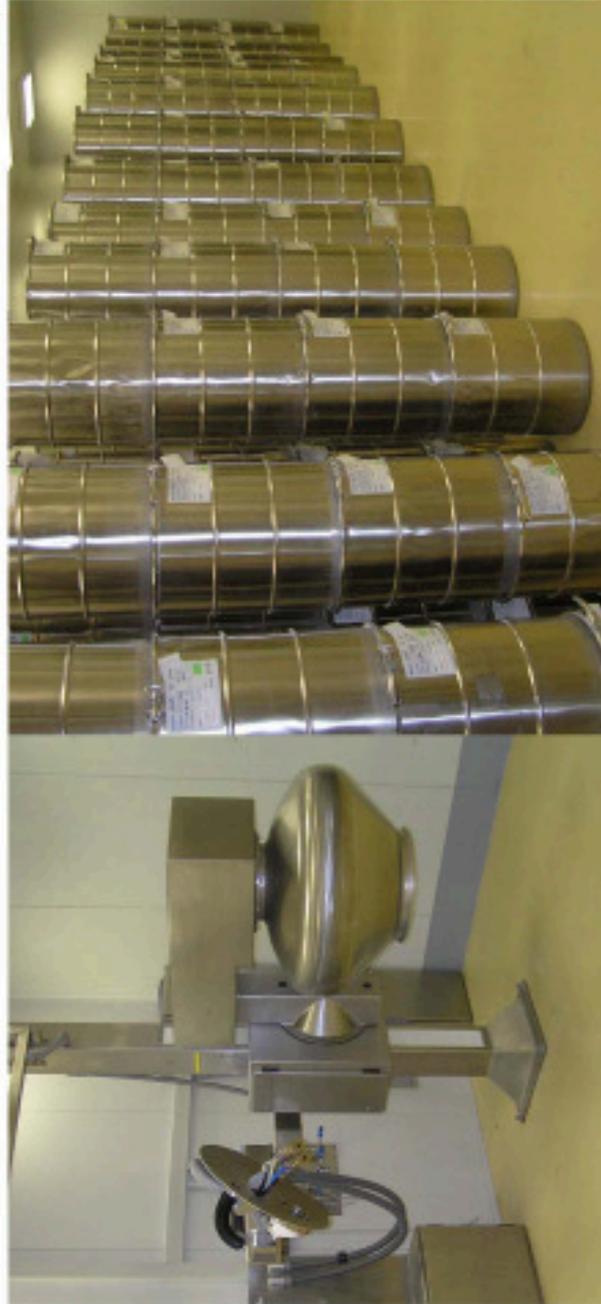
→ Festigkeit ↓, Zuverlässigkeit ↓

**CeramTec**

**Einfluss des Rohstoffaufbereiteters**



Hohe Reinheit v.a. bei der Masseaufbereitung!



2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 11

## **Einfluss des Rohstoffaufbereiteters**

---

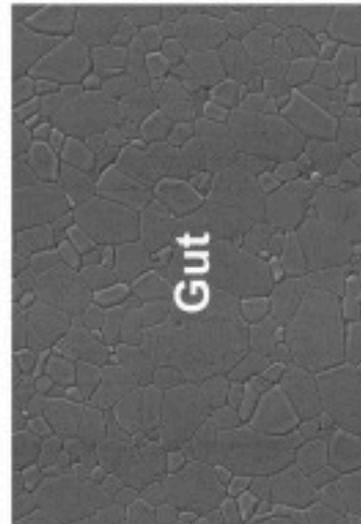
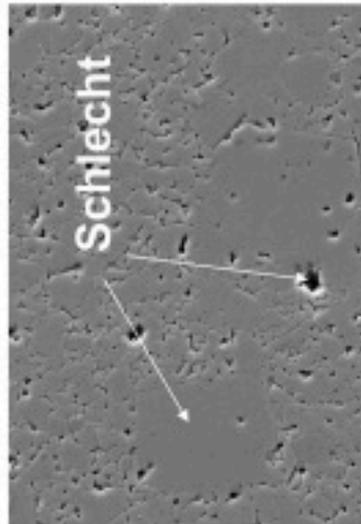
### **2. Homogenität hinsichtlich**

- **Chemischer Zusammensetzung**
- **Partikelgröße**
- **Packungsdichte**
- **Verteilung der Bestandteile**

**sicherstellen!**

**Warum?**

**Einfluss des Rohstoffaufbereiteters**

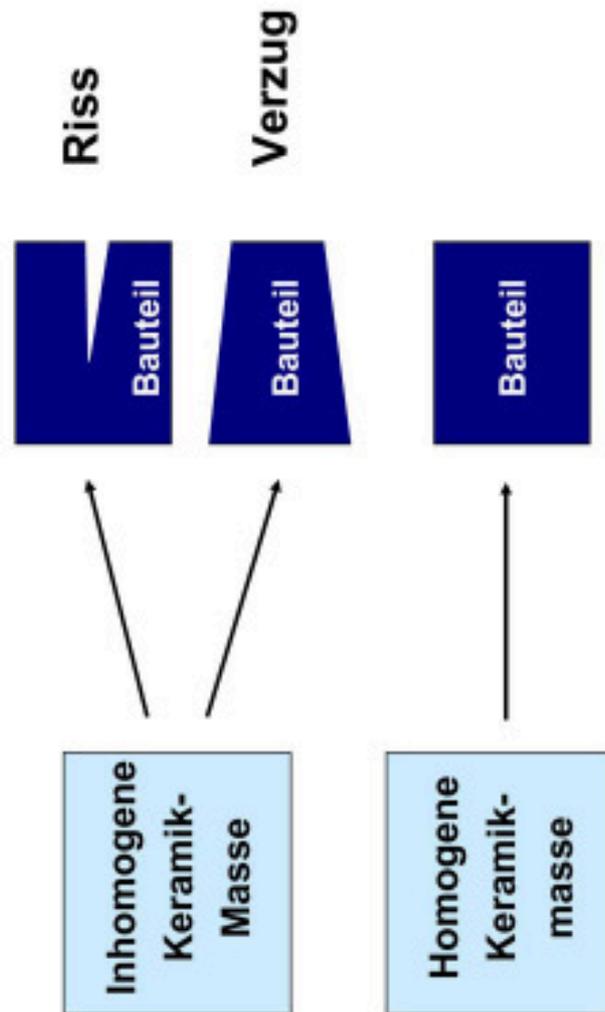


**Voraussetzung für  
homogenes Gefüge  
im Bauteil**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 13

## Einfluss des Rohstoffaufbereiteters

### Voraussetzung für verzugs- und rissfreies Bauteil





## **Einfluss des Rohstoffaufbereiteters**



**Sehr große Homogenität bereits in der  
Masseaufbereitung sicherstellen!**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 15

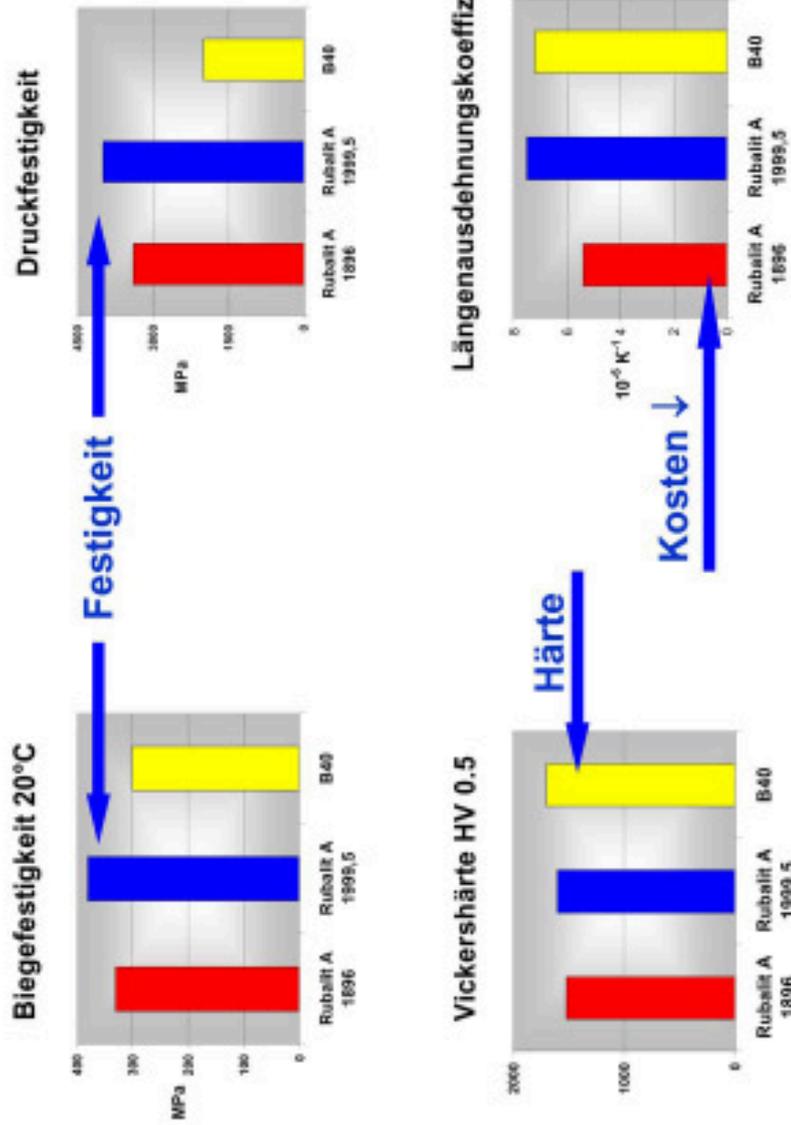
## **Einfluss des Keramikherstellers**

---

**3. Die richtige Werkstoffvariante für die geplante  
Anwendung aussuchen**

**Warum?**

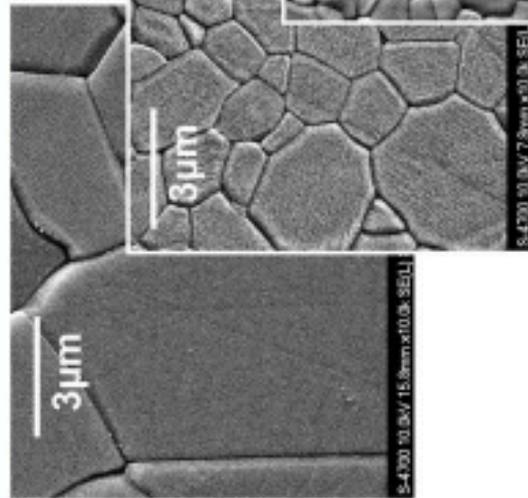
## Einfluss des Keramikherstellers



Quelle: „Technische Keramik in der Praxis“, VKO 2006

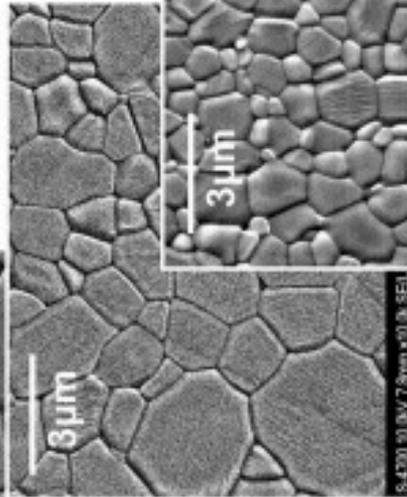
## 2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 17

## Einfluss des Keramikherstellers

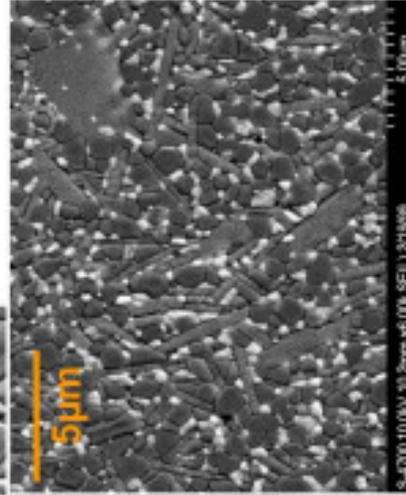
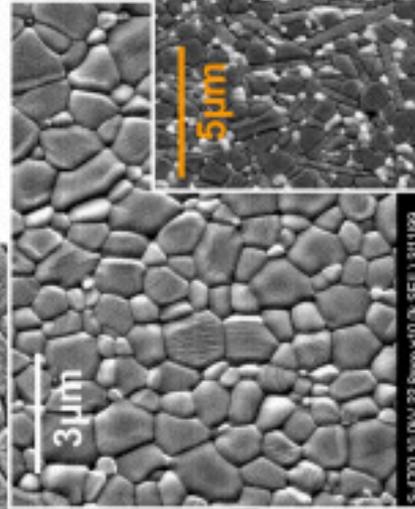


$\text{Al}_2\text{O}_3$  (seit 1999)  
Pulver aus  $\text{NH}_4\text{AlCO}_3(\text{OH})_2$

$\text{Al}_2\text{O}_3$  hergestellt aus Feinpulver (vor 1980)



$\text{Al}_2\text{O}_3$  (seit 1994), Pulver hergestellt  
aus dem Alkoxid-Prozess



Zirkonoxid und plättchenverstärktes  
Aluminiumoxid (ZPTA) (seit 1997)



## **Einfluss des Keramikherstellers**



**Gemeinsam mit Keramikhersteller die  
optimale Werkstoffvariante auswählen**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 19

## **Einfluss des Keramikherstellers**

---

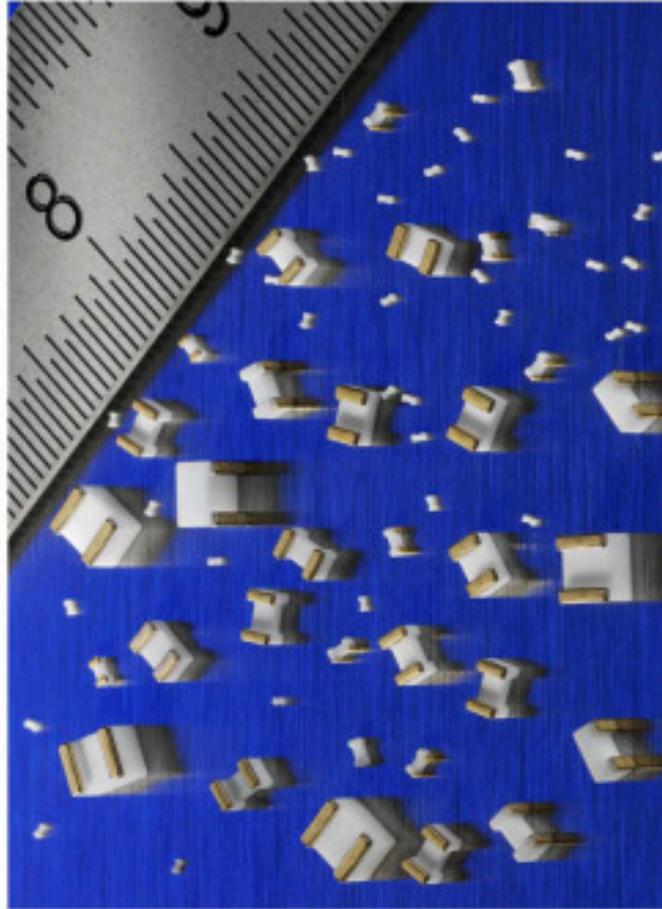
### **4. Auswahl des geeigneten Formgebungsverfahrens**

**Warum?**



**Einfluss des Keramikherstellers**

Sehr kleine, komplizierte Teile → Spritzgießen



2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 21

## Einfluss des Keramikherstellers

Große, anspruchsvolle Teile → Isostatischpressen

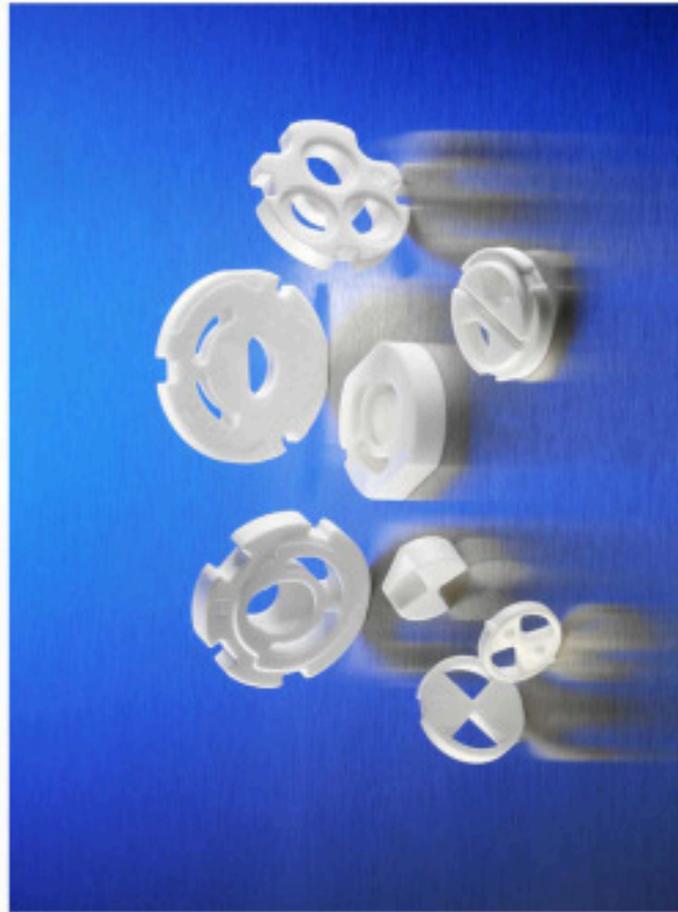


2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 22



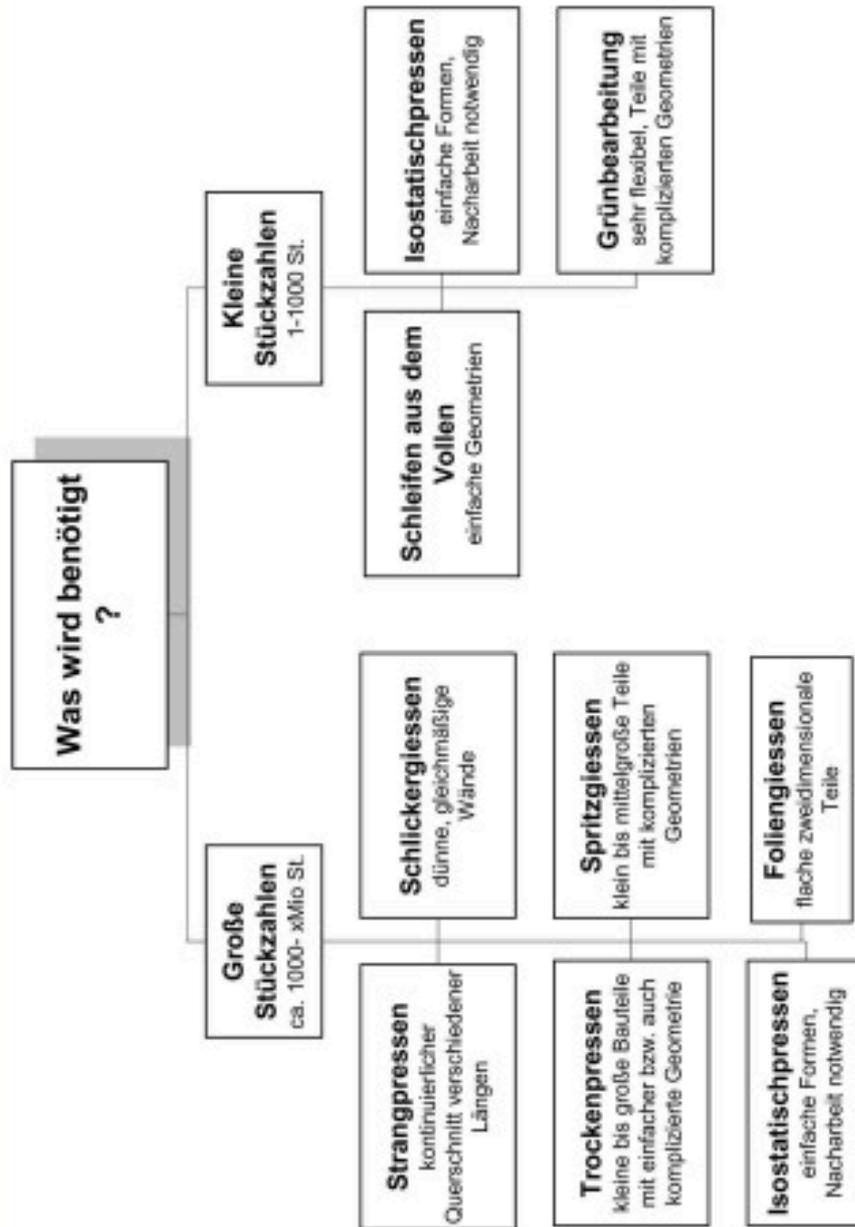
## Einfluss des Keramikherstellers

Standardteile in großen Mengen → Trockenpressen



2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 23

## Einfluss des Keramikherstellers



Quelle: VKI-Seminar 2003



## **Einfluss des Keramikherstellers**



**Gemeinsam mit dem Keramikhersteller die  
optimale Fertigungstechnologie festlegen**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 25

**Einfluss des Kunden**

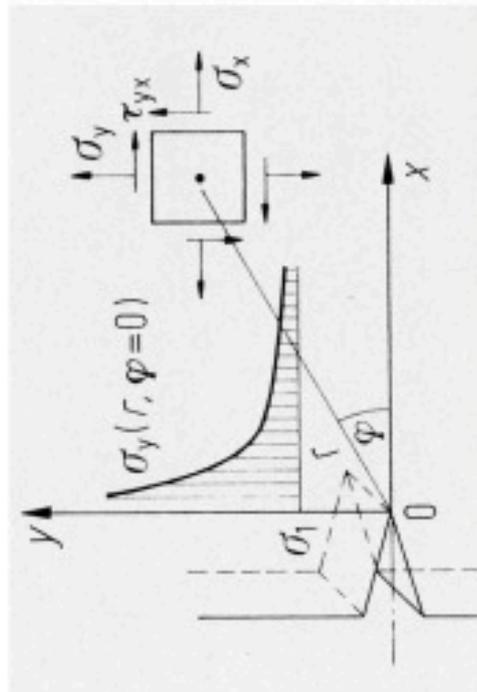
---

**5. Keramikgerechtes Design**

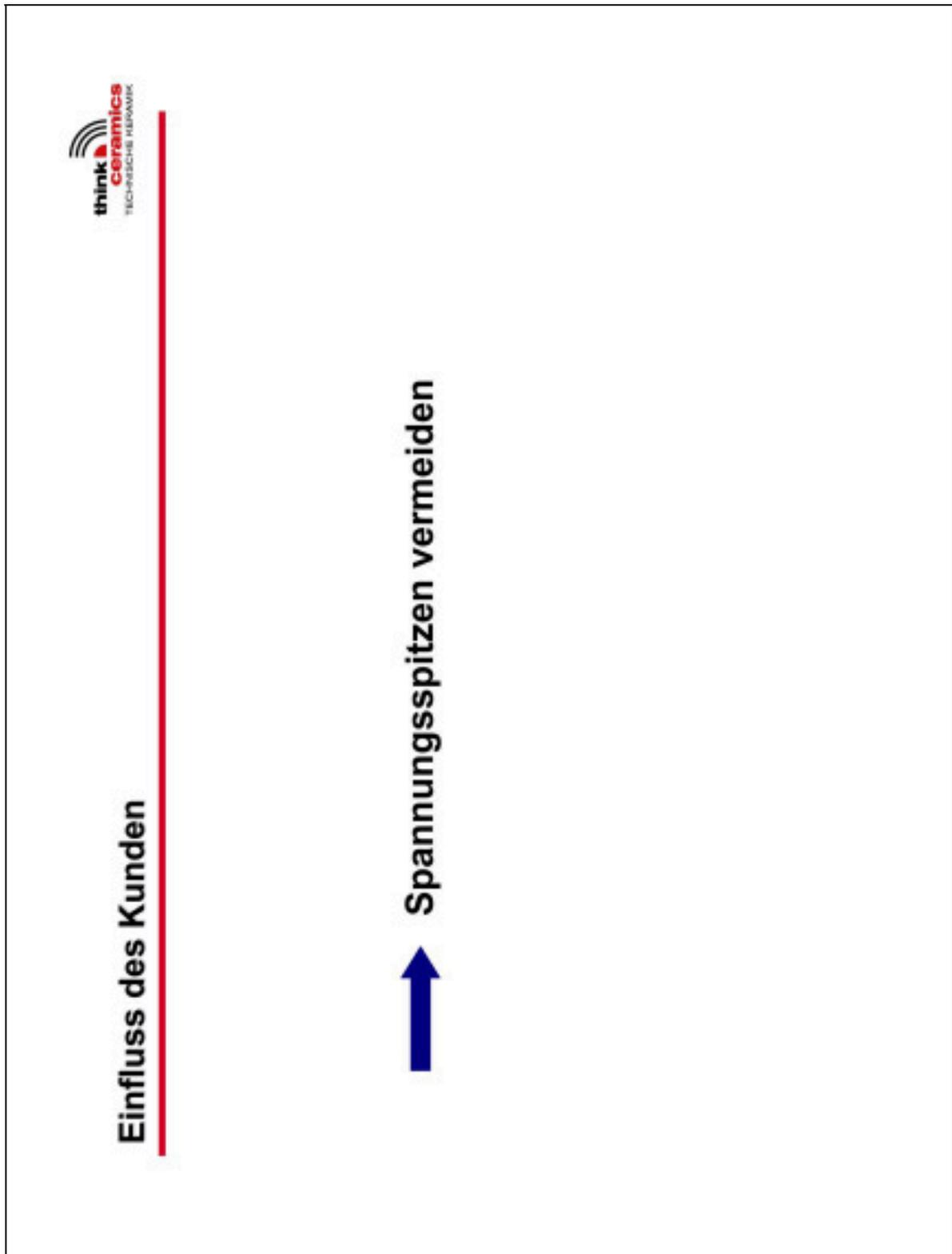
**Warum?**

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 26

## Einfluss des Kunden



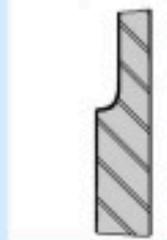
Spannungsüberhöhung vor der Kerbe, möglicherweise in einem Ausmaß das die Festigkeit der Keramik überschritten wird.



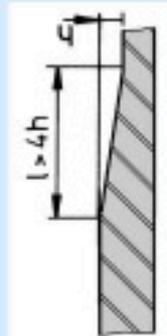
2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 28

## Einfluss des Kunden

- Spannungsspitzen vermeiden



ungünstig

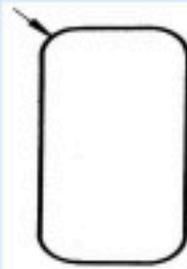


günstig

- Plötzliche Querschnittsänderungen vermeiden



ungünstig

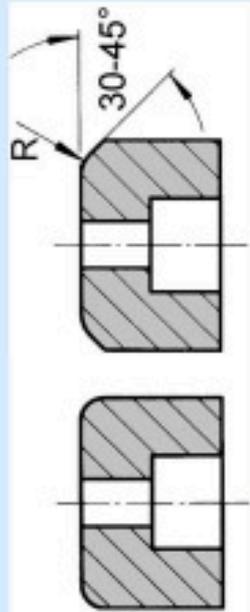


günstig

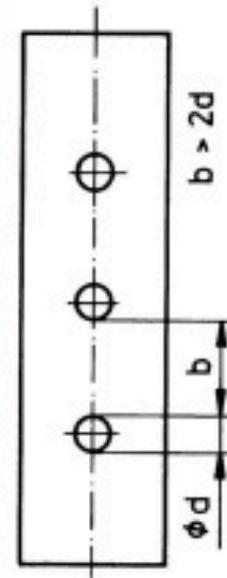
- Ecken und scharfe Kanten vermeiden, Innenkanten und Durchbrüche runden

## Einfluss des Kunden

- Spannungsspitzen vermeiden



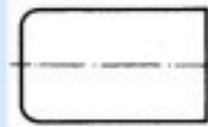
- Kanten senkrecht zur Preßrichtung kurz brechen (axiales Pressen)



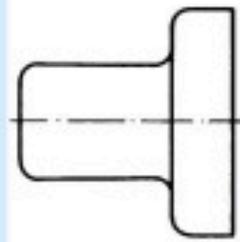
- Lochabstände nicht zu klein bemessen

## Einfluss des Kunden

- Spannungsspitzen vermeiden



ungünstig

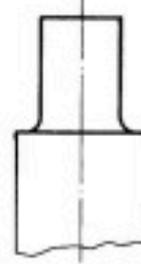


günstig

- Große Auflageflächen sind günstiger



ungünstig



günstig

- Kerbwirkung vermindern

## **Einfluss des Kunden**

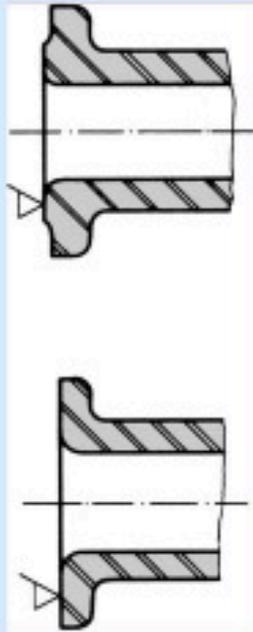
---

### **Weitere Regeln für keramikgerechtes Design:**

- **Zugspannungen minimieren, Auslegung mehr auf Druck**
- **Nachbearbeitung minimieren**
- **Einfache Formen anstreben**

## Einfluss des Kunden

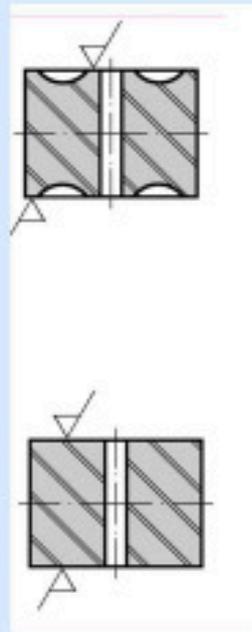
### • Nachbearbeitung minimieren



- Bearbeitungsflächen gering halten und ggf. abheben

ungünstig

günstig



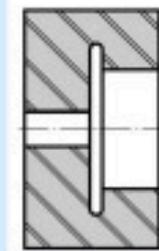
- Bearbeitungsflächen abheben

ungünstig

günstig

## Einfluss des Kunden

### • Einfache Formen anstreben

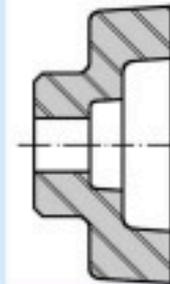


ungünstig



günstig

- Hinterschneidungen vermeiden



ungünstig



günstig

- Hohlräume vermeiden, die nur zur Masseersparnis dienen

Quelle: VKI-Seminar 2003



## **4. Zusammenfassung**

***Jeder kann seinen Teil dazu  
beitragen die Keramik  
„in Form“ zu bringen***

2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 35

## Erfolgsbeispiel



2.2 Was bringt Keramik in Form - Folie 36