

## **2. Keramikgerechte Bauteilkonstruktion Bauteiloptimierung aus Fertigungssicht**

# Keramikgerechte Bauteilkonstruktion Bauteiloptimierung aus Fertigungssicht

Dipl.-Ing. Peter Schlagbaum

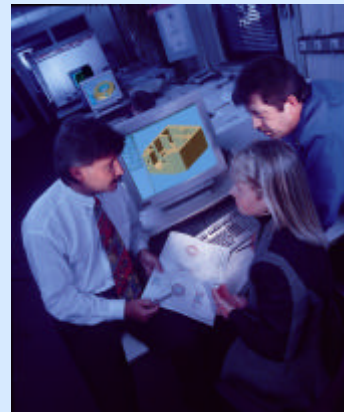
CeramTec AG

Lauf a. d. Pegnitz



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

- ⇒ Vergleich Keramik – Metall – Glas
- ⇒ Grundregeln
- ⇒ Ablauf der Bauteilentwicklung
- ⇒ Gestaltung von Bauteilen
- ⇒ Beispiele



Folie 1



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Vergleich Keramik – Metall – Glas

- ⇒ Unterschiedliche Herstellungsverfahren
- ⇒ Schwindungsprozesse
- ⇒ Spezifische Eigenschaftsprofile

Folie 2



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Vergleich Keramik – Metall – Glas



Folie 3



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Grundregeln

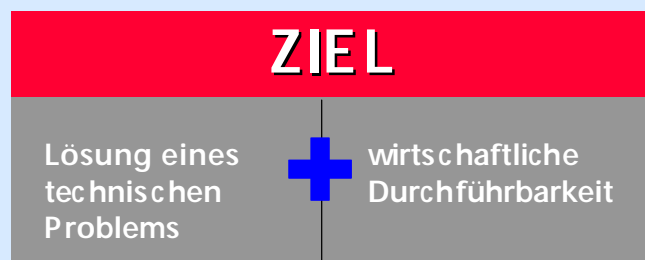
| Grundregel   | Konsequenzen   |
|--|--|
| Grundlegend <b>andere Vorgehensweise</b> als bei Konstruktion mit Metall | <ul style="list-style-type: none"><li>• andere Konstruktionsprinzipien</li><li>• kein Kopieren von Metallteilen</li><li>• modifizierte Verbindungs- und Füge-technik</li></ul>   |
| <b>Spezifisches Eigenschaftsprofil</b> der Keramik berücksichtigen       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Vorteile für das Systembauteil konsequent nutzen</li><li>• Einschränkungen berücksichtigen<ul style="list-style-type: none"><li>- Sprödigkeit / Risse und Rißwachstum</li><li>- stärkere Streuung der Festigkeitswerte</li><li>- geringere Zugfestigkeit</li></ul></li></ul>   |
| Berücksichtigung des <b>keramischen Herstellungsprozesses</b>            | <ul style="list-style-type: none"><li>• eingeschränkte Formenvielfalt</li><li>• größere Toleranzen</li><li>• Minimierung kostenintensiver Endbearbeitungen</li></ul>   |
| <b>Kosteneinflüsse</b> kennen und berücksichtigen                        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Anforderungen an Eigenschaften <math>\Rightarrow</math> Materialkosten</li><li>• Stückzahl und Form <math>\Rightarrow</math> Formgebungskosten</li><li>• Material und Größe <math>\Rightarrow</math> Brennkosten</li><li>• Toleranzen <math>\Rightarrow</math> Endbearbeitungskosten</li><li>• Q-Anforderungen <math>\Rightarrow</math> Prüfkosten</li></ul> |

Folie 4



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Ablauf der Bauteilentwicklung



Folie 5



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Ablauf der Bauteilentwicklung

#### Systembauteil (Entwurf)

|   |   |   |                                 |
|---|---|---|---------------------------------|
| Funktion<br>(im<br>Herstellungs-<br>prozeß und im<br>Einsatz) | Anforderungs-<br>profil /<br>Pflichtenheft<br><br>(Eigenschaften) | vollständige<br>Zeichnung,<br>Kennzeichnung<br>veränderbarer<br>Partien<br>• Form<br>• Maße<br>• Toleranzen<br>• Oberfläche | Kostenrechnen<br>(Systemkosten) |
|---|---|---|---------------------------------|

interdisziplinäre Zusammenarbeit  
zwischen Konstrukteur und Lieferanten

Folie 6



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Ablauf der Bauteilentwicklung

#### Zusammenarbeit zwischen Kunde und Lieferant

|   |   |   |             |
|---|---|---|-------------|
| Notwendige<br>Änderungen<br>• Herstellbar-<br>keit<br>• Wirtschaft-<br>lichkeit | Auswahl<br>keramischer<br>Werkstoff<br>und<br>Herstellungsverfahren | Berechnungen<br>• Spannungs-<br>analyse<br>• Festigkeits-<br>aussage<br>• Lebensdauer<br>etc. | Kalkulation |
|---|---|---|-------------|

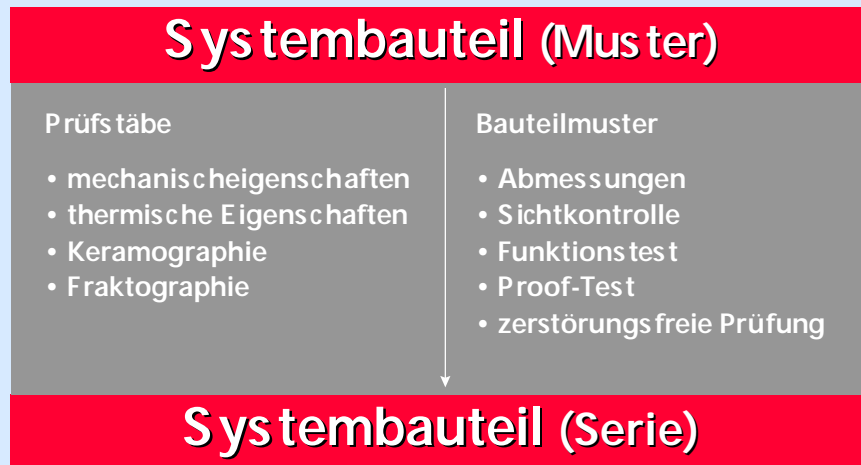
#### Systembauteil (Muster)

Folie 7



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Ablauf der Bauteilentwicklung



Folie 8



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Bauteilentwicklung – Schwierigkeitsgrade

| Schwierigkeitsgrad | Forderung an das keramische Bauteil   | Entwurf wird entscheidend beeinflusst durch  |
|--------------------|---|--|
| 1                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe mech. Belastung</li> <li>• Einsatztemperatur <math>\approx</math> Raumtemperatur</li> </ul>        | Formgebungsverfahren (Werkzeugkosten usw.)   |
| 2                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie 1 +</li> <li>• Maß- und Formtoleranz vorgegeben</li> </ul>   | Formgebungsverfahren, Nachbearbeitung (Möglichkeiten und Kosten)   |
| 3                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie 2 +</li> <li>• Oberflächengüte vorgegeben</li> </ul>   | Nachbearbeitung (Möglichkeiten und Kosten)   |
| 4                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie 3 +</li> <li>• größere mech. Belastung</li> <li>• und / oder thermisch induzierte Belastung</li> </ul> | Spannungsverteilung im Bauteil bei Belastung   |
| 5                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie 4 +</li> <li>• Art und Anspruch an die Verbindung mit anderen Bauteilen</li> </ul>                     | Formgebungs- und Nachbearbeitungsverfahren (Maß- und Form-toleranz, Kosten) Spannungsverteilung im Verbund mit Belastung |

Folie 9



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

| Grundregel                  | Konsequenzen  |
|-----------------------------|---|
| Einfache Formen             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Formen dem entsprechenden Urformverfahren anpassen</li><li>• Urform- und Sintervorgang erleichtern</li><li>• Modulbauweise bei komplizierten Formen</li></ul> |
| Spannungsspitzen vermeiden  | <ul style="list-style-type: none"><li>• keine plötzliche Querschnittsveränderung</li><li>• Kerben, Ecken und scharfe Kanten minimieren</li><li>• Kräfte großflächig einleiten</li></ul>               |
| Zugspannungen minimieren    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Vorgabe beanspruchsgerechter Querschnitte</li><li>• Erzielung von Druckspannungen</li><li>• keramiktgerechte Gestaltung der Urkrafteinleitung</li></ul>       |
| Materialanhäufung vermeiden | <ul style="list-style-type: none"><li>• geringe Wanddickendifferenzen, Querschnittsprünge vermeiden</li><li>• Knotenpunkte auflösen</li><li>• verdichtungsgerecht gestalten</li></ul>                 |

Folie 10



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

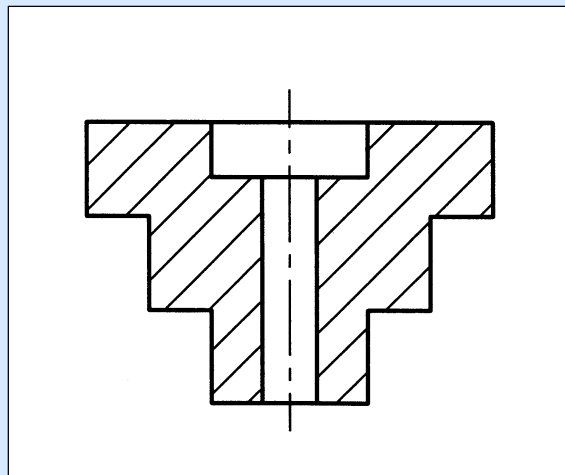
### Gestaltung von Bauteilen

| Grundregel                                     | Konsequenzen   |
|--|--|
| Nachbearbeitung minimieren                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• Grünbearbeitung ist günstiger als Endbearbeitung</li><li>• Kantenrundungen und -fasen vermeiden Ausbrüche</li><li>• kleine und abgesetzte Bearbeitungsflächen zulassen</li><li>• eindeutige Auflage- und Einspannbedingungen für die Nachbearbeitung</li></ul> |
| Beachtung fertigungspezifischer Besonderheiten | <ul style="list-style-type: none"><li>• Entformbarkeit erleichtern, günstiges Urformverfahren ermöglichen</li><li>• Hinterschneidungen vermeiden</li></ul>   |

Folie 11



## Trockenpreßverfahren Schematische Darstellung



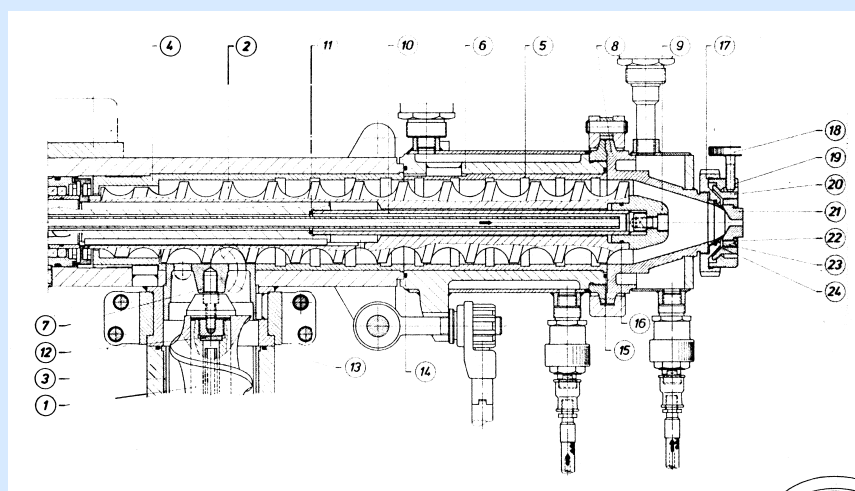
Beim Trockenpreßverfahren wird ein rieselfähiges, feines Granulat mit maximalem Feuchtigkeitsgehalt von 2% im Preßwerkzeug soweit verdichtet, daß das Preßkorn zerdrückt wird und eine Volumenverminderung um mehr als die Hälfte eintritt. Dieses Verfahren macht es notwendig, daß zumindest jeder unterschiedliche Boden-Querschnitt im Preßling, im Preßwerkzeug durch einen separat beweglichen Stempel geformt wird.

Die Herstellung eines Rotationskörpers mit zweifach abgesetzten Außendurchmesser und Versenk am Mittelloch, erfordert neben dem Mittelstift drei bewegliche Unterstempel und eine bewegliche Büchse im Oberstempel.

Folie 12



## Strangpreßverfahren Beispiel Vakuumstrangpresse

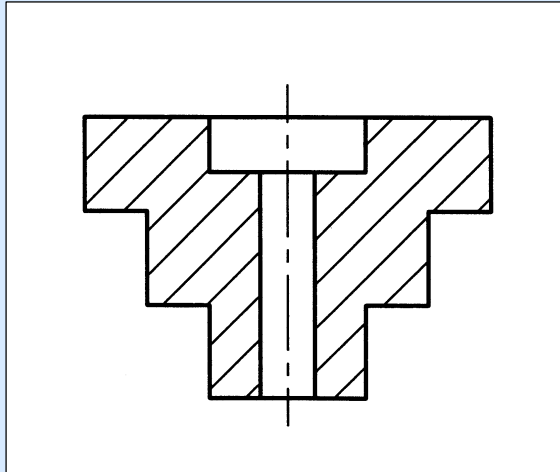


Folie 13





## Trockenpreßverfahren Schematische Darstellung



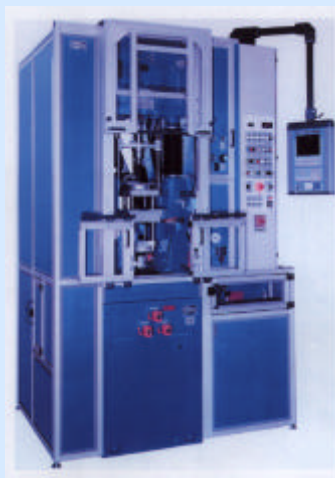
Beim Trockenpreßverfahren wird ein rieselfähiges, feines Granulat mit maximalem Feuchtigkeitsgehalt von 2% im Preßwerkzeug soweit verdichtet, daß das Preßkorn zerdrückt wird und eine Volumenverminderung um mehr als die Hälfte eintritt. Dieses Verfahren macht es notwendig, daß zumindest jeder unterschiedliche Boden-Querschnitt im Preßling, im Preßwerkzeug durch einen separat beweglichen Stempel geformt wird.

Die Herstellung eines Rotationskörpers mit zweifach abgesetzten Außendurchmesser und Versenk am Mittelloch, erfordert neben dem Mittelstift drei bewegliche Unterstempel und eine bewegliche Büchse im Oberstempel.

Folie 14



## Trockenpreßverfahren Beispiel:

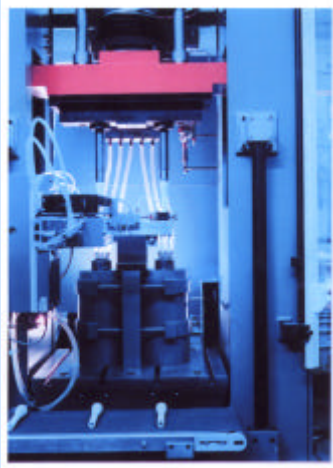


Trockenpreßautomat

Folie 15



## Trockenpreßverfahren Beispiel:

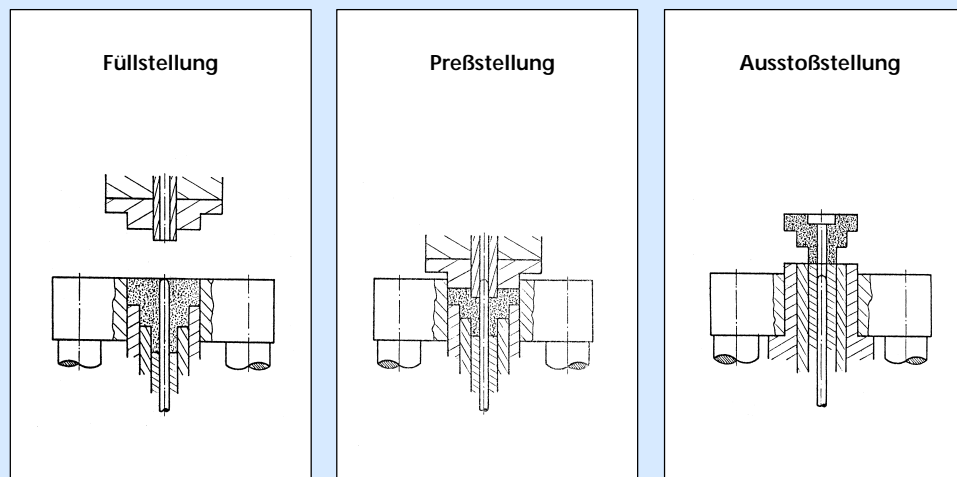


Isostatische Presse

Folie 16



## Trockenpreßverfahren Beispiel:

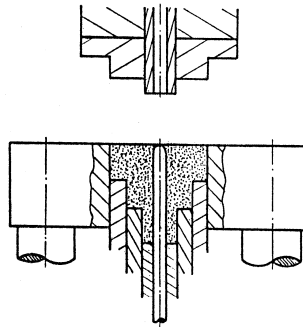


Folie 17



## Trockenpreßverfahren Beispiel:

Schematische Darstellung des Preßvorgangs.  
Füllstellung.



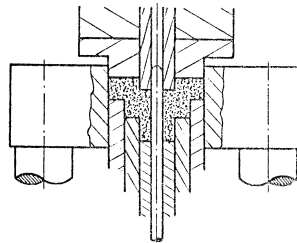
In der Füllstellung müssen die Unterstempel, auch Ausstoßer genannt, auf einem Höhenniveau zur Werkzeugoberkante stehen, das dem 2 bis 2,5-fachen der jeweiligen Körperhöhe des Preßlings entspricht. Somit beträgt auch das Schüttvolumen des eingefüllten Preßgranulates das 2 bis 2,5-fache des Preßlings.

Folie 18



## Trockenpreßverfahren Beispiel:

Schematische Darstellung des Preßvorgangs.  
Preßstellung.



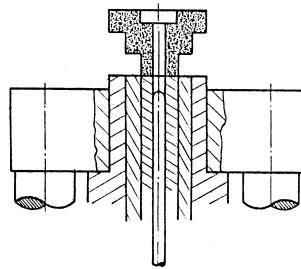
Nach erfolgter Verdichtung des Granulates stehen die drei Ausstoßer in einem Höhenniveau zueinander, die den Abmessungen des Preßlings entsprechen. In dieser Phase des Preßablaufes müssen alle beweglichen Teile des Preßwerkzeuges, also Ausstoßer und Buchse im Oberstempel in der Lage sein, dem Preßdruck, der bei ca. 200 bar liegt, ohne die geringste Niveauveränderung zu widerstehen.

Folie 19



## Trockenpreßverfahren Beispiel:

Schematische Darstellung des Preßvorgangs.  
Ausstoßstellung



Jeder verdichtete Körper erfährt bei der Druckreduzierung eine geringe Volumenvergrößerung, ein sogenanntes Auffedern oder Quellen. Diesem Umstand muß beim Ausstoßen des Preßlings Rechnung getragen werden und es ist deshalb die Büchse im Oberstempel Beweglich ausgebildet. Während der Preßling durch Federkraft vom Oberstempel noch belastet ist, wird die Büchse aus dem Versenk gezogen und ist so eine Quellung im Bereich des Versenkens zum Zentrum möglich. Ein unbehindertes Auffedern der übrigen Körperpartien wird dadurch erreicht, daß Mantelform und Mittelstift um mind. 0,05mm konisch ausgebildet sind und die beiden äußeren Ausstoßer den Preßling in genau vorbestimmter Reihenfolge freigeben.

Folie 20



## Trockenpreßverfahren Konstruktion:

### Hinweise für die keramikgerechte Konstruktion von Trockenpreßartikeln.

Aus der schematischen Darstellung des Preßvorgangs war zu ersehen, daß die großindustrielle Fertigung keramischer Formteile eine grundlegend andere Technologie als die Fertigung von Kunststoffteilen erfordert.

Hieraus leiten sich auch unterschiedliche Konstruktionsrichtlinien ab, die im Nachfolgenden behandelt werden.

Das keramische Formteil sollte unter Ausnutzung seiner dem Kunststoff weit überlegenen elektrischen und mechanischen Eigenschaften, als Basisbauteil für den Funktionsmechanismus konzipiert werden, wobei es denkbar ist, daß man die Umhüllung des Ganzen, einem den Erfordernissen entsprechenden anderen Werkstoff z.B. Blech überläßt.

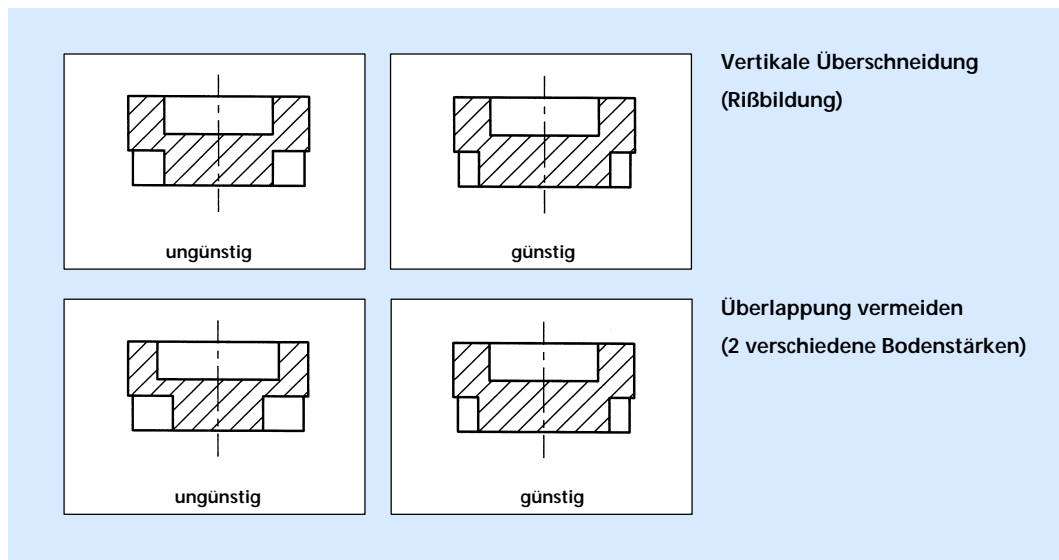
Konstruktionsrichtlinien für keramische Formteile können dem Konstrukteur nur von Nutzen sein, als es sich um Hinweise handelt, die bei der Grundkonzeption eines neuen Bauteiles zu beachten sind.

Bereits im Vorstadium einer Neukonstruktion sollte das Gespräch zwischen dem Konstrukteur und dem Keramikerhersteller beginnen, so daß die Belange der keramischen Technologie noch ausreichend berücksichtigt werden können und eine großindustrielle keramische Fertigung des Bauteiles möglich ist.

Folie 21



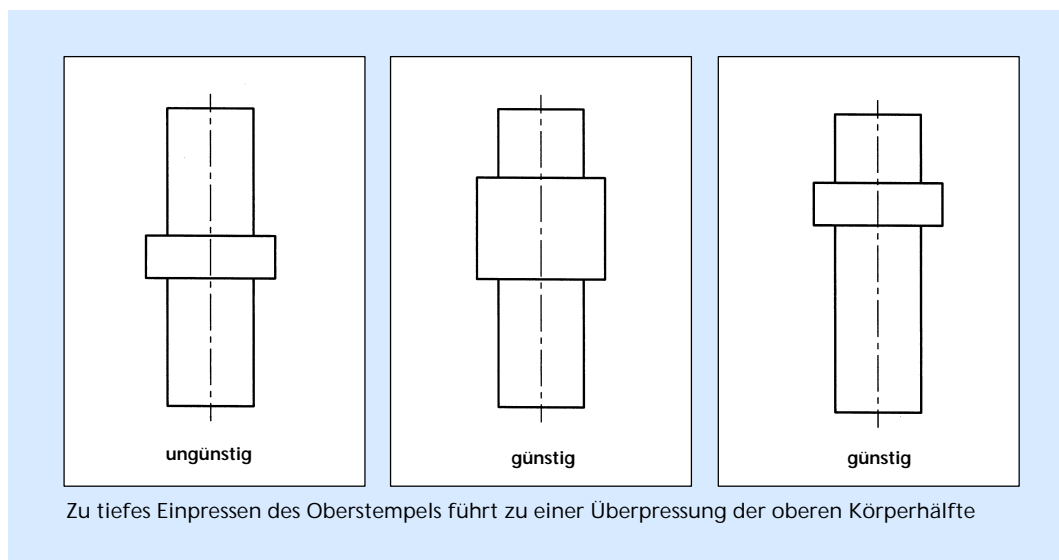
## Trockenpreßverfahren Konstruktion:



Folie 22



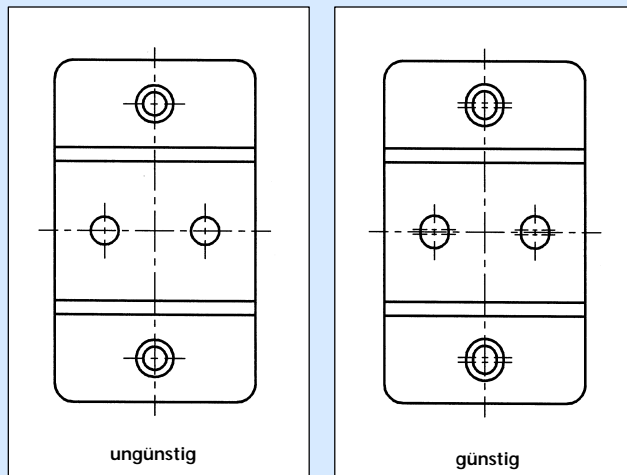
## Trockenpreßverfahren Konstruktion:



Folie 23



## Trockenpreßverfahren Konstruktion:



Bohrungen die mit weiteren Bauteilen oder einer Montagevorrichtung in Zusammenhang stehen, müssen so groß bemessen sein, daß die Toleranz des Keramischen Bauteils (DIN 40680; bei Vereinbarung auch kleiner) überbrückt werden kann.

Wenn die Langlöcher in Längsachse um den Betrag der Abstandstoleranz größer ausgeführt werden.

Folie 24



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Einfache Formen anstreben

|                  |                |   |
|------------------|----------------|---|
| <p>ungünstig</p> | <p>günstig</p> | <p>- Hinterschnidungen vermeiden</p>                            |
| <p>ungünstig</p> | <p>günstig</p> | <p>- Hohlräume vermeiden, die nur zur Masseersparnis dienen</p> |

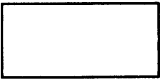


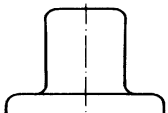

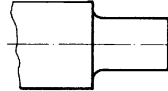
Folie 25



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Spannungsspitzen vermeiden

|  |  |  |
|--|--|--|
| <br>ungünstig | <br>günstig | - Ecken und scharfe Kanten vermeiden, Innenkanten und Durchbrüche runden |
| <br>ungünstig | <br>günstig | - Größere Auflageflächen sind günstiger                                  |
| <br>ungünstig | <br>günstig | - Kerbwirkung vermindern   |

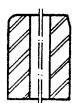
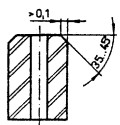
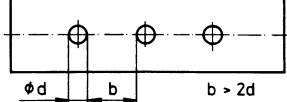
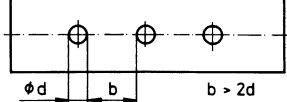

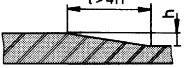
Folie 26



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Spannungsspitzen vermeiden

|  |  |  |
|--|--|--|
| <br>ungünstig | <br>günstig | - Kanten senkrecht zur Preßrichtung kurz brechen (axiales Pressen) |
| <br>ungünstig | <br>günstig | - Lochabstände nicht zu klein bemessen                             |
| <br>ungünstig | <br>günstig | - plötzliche Querschnittsänderungen vermeiden                      |

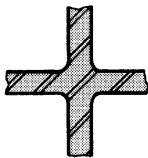
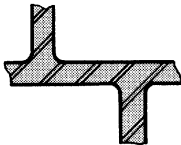
Folie 27



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Materialanhäufungen vermeiden

|  |  |                         |
|--|--|-------------------------|
|  <p>ungünstig</p> |  <p>günstig</p> | - Knotenpunkte auflösen |
|--|--|-------------------------|

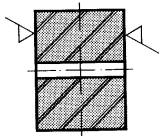
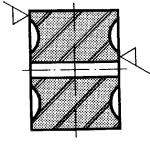
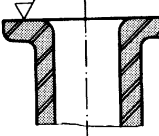
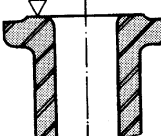
Folie 28



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Nachbearbeitung minimieren

|  |  |  |
|--|--|--|
|  <p>ungünstig</p> |  <p>günstig</p> | - Bearbeitungsflächen gering halten und ggf. abheben |
|  <p>ungünstig</p> |  <p>günstig</p> | - Bearbeitungsflächen abheben                        |

Folie 29





## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Nachbearbeitung minimieren

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Fasen an rotations-symmetrischen Teilen so bemaßen, daß die Facette nicht bearbeitet werden muß</li><li>- Bei Winkelteilen dicke Schenkel, reduzierte Bearbeitungsflächen und eindeutige Auflagen schaffen</li></ul> |
|  |  |  |

Folie 30



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Besonderheiten beim Trockenpressen

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Der Oberstempel der Matrize darf nicht gegen den konisch verlaufenden Teil der Form stoßen (Pfeil).</li><li>- Zylindrische Ansätze ergeben einwandfreie Kanten und verhindern den Werkzeugbruch.</li><li>- Scharfe aufeinanderstoßende Stempel sind preßtechnisch nicht anwendbar. Eine zylindrische Fläche mit kleinem Absatz am Preßteil ist herstellbar. Diese o.g. Form läßt sich durch Nachbearbeitung herstellen.</li></ul> |
|  |  |   |

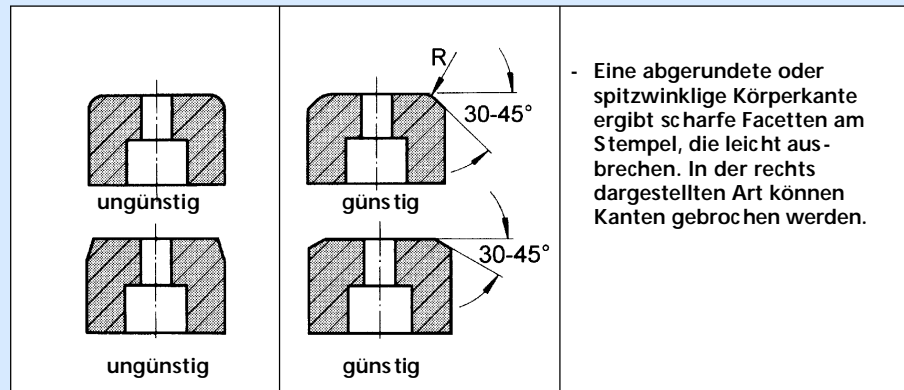
Folie 31



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Besonderheiten beim Trockenpressen



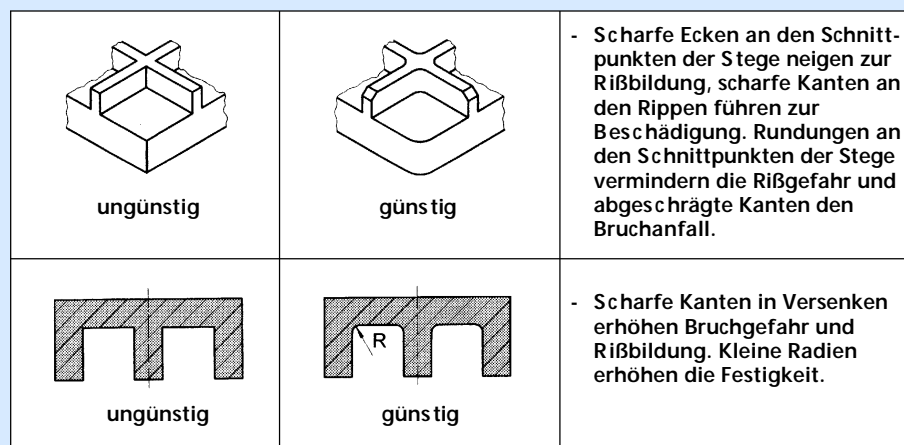
Folie 32



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

- Besonderheiten beim Trockenpressen



Folie 33



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

#### • Besonderheiten beim Trockenpressen

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Ebene Böden in Sacklöchern führen zu Überpressungen. Spitze Stifte im Werkzeug ermöglichen einen ausreichenden Materialfluß beim Formen und vermeiden eine Überpressung.</li></ul> |
|  |  |  |

Folie 34



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

#### • Besonderheiten beim Trockenpressen

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Der Boden zwischen den Versenken ist zu schwach und wird deshalb überpreßt. Gefahr der Rißbildung.</li></ul> |
|  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Schrägen in Preßteilen ergeben ungleichmäßige Gefüge.</li></ul>  |

Folie 35



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Gestaltung von Bauteilen

#### • Besonderheiten beim Trockenpressen

|                  |                |   |
|------------------|----------------|---|
| <p>ungünstig</p> | <p>günstig</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Das Loch befindet sich zu nahe an der Außenkante. Die zu schwache Wand reißt oder bricht. Das Verhältnis <math>s / h</math> muß ausreichend sein (1:5).</li></ul> |
| <p>ungünstig</p> | <p>günstig</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Die Wand S ist zu schwach und neigt zum Reiß, besser die E insenkung nach außen öffnen.</li></ul>   |

Folie 36



## Service in **Konstruktion** Konstruieren mit Keramik

### Fazit:

#### • Anwendungstechnische Beratung

- ⇒ Keramikgerechte Konstruktion
  - ⇒ Unterschiede zur Konstruktion mit Metall, Glas
  - ⇒ Integration der Entwicklung des Lieferanten in die Bauteilentwicklung
  - ⇒ Grundregeln zur Gestaltung keramischer Bauteile

#### • wirtschaftliche Systemlösung

- ⇒ Auf Keramik ausgerichtete Konstruktionen

#### • Reduzierung der Entwicklungszeit- und Kosten

- ⇒ Kompetente, serviceorientierte Lieferanten

Folie 37