

## 2.4 Hersteller-Service für Bauteile nach Kundenspezifikation

- Ines Durmann  
Sembach GmbH & Co. KG  
Lauf a. d. Pegnitz

*Die Folien finden Sie ab Seite 193.*

Wie könnte die Zukunft aussehen?

Man sitzt mit Headset am Computer und erzählt der Maschine, welche Anforderungen man an ein neu zu konzipierendes Bauteil stellt. Daneben steht der Scanner, der eine erste Skizze einliest. Sind alle Eingaben gemacht, drückt man das grüne Knöpfchen und erhält auf dem Bildschirm die Meldung: „Construction in progress. Please wait.“ Vielleicht schon nach 10 Minuten, vielleicht aber auch nach einer halben Stunde purzelt dann aus einer nachgeschalteten Blackbox der erste Prototyp – fertig zum Funktionstest!

Eine nette Vision, von der wir heute allerdings noch weit entfernt sind. Statt Computer und Blackbox stehen Ihnen heute unsere Kundenzentren zur Verfügung, wo Menschen aus Fleisch und Blut Sie bei der Realisierung Ihrer Bauteilidee unterstützen.

Gerade Keramik hat ungewöhnliche Eigenschaften, die vielfach nur nach intensiver fachlicher Beratung erfolgreich genutzt werden können. Dieser Beratungsservice gilt für die Festlegung aller Fertigungsdetails.

Am Anfang steht in der Regel die Analyse der Aufgaben, die das keramische Bauteil erfüllen soll. Hierbei ist es wichtig, sich nicht den Ersatz eines anderen Werkstoffes zum Ziel zu machen, sondern die Optimierung einer Baugruppe mit Beschränkung auf das eigentliche Problem. Dazu sollte der Konstrukteur zusammen mit dem Keramikhersteller detailliert das Anforderungsprofil der Funktionseinheit erörtern. Hierbei lässt oftmals die Abstraktion der zu lösenden Aufgabe die wirklichen technischen Anforderungen erkennen. Dies führt letztlich zur Wahl des optimalen Werkstoffes, der optimalen Formgebung und Herstellung. Woraus wiederum die Zuverlässigkeit des Prozesses und ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis resultieren.

### 2.4.1. Auswahl des keramischen Werkstoffs

Erst die **genaue Kenntnis der Einsatzbedingungen** ermöglicht es dem Keramikerhersteller, dem Kunden den am besten geeigneten Werkstoff vorzuschlagen. Dazu müssen u. a. folgende Betriebsbedingungen und die dafür notwendigen Werkstoff-Parameter abgefragt werden:

- Mechanische Anforderungen
  - Festigkeiten
  - Härte
  - Reibeigenschaften
  - Dichte
  - Evtl. Lastwechsel
- Elektrische Beanspruchung
  - Oberflächenwiderstand
  - Durchschlagfestigkeit
  - Verlustfaktor
  - Permittivität
- Thermische Belastung
  - Wärmeleitfähigkeit
  - Wärmedehnung
  - Max. Einsatztemperatur
  - Thermoschockbeständigkeit
- Chemische Umgebung
  - Säure- bzw. Laugenbeständigkeit
  - Andere Umwelteinflüsse z. B. UV-Beständigkeit

Die folgende Tabelle zeigt die Eigenschaftsprofile einiger gängiger keramischer Werkstoffe, die in der Elektrotechnik zum Einsatz kommen. Ein umfassender Überblick ist im Brevier Technischer Keramik zu finden ([www.keramverband.de/brevier](http://www.keramverband.de/brevier)).

Werkstoff			A65	A92	A96	A99	M96	M99
			Aluminiumoxid				Magnesiumoxid	
Bezeichnung nach DIN EN 60672			C620	C786	C795	C799	C830	C830

Rohdichte	$\rho_{\alpha}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,8	3,6	3,7	3,8	2,0 – 2,3	2,3 – 2,7
Offene Porosität	$P_a$	[Vol. %]	0	0	0	0	35 – 45	25 – 39
Wasseraufnahme	$W_a$	[Gew. %]	0	0	0	0	16 – 22	9 – 17
Biegefestigkeit	$\sigma_B$	[MPa]	150	250	280	300 – 400	8 – 25	10 – 50
E-Modul	E	[GPa]	150	220	280	300 – 400	90	90

Wärmeausdehnungskoeffizient	$\alpha_{20^{\circ}\text{C}} \text{ bis } 600^{\circ}\text{C}$	[10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	5 – 7	6 – 8	7 – 8	7 – 8	12 – 13	12 – 13
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	[W/mK]	6 – 8	14 – 24	16 – 28	20 – 30	6 – 10	6 – 10
Spezifische Wärmekapazität	$c_p$	[J/kgK]	850 – 1050	850 – 1050	850 – 1050	850 – 1050	850 – 1050	850 – 1050

Durchschlagfestigkeit	$E_d$	[kV/mm]	15	15	15	17		
Spezifischer Widerstand	$\rho_{V20}$	[ $\Omega$ m]	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>		
	$\rho_{V600}$	[ $\Omega$ m]	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>		
Dielektrizitätszahl 48 Hz bis 62 Hz	$\epsilon_r$		8	9	9	9	10	10
Dielektrischer Verlustfaktor	$\tan\delta$ (48 – 62Hz)	[10 <sup>-3</sup> ]		0,5	0,5	0,2		
	$\tan\delta$ (1MHz)	[10 <sup>-3</sup> ]		1	1	1		

**Tabelle 1:** Technische Daten von Oxidkeramiken

## Einführung in die Technische Keramik

Werkstoff			Stealan	Superpyrostat	Forsterit	Cordierit	Pyrostat
			Magnesium-Silicat			Magnesium-Aluminium-Silicat	
Bezeichnung nach DIN EN 60672			C221	C230	C250	C410	C511

Rohdichte	$\rho_a$	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,7	1,8	2,8	2,1	2,0 – 2,1
Offene Porosität	$P_a$	[Vol.%]	0	38	0	0	18 – 24
Wasseraufnahme	$W_a$	[Gew.%]	0	21	0	0	9 – 12
Biegefestigkeit	$\sigma_B$	[MPa]	140	30	140	60	25
Druckfestigkeit		[MPa]	900	100	900	300	200
E-Modul	E	[GPa]	120			70	

Wärmeausdehnungskoeffizient	$\alpha_{20^\circ\text{C bis } 600^\circ\text{C}}$	[10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	7 – 9	8 – 10	10 – 11	2 – 4	4 – 6
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	[W/mK]	2 – 3	1,5 – 2	3 – 4	1,2 – 2,5	1,3 – 1,8
Spezifische Wärmekapazität	$c_p$	[J/kgK]	800 – 900	800 – 900	800 – 900	800 – 1200	750 – 850

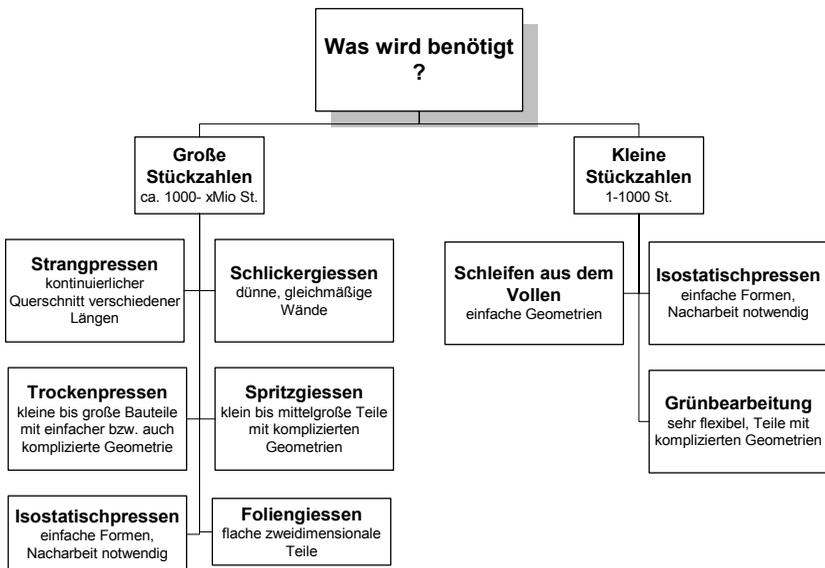
Durchschlagfestigkeit	$E_d$	[kV/mm]	20		20	10	
Spezif. Widerstand	$\rho_{V20}$	[ $\Omega\text{m}$ ]	10 <sup>11</sup>		10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup>	
	$\rho_{V600}$	[ $\Omega\text{m}$ ]	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
Dielektrizitätszahl 48 Hz bis 62 Hz	$\epsilon_r$		6		7	5	
Dielektrischer Verlustfaktor	$\tan\delta_{\beta-62\text{Hz}}$	[10 <sup>-3</sup> ]	1,5		1,5	25	
	$\tan\delta_{(1\text{MHz})}$	[10 <sup>-3</sup> ]	1,2		0,5	7	

**Tabelle 2:** Technische Daten von Silicatkeramiken

### 2.4.2. Auswahl des Formgebungsverfahrens

Ist der passende Werkstoff gefunden, gilt es, das geeignete Fertigungsverfahren für die geforderte Stückzahl und die zu realisierenden Konstruktionsmerkmale zu wählen. Die Stückzahl favorisiert meist ein oder mehrere Verfahren oder lässt diese von vornherein nicht zu. Das gewählte Formgebungsverfahren macht ggf. kleinere Konstruktions-

änderungen notwendig. Der folgende Überblick über die gängigsten Fertigungsverfahren soll verdeutlichen, dass sich quasi jede Bauteil-idee verwirklichen lässt.

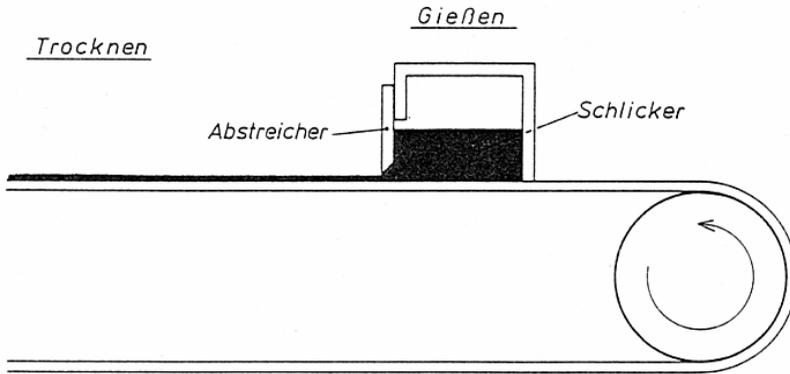


**Bild 1:** Auswahl des Fertigungsverfahrens

### 2.4.2.1. 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 2). 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 und zwischengelagert werden oder unmittelbar geschnitten gestanzt, geprägt o. ä. weiter verarbeitet werden.

## Einführung in die Technische Keramik



**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 3.

Bestandteil	Funktion	Beispiel 1	Beispiel 2
Keramisches Pulver	Matrix	$\text{Al}_2\text{O}_3$	SiC
Lösemittel	Dispersion	Destilliertes Wasser	Ethylalkohol Trichlorethylen
Verflüssiger	Dispersion, Kontrolle von Oberflächenladungen und pH-Wert	Arylschwefelsäure	Menhaden-Fischöl
Binder	Grünfestigkeit	Polyvinylacetat	Polyvinylbutyral
Plastifizierer	Flexibilität	Polyethylenglycol Dibutylphthalat	Polyethylenglycol Octylphthalat
Benetzungsmittel	Reduzierung der Oberflächenspannung des Lösemittels	Octylphenoxyethanol	

**Tabelle 3:** Zusammensetzung einer Foliengießmasse

Bei der Aufbereitung wird zuerst das keramische Pulver zusammen mit Wasser und einem geeigneten Verflüssiger in dem ausgewählten Lösemittel dispergiert. 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 1,0 mm herstellen, was mit anderen Formgebungsverfahren gar nicht oder nur unter hohem Aufwand machbar wäre. Substrate aus Aluminiumoxid 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

#### 2.4.2.2. Strangpressen (Extrudieren)



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



**Bild 4:** Beispiele für extrudierte Keramikbauteile

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.

### 2.4.2.3. Trockenpressen

Immer wieder beeindruckend sind die komplizierten Geometrien von Regler- oder Sicherungssockeln für die Elektroindustrie, die mittels Trockenpressverfahren hergestellt werden. 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 Trockenpressabteilung bei Sembach.



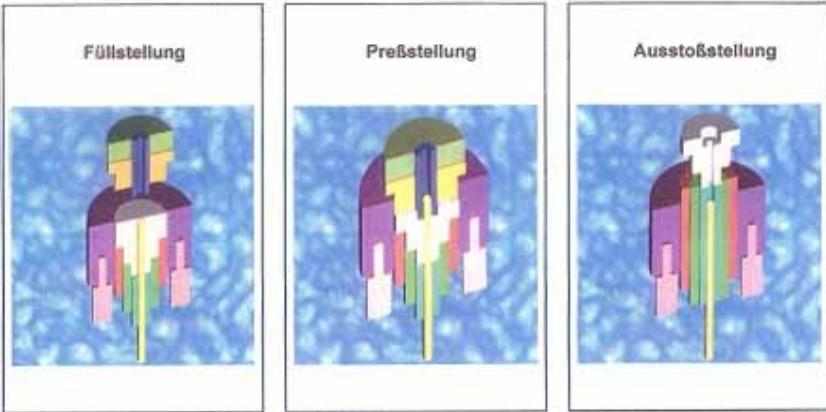
**Bild 6:** Verschiedene Trockenpressteile aus Steatit

**Die drei Hauptabschnitte beim Trockenpressvorgang sind:**

Füllen mit Granulat – Pressen – Ausstoßen des Presslings

## Einführung in die Technische Keramik

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



**Bild 7:** Hauptschritte beim Trockenpressvorgang

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.

#### **2.4.2.4. Spritzgießen**

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. 10 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 9:** Gespritzte Lichtleiterstecker aus Keramik



**Bild 10:** Keramische Spritzguss-Bauteile



**Bild 11:** Keramisches Mahlwerk, spritzgegossen aus Aluminiumoxid



**Bild 12:** Spritzgussmaschine der Fa. Arburg wie sie bei der Herstellung von Keramikbauteilen zum Einsatz kommt



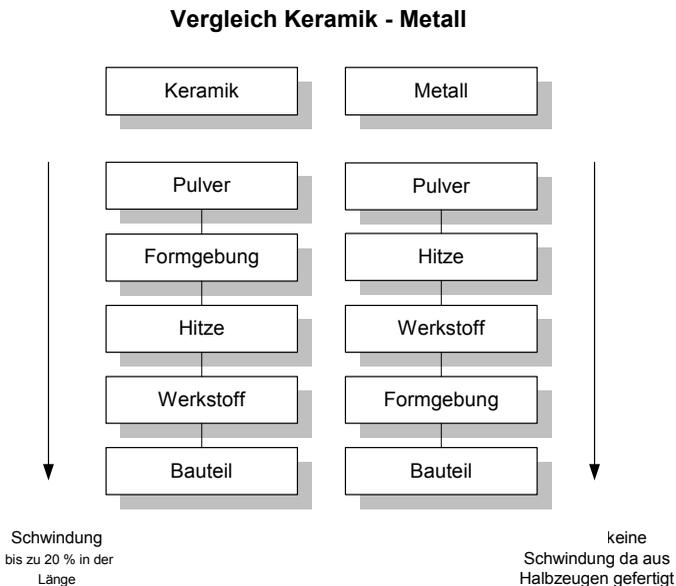
**Bild 13:** Einbau eines Spritzgusswerkzeugs

### 2.4.2.5. Veredelung

Allen genannten Formgebungsverfahren kann je nach Funktionsanforderung eine Nachbearbeitung oder Veredelung folgen, z. B.:

- Glasieren
- Metallisieren (für lötfähige Verbindungen)
- Silikonisieren
- Beschichten mit anderen Materialien
- Schleifen
- Läppen
- Polieren

### 2.4.3. Geometrie und Toleranzen



**Bild 14:** Herstellungsprozess von Keramik und Metall

Der wohl wichtigste Punkt für die Herstellbarkeit eines keramischen Bauteils ist die gewünschte Geometrie und die geforderte Genauig-

keit. Bei der Betrachtung der ihm überlassenen technischen Zeichnungen stößt der Keramikhersteller immer wieder auf für Metalle typische Anforderungen.

Wichtig ist es also, dem Kunden den Herstellungsprozess der Keramik mit seinen Eigenheiten näher zu bringen.

Maß- und Formtoleranzen für keramische Bauteile, die as fired, also ohne weitere Nachbearbeitung zum Einsatz kommen, werden in DIN 40 680 vor gegeben. DIN ISO 2768 und DIN ISO 1101 geben Toleranzen für solche Bauteile vor, die zum Erreichen der erforderlichen Genauigkeiten im Maschinenbau zusätzlich hartbearbeitet werden. Die Einhaltung der für Metall typischen engen Toleranzen hat bei der Herstellung keramischer Bauteile meist eine Nachbearbeitung zur Konsequenz. Viele Keramikhersteller haben allerdings in ihrem Marktsegment ein spezielles Know how entwickelt, das es ermöglicht, auch ohne Nachbearbeitung Bauteile mit engeren Toleranzen als nach DIN 40 680 herzustellen

Zur Optimierung der Geometrie eines keramischen Bauteils ist aus wirtschaftlichen Gründen darauf zu achten, zwischen Toleranzen für Funktionsflächen und Allgemeintoleranzen zu unterscheiden. Außerdem sollte die Geometrie nach bestimmten, auf Keramik zugeschnittenen Kriterien, gestaltet werden.

## Einführung in die Technische Keramik

---

Folgende Grundregeln finden dabei Anwendung:

<b>Grundregel</b>	<b>Konsequenz</b>
<i>Einfache Formen</i>	<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>
<i>Spannungsspitzen vermeiden</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• keine plötzlichen Querschnittsveränderung</li><li>• Kerben, Ecken und scharfe Kanten minimieren</li><li>• Kräfte großflächig einleiten</li></ul>
<i>Zugspannungen minimieren</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vorgabe beanspruchungsgerechter Querschnitte</li><li>• Erzielen von Druckspannungen</li><li>• keramikgerechte Gestaltung der Urkrafteinleitung</li></ul>
<i>Material-anhäufungen vermeiden</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• geringe Wandstärkendifferenzen</li><li>• Querschnittsprünge vermeiden</li><li>• Knotenpunkte auflösen</li><li>• verdichtungsgerecht gestalten</li></ul>
<i>Nachbearbeitung minimieren</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Grünbearbeitung ist günstiger als Endbearbeitung</li><li>• Kantenrundungen vermeiden Ausbrüche</li><li>• kleine und abgesetzte Bearbeitungsflächen zu lassen</li></ul>
<i>Beachtung fertigungs-spezifischer Besonderheiten</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entformbarkeit erleichtern</li><li>• günstige Urformverfahren ermöglichen</li><li>• Hinterschneidungen vermeiden</li></ul>

**Tabelle 4:** Grundregeln zur Formgebung

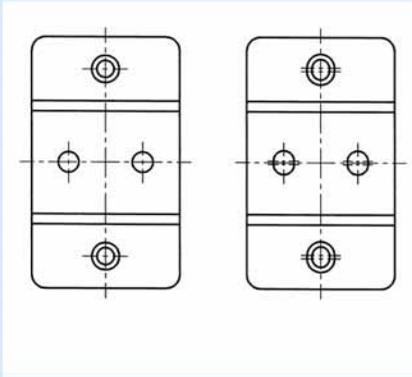
### 2.4.3.1. Einige Beispiele für eine keramikgerechte Geometrie:

Weitere Vorschläge und Anregungen für die keramikgerechte Gestaltung sind im Brevier der Technischen Keramik beschrieben.

(Siehe auch [www.keramverband.de/brevier](http://www.keramverband.de/brevier))

## Gestaltung von Bauteilen

- Nachbearbeitung minimieren



ungünstig

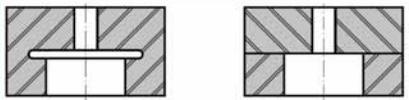
günstig

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

**Bild 15:** Bohrungen in keramischen Bauteilen

## Gestaltung von Bauteilen

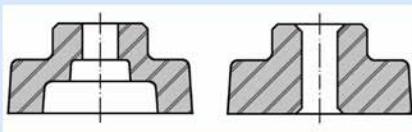
- Einfache Formen anstreben



ungünstig

günstig

- Hinterschneidungen vermeiden



ungünstig

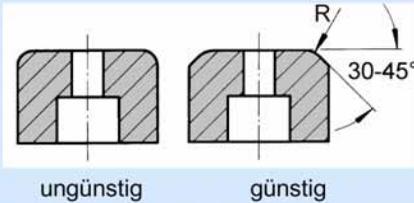
günstig

- Hohlräume vermeiden, die nur zur Masseersparnis dienen

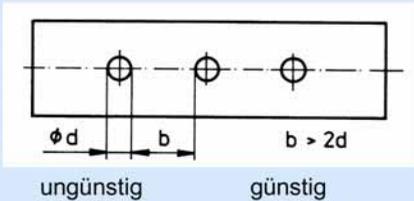
**Bild 16:** Einfache Formen anstreben

### Gestaltung von Bauteilen

- Spannungsspitzen vermeiden



- Kanten senkrecht zur Preßrichtung kurz brechen (axiales Pressen)

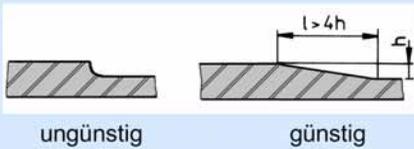


- Lochabstände nicht zu klein bemessen

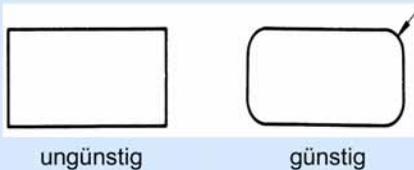
Bild 17: Spannungsspitzen vermeiden (1)

### Gestaltung von Bauteilen

- Spannungsspitzen vermeiden



- Plötzliche Querschnittsänderungen vermeiden

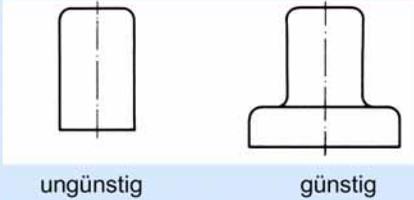


- Ecken und scharfe Kanten vermeiden, Innenkanten und Durchbrüche runden

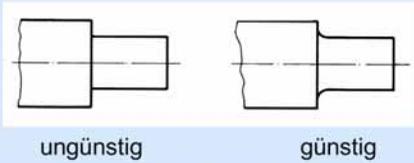
Bild 18: Spannungsspitzen vermeiden (2)

### Gestaltung von Bauteilen

- Spannungsspitzen vermeiden



- Große Auflageflächen sind günstiger

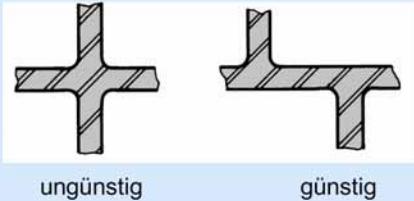


- Kerbwirkung vermindern

**Bild 19:** Spannungsspitzen vermeiden (3)

### Gestaltung von Bauteilen

- Materialanhäufungen vermeiden

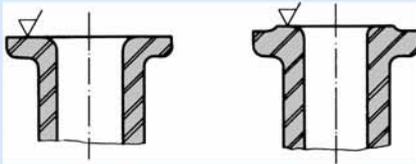


- Knotenpunkte auflösen

**Bild 20:** Materialanhäufungen vermeiden

### Gestaltung von Bauteilen

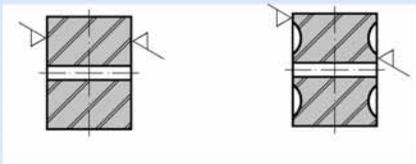
- Nachbearbeitung minimieren



ungünstig

günstig

- Bearbeitungsflächen gering halten und ggf. abheben



ungünstig

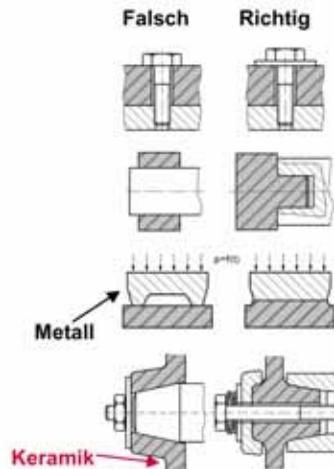
günstig

- Bearbeitungsflächen abheben

**Bild 21:** Nachbearbeitung minimieren

### Folgende Regeln gelten:

- Spannungsspitzen und Punktlasten vermeiden
- Druckbeanspruchung bevorzugen
- Schlag- und Stoßbeanspruchung vermeiden
- Zusatzbeanspruchung durch Wärmedehnung vermeiden



**Bild 22:** Nachbearbeitung minimieren

#### **2.4.4. Serieneinführung – vom Prototypen zum Serienteil**

Sind alle vorab genannten Punkte geklärt und eine für beide Seiten akzeptable Lösung gefunden, können die ersten Bauteile als Prototypen hergestellt werden. Diese werden z. B. aus vorgeformtem Vollmaterial herausgearbeitet. Auch die Herstellung eines Pilotwerkzeugs kann in Betracht gezogen werden. Damit können auch erste Kleinserien gefertigt werden. Die Herstellung nach dem Rapid Prototyping, wie derzeit im Metall- und Kunststoffbau üblich, ist bei keramischen Bauteilen industriell noch nicht möglich.

Bei der Neueinführung keramischer Teile spielt die Freigabeprüfungen durch den Kunden eine wichtige Rolle. Dem Anwender sollte klar sein, dass die Bauteileigenschaften oft formgebungsabhängig sind. Muster müssen daher i. d. R. serienfertigungsnah produziert werden.

Sind die Prototypen erfolgreich getestet und der Preis als weitere entscheidende Bauteileigenschaft entspricht den Vorstellungen des Kunden, kann der Bau eines Serienwerkzeugs beginnen. Wie jedoch meist in der Praxis üblich, sind vor der Serienfertigung eines Bauteils einige Optimierungsschleifen zu durchlaufen. Je nach Kundenwunsch erfolgt die Festlegung der Spezifika für die Bemusterung der Teile z. B. nach kundeneigenen Kriterien oder wie in der Automobilbranche üblich nach genormten Kriterien, wie z. B. PPAP.

Bei der anfänglichen Serienteilelieferung sollte schließlich eine Sensibilisierung der Wareneingangskontrolle und der Fertigung des Kunden für den „neuen, etwas anderen Werkstoff“ Keramik erfolgen. Lassen Sie sich also bei der Einführung eines keramischen Bauteils durch einen Keramikerhersteller begleiten und zu folgenden Punkten intensiv beraten:

- Werkstoff
- Geometrie
- Toleranzen
- Zeitlicher Ablauf

Damit ist gewährleistet, dass Sie ein optimales Keramikbauteil, auch bezüglich Preis-Leistungs-Verhältnis, erhalten.

### **2.4.5. Bemerkungen zu Preisfindung**

Der Preis eines keramischen Bauteils wird in erster Linie **nicht** vom Material bestimmt sondern durch Formgebung und Brand. Preisvergleiche sollten systemübergreifend sein.

### **2.4.6. Bemerkungen zu Lieferzeit**

Bei der Neueinführung keramischer Teile spielt die Freigabeprüfungen durch den Kunden eine wichtige Rolle. Dem Anwender sollte klar sein, dass die Bauteileigenschaften oft formgebungsabhängig sind. Muster müssen daher i. d. R. serienfertigungsnah produziert werden. Lieferzeiten sind daher auch abhängig vom Werkzeugbau. Formgebung und Brennen von Keramik sind aufwändige Verfahren. Ihr Keramikhersteller hilft gern bei speziellen Dispositionen, so dass Lieferzeiten keine Rolle spielen sollten.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 23) finden sich auf den folgenden Seiten.

# Einführung

## Hersteller-Service für Bauteile nach Kundenspezifikation

Dipl.-Ing.(FH) Ines Durmann  
Sembach GmbH  
Lauf a. d. Pegnitz



The infographic features a central silhouette of a person in a suit running to the right. They are holding a magnifying glass over a glowing lightbulb. The lightbulb is surrounded by several red triangles pointing outwards, suggesting an idea or innovation. The person is carrying a briefcase. The background is white with red text and a red vertical line on the left.

**Die Idee**

Optimierung

Miniaturisierung

Neue Baugruppe

Lebensdauererhöhung

**Die Aufgabe**

think  
**ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

2.4. Hersteller-Service - Folie 2

## Der erste Kontakt

---



Fachzeitschriften

Informationszentrum  
Technische Keramik

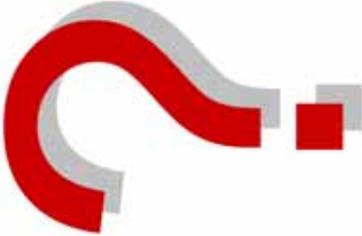


Seminar „Technische  
Keramik in der Praxis“

[www.keramverband.de](http://www.keramverband.de)

**Klärungsbedarf**

- Werkstoff
- Geometrie/Stückzahl
- Formgebungsverfahren
- Toleranzen
- Preisvorgaben



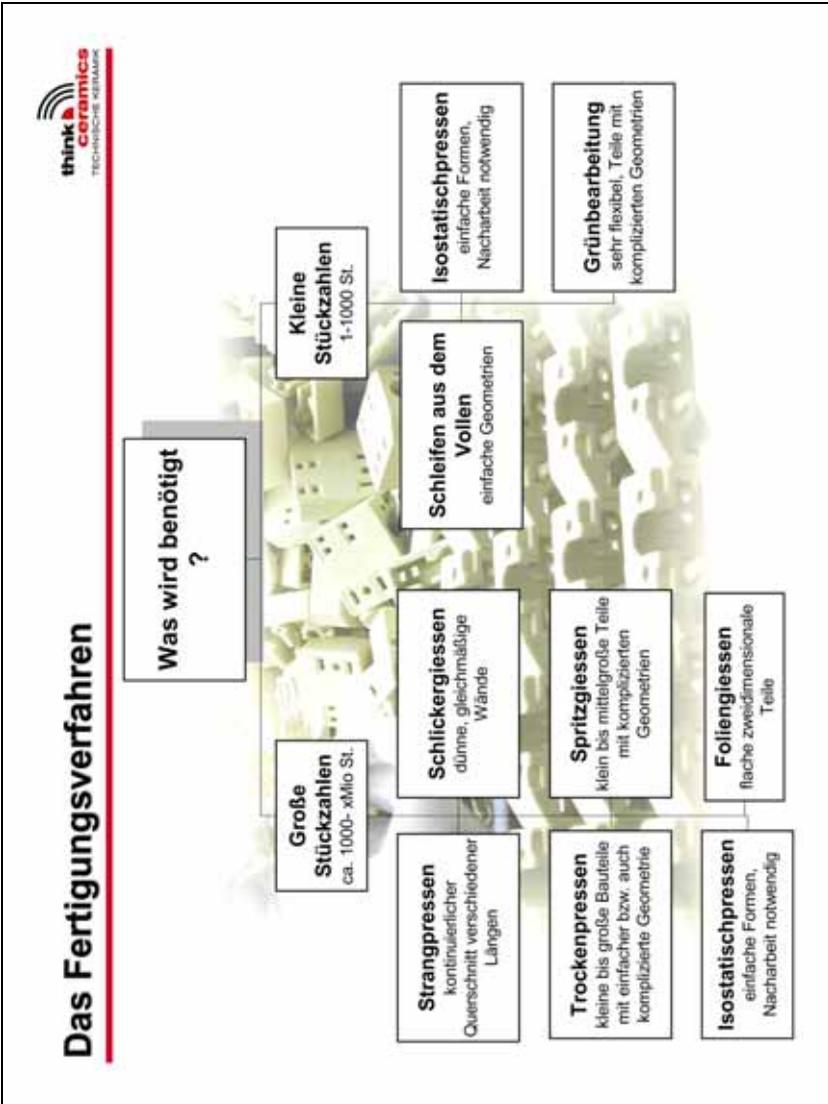
**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

think  
ceramics  
TECHNISCHE KERAMIK

## Anforderungsprofil

<p><b>Thermisch</b>            Wärmedehnung            Wärmeleitfähigkeit            max. Einsatztemperatur            Thermoschockbeständigkeit</p>	<p><b>Mechanisch</b>            Spezif. Gewicht            Festigkeiten            Härte            Reibeigenschaften</p>
<p><b>Elektrisch</b>            Durchschlagfestigkeit            Oberflächenwiderstand            dielektrische Verluste            Dielektrizitätszahl</p>	<p><b>Chemisch</b>            Säure- bzw.            Laugenbeständigkeit            UV-Beständigkeit            Beständigkeit gegen Schmelzen</p>

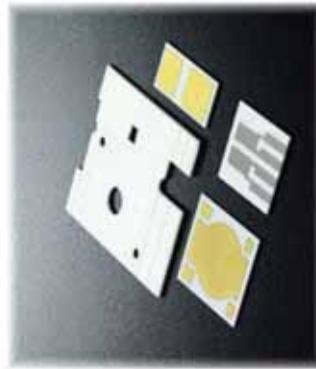
2.4. Hersteller-Service - Folie 5



2.4. Hersteller-Service - Folie 6

## Foliengießen

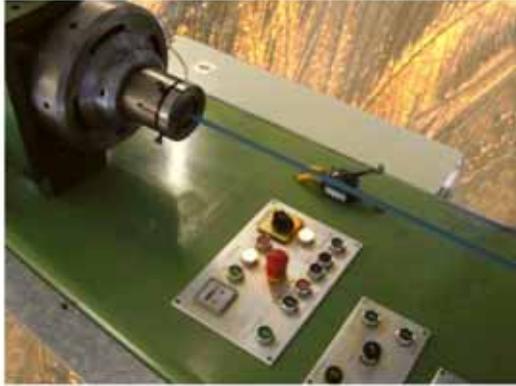
- Großflächige, dünne keramische Bauteile
- Bauteildicke 0,1 - 1,0 mm
- Mehrschichtaufbau möglich durch Laminieren



## Strangpressen (Extrusion)



- Einfache Achsen bis komplizierte Profile
- Achssymmetrische Querschnitte
- Klein-/Großserie



## Trockenpressen

- Äußerst komplexe Bauteile, abhängig vom Werkstoff
- Hochautomatisierter Prozess
- Großserie





## Isostatisch Pressen + Grünbearbeitung

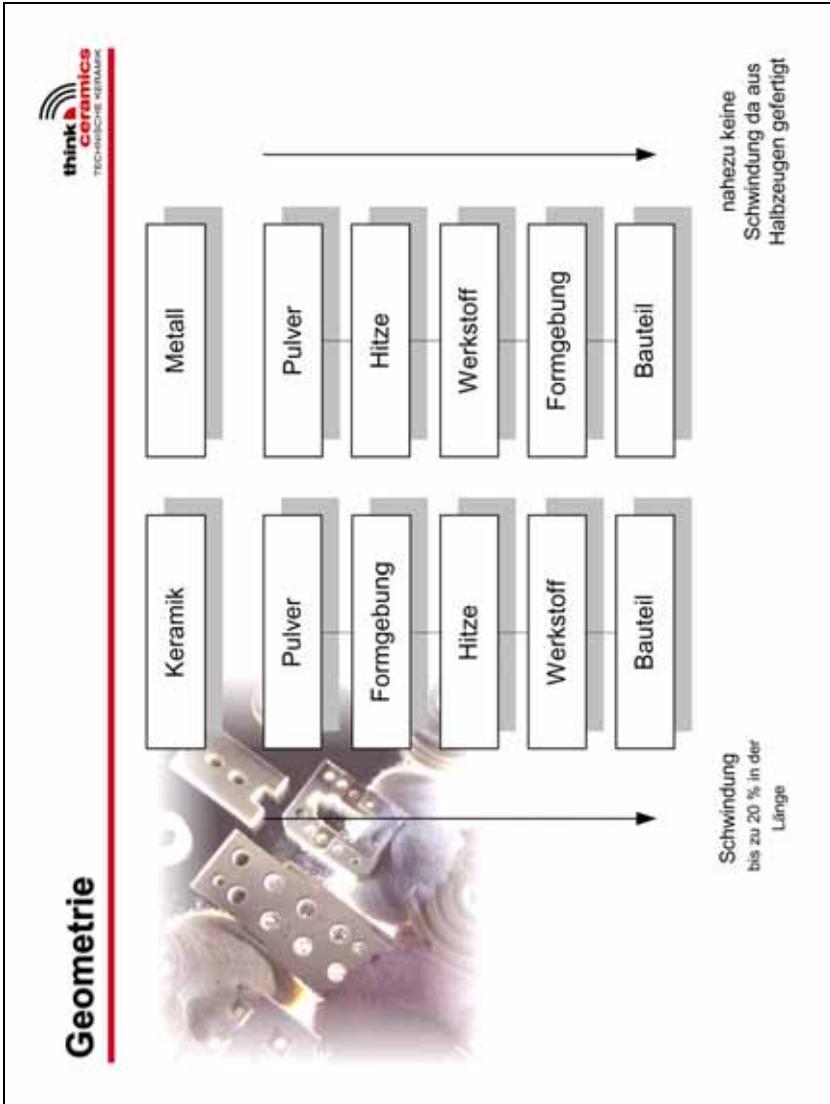
- Großvolumige Bauteile
- Kleinserie/Prototypen
- Mehrfachbearbeitung möglich



## Keramischer Spritzguß (CIM)

- Endkonturnahe Formgebung komplexer Geometrien
- Hoher Automatisierungsgrad möglich
- Wandstärke < 10 mm





2.4. Hersteller-Service - Folie 12

## Geometrie



### Herstellverfahren



- Gleichmäßige Verdichtung
- Entformbarkeit

### Mechanische Eigenschaften

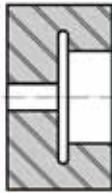


- Nachbearbeitung minimieren
- Bauteil auf Druck beanspruchen
- Kerbwirkung vermeiden

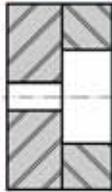
## Gestaltung von Bauteilen - 1



### *Einfache Formen anstreben*



ungünstig

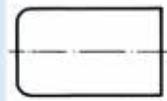


günstig

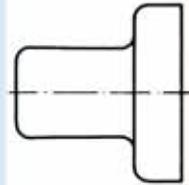
- Hinterschneidungen vermeiden
- Modulbauweise bevorzugen
- Ovale Teile vermeiden
- Absätze nach Möglichkeit vermeiden

## Gestaltung von Bauteilen - 2

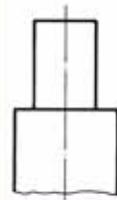
### Spannungsspitzen vermeiden



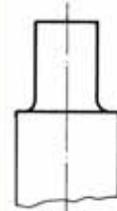
ungünstig



günstig



ungünstig



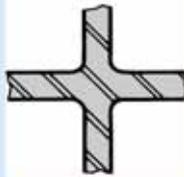
günstig

- Große Auflageflächen sind günstiger
- Kerbwirkung vermindern
- Ecken und scharfe Kanten vermeiden, Innenkanten und Durchbrüche runden
- Plötzliche Querschnittsänderungen vermeiden
- Lochabstände nicht zu klein bemessen

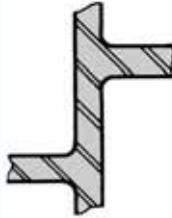
## Gestaltung von Bauteilen - 3



### Materialanhäufungen vermeiden



ungünstig

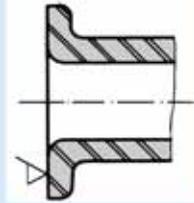


günstig

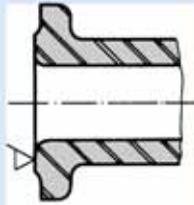
- Knotenpunkte auflösen
- Gleiche Wanddicken anstreben
- Keine dicken Ränder bei Formteilen

## Gestaltung von Bauteilen - 4

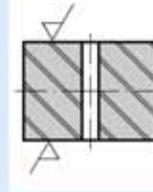
### Nachbearbeitung minimieren



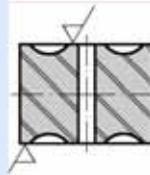
ungünstig



günstig



ungünstig



günstig

- Bearbeitungsflächen abheben
- Bearbeitungsflächen gering halten
- Nur unbedingt notwendige Anforderungen stellen
- Zu bearbeitende Flächen anfasen

## Toleranzen



DIN 40 680 Maß- und Formtoleranzen „as fired“,  
ohne weitere Bearbeitung

DIN ISO 2768 Toleranzen für hartbearbeitete  
DIN ISO 1101 Bauteile (z.B. geschliffen)

**Spezielles fertigungstechnisches  
Know-How ermöglicht die  
Einhaltung enger Toleranzen  
auch ohne Nachbearbeitung.**

## Kosten

Schwierigkeitsgrad	Forderungen an das keramische Bauteil	Entwurf wird entscheidend beeinflusst durch
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe mechanische 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>• Größere mechanische 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>• Verbindung mit anderen Bauteilen</li> </ul>	Formgebung und Nachbearbeitung (Maß- und Formtoleranz, Kosten) Spannungsverteilung im Verbund bei Belastung

think  
ceramics  
TECHNISCHE KERAMIK



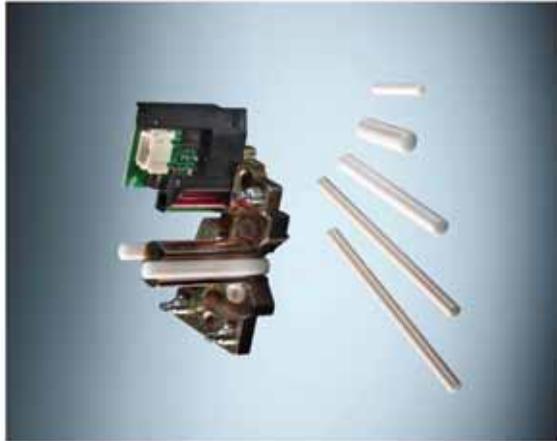
**Das geht in Keramik!**



2.4. Hersteller-Service - Folie 20



**Das geht in Keramik!**



2.4. Hersteller-Service - Folie 21

**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK



**Das geht in Keramik!**



The image contains two photographs of technical ceramic parts. The top photograph shows five individual components, including a large multi-pin connector and several smaller pieces, arranged on a light blue background. The bottom photograph shows a similar large connector being held by a thin metal probe, with two other components positioned nearby.

2.4. Hersteller-Service - Folie 22

**think**  
**ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

**Das geht in Keramik!**

**Die Lösung!**

2.4. Hersteller-Service - Folie 23