

## 2.4 Bauteilgestaltung in Abhängigkeit vom Formgebungsverfahren

- Ines Richter  
Matthias Förster  
Sembach GmbH & Co. KG  
Lauf a.d. Pegnitz

*Die Folien finden Sie ab Seite 183.*

### **Bauteilgestaltung in Abhängigkeit vom Formgebungsverfahren**

#### **Welche Möglichkeiten bieten keramische Formgebungsverfahren?**

Der erste Schritt zum keramischen Bauteil ist getan, sobald die Werkstoffauswahl entsprechend dem Anforderungsprofil erfolgt ist. Als nächstes stellt sich in der Regel die Frage, wie das gewählte keramische Material optimal in die erforderliche Form gebracht wird. Diese Frage stellt sich natürlich in erster Linie dem Keramikhersteller. Nicht selten jedoch wird er zu diesem Punkt Rücksprache mit dem Kunden halten. Meist sind hier und da konstruktive Anpassungen nötig, um die Fehlerfreiheit der keramischen Bauteile am Ende des Fertigungsprozesses zu gewährleisten. Konstruktive Anpassung heißt dabei nicht in jedem Fall Einschränkung.

Die Aufbereitung der Arbeitsmassen ist eine wichtige Eingangsgröße für den Formgebungsprozess. Mindestens ebenso entscheidend sind Bauteilkonstruktion und Werkzeugauslegung. Es existieren grundlegende, keramikspezifische Konstruktionskriterien, die hierbei beachtet werden müssen. Und natürlich stellen unter Umständen die verschiedenen vorgestellten Formgebungsverfahren spezielle Anforderungen an die Werkzeuggestaltung.

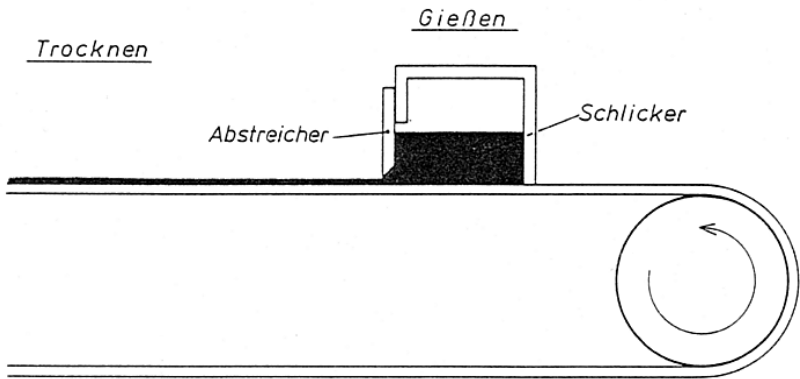
Einen Überblick über die „gestalterischen“ Möglichkeiten, die heute industriell angewandte Formgebungsverfahren bieten, soll dieser Beitrag geben. Dabei soll nicht die reine Prosa im Vordergrund stehen, sondern vielfältiges Bildmaterial zur besseren Verdeutlichung der Thematik dienen.



**Bild 1:** Endkontrolle von Reglersockeln aus Steatitkeramik

### **Keramik als Substrat - Foliengießen**

Zur Herstellung von großflächigen, dünnen keramischen Bauteilen wird das Foliengießverfahren eingesetzt. Hierbei wird ein keramischer Schlicker mit verschiedenen organischen Zusätzen auf ein endloses, über Rollen angetriebenes Stahlband „gegossen“ (Bild 1). Das heißt, der Schlicker läuft kontinuierlich aus einem Vorratsbehälter durch einen einstellbaren Spalt auf das Band. Im Gegenstrom wird zur Trocknung Warmluft über die Folie geblasen, so dass man am Bandende eine flexible Grünfolie erhält. Diese kann entweder aufgewickelt werden oder direkt durch schneiden, stanzen, prägen o.ä. weiter verarbeitet werden.



**Bild 2:** Prinzipskizze des *Foliengießens*

Die Aufbereitung und Zusammensetzung einer Foliengießmasse ist sehr komplex. Die einzelnen Bestandteile einer solchen Gießmasse sowie deren Funktion zeigt Tabelle 1.

Bestandteil	Funktion	Beispiel 1	Beispiel 2
Keramisches Pulver	Matrix	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiC
Lösemittel	Dispersion	dest. Wasser	Ethylalkohol Trichlorethylen
Verflüssiger	Dispersion, Kontrolle von Oberflächenladungen und pH-Wert	Arylschwefelsäure	Menhaden-Fischöl
Binder	Grünfestigkeit	Polyvinylacetat	Polyvinylbutyral
Plastifizierer	Flexibilität	Polyethylenglycol Dibutylphtalat	Polyethylenglycol Octylphtalat
Benetzungsmittel	Reduzierung der Oberflächenspannung des Lösemittels	Octylphenoxyethanol	

**Tabelle 1:** Zusammensetzung einer Foliengießmasse

Bei der Aufbereitung wird zuerst das keramische Pulver zusammen mit einem geeigneten Verflüssiger in dem ausgewählten Lösemittel disper-

giert. Anschließend werden Binder, Plastifizierer und Benetzungsmittel zugemischt. Die fertige Mischung muss vor dem Vergießen gut entlüftet werden, um Blasenbildung zu vermeiden.

Mittels Foliengießen lassen sich keramische Teile (Substrate) mit einer Dicke im Bereich 0,25 bis 1,5 mm herstellen, was mit anderen Formgebungsverfahren gar nicht oder nur unter hohem Aufwand machbar wäre. Substrate werden in verschiedenster Form als Leiterplatten in der Elektronik verwendet, wenn erhöhte Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit gestellt werden. Dies ist im Zuge der Miniaturisierung mehr und mehr der Fall. Außerdem können aus einzelnen Keramiksubstraten z. B. mehrschichtige keramische Gehäuse für die Elektronik oder Wärmetauscher für die Energietechnik aufgebaut werden.

### **Keramik am laufenden Meter**

Eines der ältesten aber nach wie vor gebräuchlichsten Verfahren zur Herstellung achssymmetrischer Bauteile ist das Extrudieren oder Strangpressen. Nicht nur einfache Achsen oder Rohre lassen sich mittels Extrusion formen, sondern auch äußerst komplizierte Profile, die nicht zwangsläufig runde Querschnitte haben müssen.

Hohe Stückzahlen lassen sich durch das Arbeiten mit Mehrfach-Werkzeugen realisieren, d. h. mit einem Mundstück werden mehrere Stränge gleichzeitig gezogen. Die Dimensionen extrudierter Bauteile reichen von filigranen Röhrchen mit Außendurchmessern  $< 1$  mm bis zu Balken mit Durchmessern von  $> 200$  mm. Ebenso variieren die Längen von 100 mm bis zu 5,5 m.



**Bild 3:** Kolbenpresse für das vertikale Extrudieren von Keramikmassen



**Bild 4:** Beispiele für extrudierte Keramikbauteile

### **Keramik im Sekundentakt**

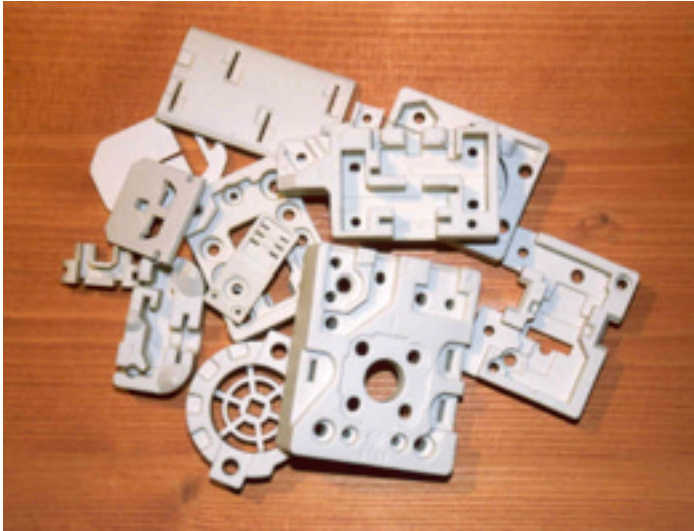
Immer wieder beeindruckend sind die komplizierten Geometrien von Regler- oder Sicherungssockeln für die Elektroindustrie, die mittels Trockenpressverfahren hergestellt werden (ABB). Mehr durch Zufall wurde dieses Formgebungsverfahren Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt, als es um die Verwertung von Specksteinabfällen bei der Azethylenbrennerherstellung ging. Heute ist die Automatisierung des Trockenpressens soweit fort geschritten, dass es enorme Stückzahlen mit ausgezeichneter Qualitätskonstanz liefert. Nach wie vor ist das Steatit der für das Trockenpressen am besten geeignete Werkstoff. Aber auch bei der Verarbeitung weitaus härterer, abrasiverer Oxidkeramiken wird das Verfahren angewandt.

Zur Gestaltung von Trockenpressbauteilen wurden einige wichtige Kriterien zusammengestellt, die bei der Konstruktion beachtet werden

sollten (siehe Brevier). Je nach Auslegung des Trockenpressautomaten lassen sich Bauteile von Fliesen- bis zu Streichholzkopfgröße realisieren. Kleine Scheiben oder Plättchen können bis zu einer Höhe von ca. 0,8 bis 1 mm gepresst werden. Darunter bietet sich eher das Foliengießverfahren an. Feine Stege o.ä. im Bauteil lassen sich soweit herstellen, wie das verwendete Pressgranulat die Hohlräume im Presswerkzeug vernünftig füllen kann bzw. die Werkzeuggestaltung möglich ist.



**Bild 5:** Kleiner Ausschnitt aus der Trockenpress-  
abteilung bei Sembach.



**Bild 6:** Verschiedene Trockenpressteile aus Steatitkeramik

Zum besseren Verständnis sind im Folgenden die einzelnen Vorgänge beim Trockenpressen dargestellt:



**Bild 7:** Hauptschritte beim Trockenpressvorgang

### Die drei Hauptabschnitte beim Trockenpressvorgang sind:

Füllen mit Granulat – Pressen – Ausstoßen des Presslings.

Prinzipiell besteht das Trockenpresswerkzeug aus einer Mantelform und Ober- bzw. Unterstempel, die, wie obige Abbildung zeigt, mehrfach unterteilt sein können.



**Bild 8:** Trockenpressen „live“!

- |        |                    |  |
|--------|--------------------|--|
| Links  | → Füllstellung:    | Mit Preßgranulat gefüllte Form (3fach).          |
| Mitte  | → Pressstellung:   | Oberteil taucht ein in Unterteil.                |
| Rechts | → Ausstoßstellung: | Füllschuh schiebt gepresste Teile nach vorne ab. |

Gepresst wird je nach erforderlichen Stückzahlen mit Einfach- oder Mehrfachwerkzeugen, wobei pro Minute bis zu 20 Pressungen nacheinander durchgeführt werden.

Man kann unschwer erkennen, dass mittels Trockenpressen zwar komplexe Bauteile produziert werden können, aber auch äußerst komplexe Presswerkzeuge mit zahlreichen bewegten Teilen (Presstempeln) dazu nötig sind. Bei hohen Stückzahlen ist aber das Trockenpressen eindeutig das wirtschaftlichste Verfahren.



### **Keramik aus dem Vollen: *Grünbearbeitung***

Eher großvolumige Bauteile, die in kleineren Stückzahlen (< 1.000) anfallen, werden meist aus dem Vollen gearbeitet. Das heißt, es wird ein isostatisch gepresster Rohling hergestellt, der mittels Grünbearbeitung in die Endform gebracht wird (ABB).



**Bild 9:** Vom Rohling zum gesinterten und nachbearbeiteten Bauteil



**Bild 10 und 11:** Grünbearbeitung von istostatisch gepressten Rohlingen



**Bild 12 und 13:** Werkstoff- und Größenvariationen bei Pumpenrotoren

## Keramik spritzgegossen

Immer häufiger werden keramische Bauteile gewünscht, bei deren Herstellung die bereits erwähnten Verfahren in Hinblick auf die geometrische Gestaltung an ihre Grenzen stoßen. In solchen Fällen bietet es sich an, in Analogie zur Herstellung von Kunststoffteilen, keramische Materialien zu verspritzen. Dafür besteht die Masse aus einer Mischung aus Keramikpulver und Kunststoff. Prinzipiell sollten die Wandstärken eines keramischen Spritzgussteils möglichst gleichmäßig ausgelegt sein. Außerdem ist die Wandstärke nach oben auf ca. 12 mm begrenzt, bedingt durch den an die Formgebung anschließenden Entbinderungsprozess. Seit langem etabliert ist der keramische Spritzguss bei der Produktion von Fadenführern für die Textilmaschinenindustrie. Diese Bauteile demonstrieren in eindrucksvoller Weise, welche zusätzlichen gestalterischen Möglichkeiten der keramische Spritzguss eröffnet.



**Bild 14:** Keramische Spritzguss-Bauteile



**Bild 15:** Gespritzte Lichtleiterstecker aus Keramik



**Bild 16:** Keramisches Mahlwerk, spritzgegossen aus Aluminiumoxid



**Bild 17:** Spritzgussmaschine der Fa. Arburg wie sie bei der Herstellung von Keramikbauteilen zum Einsatz kommt



**Bild 18:** Einbau eines Spritzgusswerkzeugs

### **Das entscheidende Maß**

Eine oftmals entscheidende Frage bei der Werkstoffauswahl ist die nach den einzuhaltenden Maßtoleranzen. Hier muss man bei keramischen Materialien klar unterscheiden zwischen den Möglichkeiten, die das reine Formgebungsverfahren bietet und denen, die eine entsprechende Nachbearbeitung der Bauteile im harten (gesinterten) Zustand eröffnet. Denn enge Toleranzen sind auch bei Keramik kein Ding der Unmöglichkeit, nur der dafür getriebene Aufwand ist nicht unerheblich.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 20) finden sich auf den folgenden Seiten.

# Einführung

## Bauteilgestaltung in Abhängigkeit vom Formgebungsverfahren

Ines Richter  
Sembach GmbH & Co. KG  
Lauf a.d. Pegnitz

## Themen



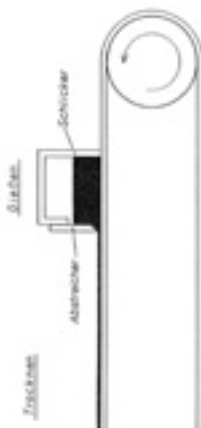
- ⇒ **Foliengießen**      Keramik als Substrat
- ⇒ **Extrusion**      Keramik am laufenden Meter
- ⇒ **Trockenpressen**      Keramik im Sekundentakt
- ⇒ **Isostat. Pressen, +  
Grünbearbeitung**      Keramik aus dem Vollen
- ⇒ **Spritzguß**      Keramik à la Kunststoff



## Keramik als Substrat – Foliengießen



- Foliengieß-Schlicker =  
Keramisches Pulver +  
Lösemittel +  
organische Zusätze
- Gießgeschwindigkeit 20  
- 200 mm/min
- Gießdicke 0,08 - 4,0 mm
- Weiterverarbeitung über  
Stanzen, Laminieren  
u.ä.



## Keramik als Substrat – Foliengießen



- Großflächige, dünne keramische Bauteile
- Bauteildicke 0,2 - 1,5 mm
- Mehrschichtaufbau möglich durch Laminieren
- Entwickelt zur Herstellung elektronischer Bauteile

## Keramik am laufenden Meter - Extrusion



- Plastische Arbeitsmassen
- Verarbeitung auf Vakuum-Schnecken-Extrudern oder Kolbenpressen
- Querschnitts-Formgebung durch Mundstück
- Längen nach Extrudier- oder Trockenvorgang



## Keramik am laufenden Meter - Extrusion



→ Achsymmetrische Querschnitte

→ Enden offen

→ Klein-/Großserie  
(Mehrfachwerkzeug)

→ Freimaßtoleranz DIN 40680  
mittel



## Keramik im Sekundentakt - Trockenpressen



- Rieselfähige Granulate
- Bis zu 50 Hub/min
- Verarbeitung auf hochautomatisierten Trockenpressautomaten
- Sinterprozess direkt im Anschluss

## Keramik im Sekundentakt - Trockenpressen

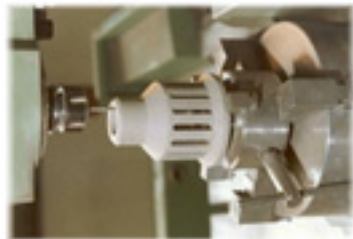


- Hochautomatisierter Prozeß → Wandstärken = f(Bauteilhöhe)
- Mehrfachwerkzeuge → Bauteilhöhe / Bodenstärke < 4
- Großserie → Bis 5 mm ± 0,1 mm  
5 bis 10 mm ± 0,15 mm  
> 10 mm ± 1,5%



## Keramik aus dem Vollen – Isostat. Pressen

### + Grünbearbeitung



- Isostatisch gepresste Halbzeuge (liefern höchste und gleichmäßigste Verdichtung)
- Bearbeitung der Grünlinge mit Diamantwerkzeugen



## Keramik aus dem Vollen – Isostat. Pressen

### + Grünbearbeitung

- Großvolumige Bauteile
- Kleinserie/Prototypen
- Mehrfachbearbeitung möglich





## Keramik à la Kunststoff - Spritzguß (CIM)



- Feedstock = Keramisches Pulver +  
organisches Bindersystem
- Bis zu 4 Abspritzungen/min
- Entbinderung erforderlich



## Keramik à la Kunststoff - Spritzguß (CIM)



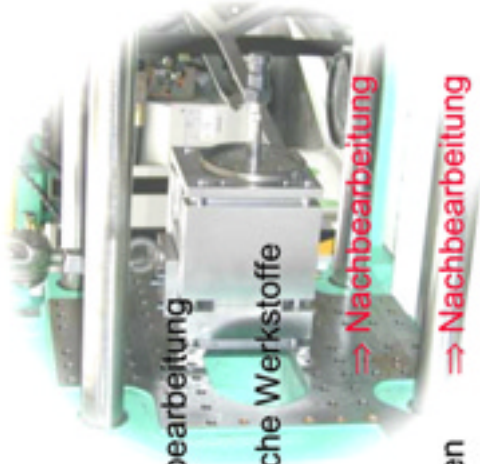
- Endkonturnahe Formgebung komplexer Geometrien
- Mehrfachwerkzeuge
- Hoher Automatisierungsgrad möglich
- Kleinserie/Großserie
- Toleranz  $\pm 1\%$
- Wandstärke  $< 10$  mm



## Gemeinsamkeiten



- Werkzeugkosten
- Kombination mit Grünbearbeitung
- Verschiedene keramische Werkstoffe
- Engste Toleranzen
- Beste Oberflächengüten



**think & ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

**Beispiel Mehrlochrohr**


ca. 100.000 Stck./a,  $\varnothing = 15$ ,  $l = 100$  mm

**Extrudieren**

~~Trockenpressen~~

~~Spritzguß~~

~~Isostat. Pressen +  
Grünbearbeitung~~

The image shows a bundle of approximately 15 multi-hole ceramic tubes. The tubes are light-colored and have a circular cross-section with several small holes arranged in a ring. They are bundled together and appear to be held in place by thin wooden sticks or spacers. The bundle is shown from a perspective that highlights the length and the multi-hole structure of the individual tubes.

## Beispiel Reglersockel (Elektroherd)

20 Mio Stck./a, 57 x 30 x 14,5 mm, Wandstärken 1,5 bis 3 mm

~~Extrudieren~~

Trockenpressen



~~Isostat. Pressen +  
Grünbearbeitung~~

~~Spritzguß~~

**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

**Beispiel Mahlwerk**


ca. 50.000 Stck./a.,  $\varnothing = 30$ ,  $h = 15$  mm

~~Extrudieren~~

~~Trockenpressen~~

~~Isostat. Pressen +  
Grünbearbeitung~~

Spritzguß



Folie 16

## Beispiel Sichter

ca. 500 Stck./a, Ø 200, H 160 mm

~~Extrudieren~~

~~Trockenpressen~~



~~Spritzguss~~

Isostat. Pressen +  
Grünbearbeitung

**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

**Beispiel Doppelzündstift**

ca. 200.000 Stck./a,  $l = 45$ ,  $d = 6$  mm

Extrudieren

Trockenpressen

Spritzguß

Preis!?!?

~~Isostat. Pressen +  
Grünbearbeitung~~

Folie 18



## Beispiel Dichtscheibe

ca. 5.000 Stück/a,  $\varnothing = 60$ ,  $d = 8$  mm

~~Extrudieren~~

Trockenpressen



~~Isostat. Pressen +  
Grünbearbeitung~~

Spritzguß

?

## Zusammenfassung



- Dimensionen von wenigen Millimetern bis zu einigen Metern sind möglich
- Werkzeugkosten fallen an, da keram. Bauteile normalerweise keine Katalogware darstellen.
- Kombination mit Grünbearbeitung ist bei allen Verfahren machbar.
- Formgebung eines keramischen Werkstoffes ist mittels verschiedener Verfahren möglich.
- Engste Toleranzen und beste Oberflächengüten ⇒ **Nachbearbeitung**

