

2.2. Preisvergleich für unterschiedliche Hochleistungskeramiken im Maschinenbau

Keramische Maschinenbauteile im Kosten-Nutzen-Vergleich häufig überlegen

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Pohlmann

TeCe

Technical Ceramics GmbH & Co. KG

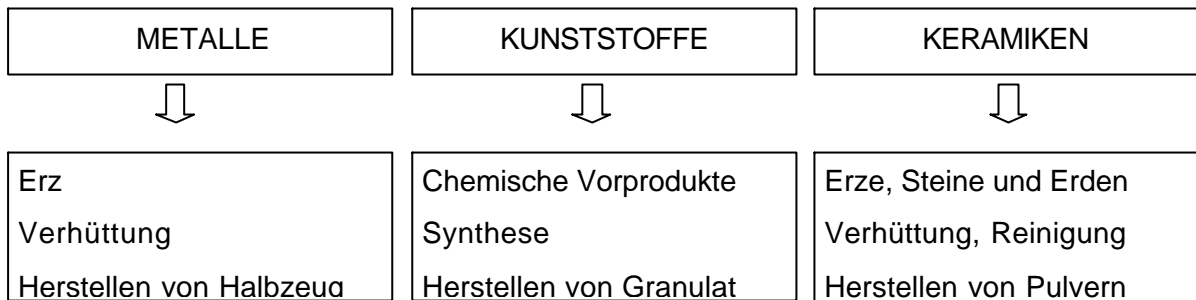
Selb

Die Vermittlung von Informationen über den Werkstoff Keramik ist eine wesentliche Voraussetzung für seine Akzeptanz. Die Anwender erwarten Verbesserungen überall dort, wo Metalle oder Kunststoffe wegen zu geringer Härte versagen, die Temperaturbeständigkeit nicht ausreicht oder chemische und mechanische Korrosion nicht beherrscht werden. Dies gilt insbesondere für mechanische Anwendungen, die typisch für die Strukturkeramik sind. Typische Vertreter dieser Werkstoffgruppe sind Materialien auf der Basis von Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Siliciumcarbid, Siliciumnitrid oder Aluminiumnitrid. Sie konkurrieren im Maschinenbau vor allem mit metallischen Werkstoffen wie Stahl oder Sonderlegierungen.

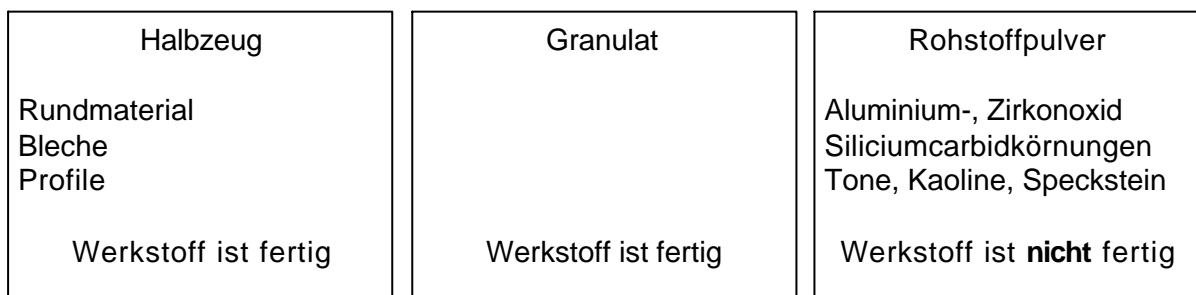
Anwendungen von Strukturkeramik gehören heute zum Stand der Technik, denkt man nur an Dichtscheiben für Wasserhähne, Gleitringe und Lager für Chemiepumpen, Pumpenkolben für Förder- und Abfüllmaschinen oder Verschleißschutzauskleidungen für technische Anlagen. Ständig wird die Palette der Anwendungen erweitert und im Zuge der Realisierungsphase müssen die Konstruktionsabteilungen sich häufig erstmalig mit diesem – aus der Sicht des an Metallkonstruktionen gewöhnten Ingenieurs – exotischen Material auseinandersetzen. Nach einigen Jahrzehnten Erfahrungen mit Bauteilen aus Technischer Keramik hat man die überragenden Werkstoffeigenschaften schätzen gelernt und die Nachteile, wie die Probleme bei der Berechnung von Bauteilfestigkeiten, durch konstruktive Maßnahmen überwunden. Bezüglich der Produktpreise beansprucht die Keramik keine Sonderstellung. Auch hier müssen die Preise eines verkaufsfähigen Produktes den anwendungsspezifischen Marktpreis treffen. Einzelstücke müssen teurer sein als Massenware, weil sie individuell gefertigt werden und alle entstehenden Kosten im Extremfall von einem Stück getragen werden.

Bei allen grundsätzlichen Gemeinsamkeiten der drei Werkstoffgruppen Metall, Kunststoff und Keramik gibt es jedoch einen gravierenden Unterschied: Wenn man Metalle oder Kunststoffe bearbeitet, ist in der Regel der Werkstoff fertig. Nicht so bei der Keramik. Und hier beginnen auch die Probleme, wenn man Vergleiche bei den Herstellkosten anstellen will.

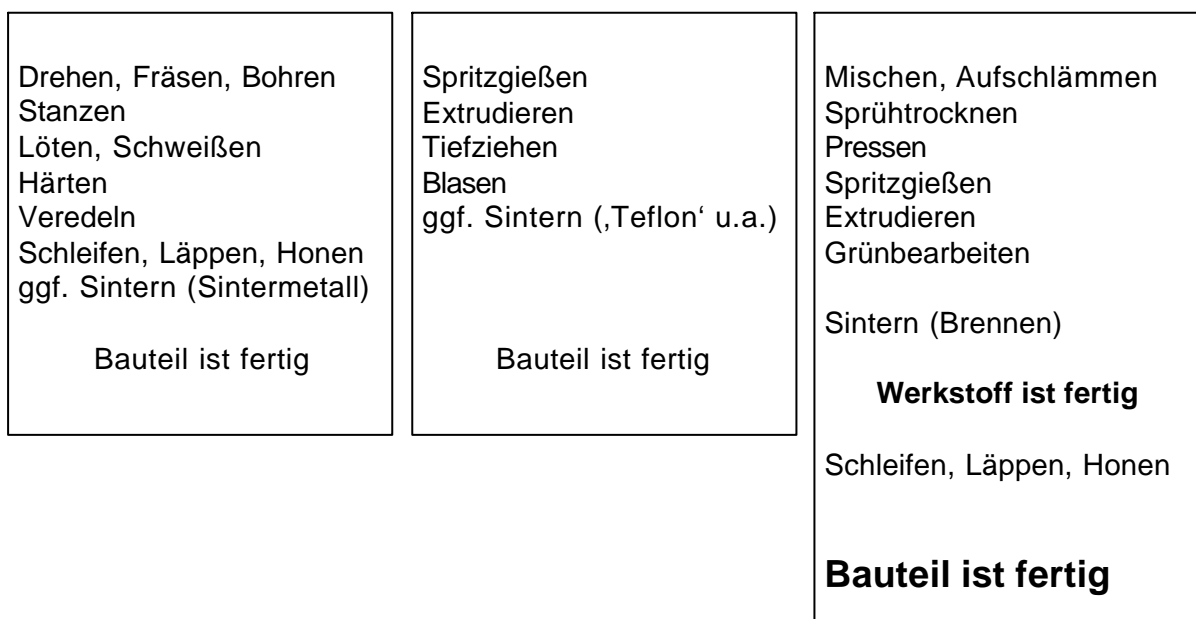
Durch die nachfolgende Darstellung soll dieser Unterschied verdeutlicht werden.



Der Bauteilhersteller kauft vom Vorproduzenten:



... und formt das Bauteil mittels



Bei Metallen und Kunststoffen (Polymere) erfolgt die Formgebung der Bauteile am fertigen Werkstoff. Ein ST 37 – Rundmaterial wird gedreht, gefräst oder gebohrt. Aluminiumlegierungen werden zu Zylinderblöcken oder Türklinken gegossen und mechanisch nachbearbeitet. Eisen wird zu Bahnschienen gewalzt und Aluminiumprofile werden extrudiert. Zinklegierungen werden spritzgegossen oder dünne Stahlbleche durch Tiefziehen verformt oder gestanzt. Das Material selbst bleibt weitgehend unverändert.

Anders verhält es sich bei der Keramik: Hier werden die Mischungen der Rohstoffe verarbeitet. Aluminiumoxid- Pulver wird zusammen mit temporären Bindemitteln zu Bauteilen gepreßt, extrudiert oder spritzgegossen. Isostatisch hochverdichtete Preßkörper werden durch Drehen oder Fräsen bearbeitet und erhalten so die Form des gewünschten Bauteils. Man bezeichnet diesen Zustand mit dem Wort ‚grün‘, was so viel bedeuten soll wie ‚unfertig‘ oder noch nicht ausgereift. In jedem Fall handelt es sich jetzt noch nicht um einen keramischen Werkstoff mit seinen typischen Eigenschaften wie hohe Härte oder Temperaturbeständigkeit. In der Regel enthalten diese Grünkörper sogar mehrere Rohstoffe, die erst im Brand bei hohen Temperaturen miteinander reagieren und den gewünschten keramischen Werkstoff entstehen lassen.

Vergleiche mit Metallen und Kunststoffen sind bezüglich der Herstellkosten sehr schwierig bis unmöglich. Auch ein Preisvergleich der eingesetzten Rohstoffe ist für eine Abschätzung der Herstellkosten durch Dritte ungeeignet, denn je nach Bearbeitungstiefe und Bauteilgeometrie kann der Anteil der Rohstoffkosten an den Gesamtkosten zwischen 5 und vielleicht 50 Prozent der gesamten Herstellkosten liegen. Der Keramikhersteller muß, wie jeder Produzent von Gütern, nach Prüfung der technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz der von ihm hergestellten Ware im eigenen Hause festlegen, welcher keramische Werkstoff für den angegebenen Einsatz am besten geeignet ist und welches Formgebungsverfahren er wählt. Aus den Kundenangaben über die zu erwartende Stückzahl pro Jahr, die Ausführungsform der Produkte und die Qualitätsanforderungen wird er dann ein Preisangebot ableiten können. Hierin unterscheidet sich die Keramikindustrie dann wieder in keiner Weise von anderen Branchen.

In der Wahl des wirtschaftlichsten Fertigungsverfahrens steht der keramischen Technologie für die Herstellung von Technischer Keramik eine Vielzahl von Möglichkeiten offen. Diese umfassen „klassische,, Methoden wie Schlickergießen, Extrudieren über Pressen in den Varianten Isostatisch Pressen plus Grünbearbeitung, Trockenpressen oder gar Heißpressen bis hin zu

typischen Kunststofftechnologien wie Spritzgießen oder Foliengießen. Dazu kommen nach den keramischen Brand noch Hartbearbeitungsverfahren wie Schleifen oder Läppen. Diese breite Verfahrenspalette wird erst möglich durch die Verwendung von Zusatzstoffen wie die temporären Binde- und Gleitmittel, die meist organische Stoffe sind und vor dem keramischen Brennprozeß wieder entfernt werden müssen. Dazu zählen Klebstoffe, Öle, Wachse oder verflüssigende Substanzen, die dem meist sandigen Rohstoffgemisch erst die erforderliche Konsistenz geben.

Bekannte keramische Formgebungsverfahren für Großserien sind das Spritzgießen, Schlickergießen, Foliengießen oder Trockenpressen. Hier können die in der Regel hohen Formkosten auf eine große Stückzahl von Bauteilen umgelegt werden. Eine interessante Möglichkeit für die Kleinserienfertigung bietet die Grünbearbeitung von isostatisch gepreßten Rohkörpern durch typische Metallbearbeitungstechniken wie Drehen, Fräsen oder Bohren. Sie stellt sowohl für die Musterfertigung als auch für die Herstellung von Klein- und Mittelserien eine relativ kostengünstige Alternative zur Serienfertigung dar. Der Bedarf an Kleinserien ist groß: Entweder braucht man Ausfallmuster, die Zahl der benötigten Bauteile ist insgesamt gering oder die Ausführungsform (Größenabstufungen, Bearbeitungsvarianten) weicht von der Standardgeometrie ab. Der nachfolgend beschriebene Fertigungsweg ist typisch für Maschinenbauteile aus Siliciumcarbid, Siliciumnitrid, Aluminiumoxid oder Zirkonoxid.

1. Aus dem auf Vorrat hergestellten Preßgranulat (Rohstoffe plus organische Hilfsstoffe) wird mittels isostatischer Preßtechnik ein Rohkörper hergestellt. Die dafür benötigten Gummiformen sind in der Regel kostengünstig und im Unternehmen vorhanden.
2. Dieser Rohkörper wird auf Metallbearbeitungsmaschinen durch Drehen, Fräsen oder Bohren bearbeitet, wobei die beim Sintern eintretende Schrumpfung (Schwindung) den Fertigmaßen zugeschlagen werden muß.
3. Die organischen Stoffe werden in der Regel separat thermisch entfernt, in Einzelfällen auch im keramischen Sinterbrand.
4. Im keramischen Sinterbrand erfolgt die Umsetzung der Rohstoffe zur gewünschten Keramik, in der Regel bei hohen Temperaturen (bei gesintertem Siliciumcarbid bei über 2.000 Grad).
5. Eng tolerierten Abmessungen oder Funktionsflächen werden geschliffen, gehont oder geläppt und poliert.

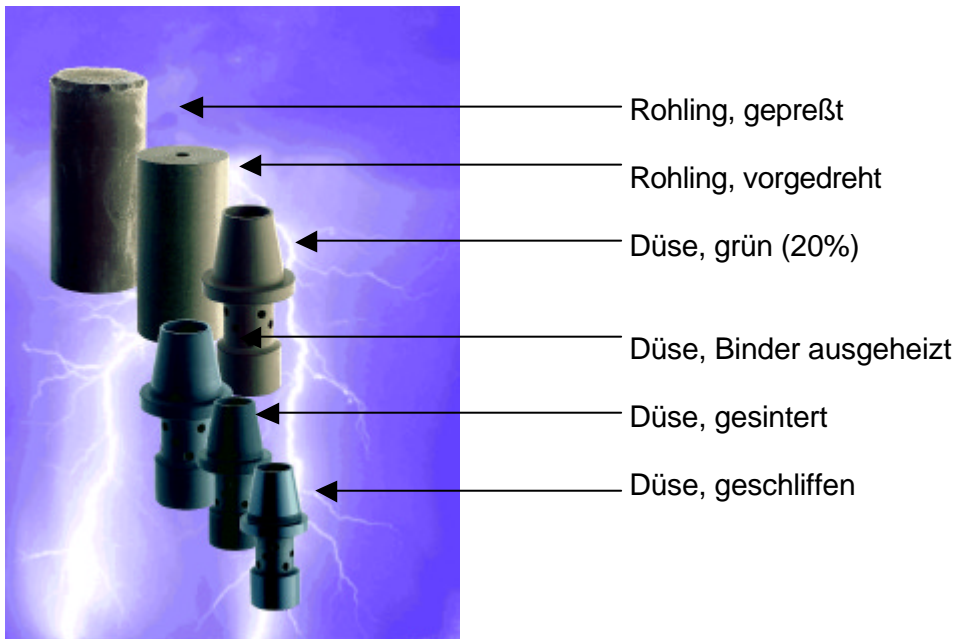


Bild 1: Typischer Ablauf für die Herstellung von keramischen Bauteilen durch Pressen und Grünbearbeitung.

Zusammengefaßt ergeben sich für die Wahl des geeignetsten Herstellverfahrens von keramischen Bauteilen folgende Regeln:

- Die Formgebung von Kleinserien und Einzelstücken erfolgt am vorteilhaftesten durch Pressen und Grünbearbeitung. Es entstehen praktisch keine Kosten für die Preßform, dafür fallen durch die individuelle Formgebung auf Drehbänken und Fräsmaschinen Kosten für die maschinelle Bearbeitung der Formteile an. Bauteildimensionen können ähnlich wie bei der Metallbearbeitung realisiert werden, allerdings eingeschränkt durch die besonderen Erfordernisse der Gestaltung von Keramikbauteilen. Im Vergleich zu Serienfertigungstechniken ist der kostensenkende Effekt der umgelegten Kosten auf den Preis für das Einzelstück bei steigender Losgröße begrenzt. Es ergeben sich jedoch deutliche Vorteile für die Lieferzeiten im Bereich kleiner und mittlerer Losgrößen. Typischen Losgrößen pro Auftrag sind im Bereich Maschinenbauteile 1 bis etwa 5.000 Stück, die nach dem Grünbearbeitungsverfahren kostengünstig herzustellen sind.
- Für Mittel- und Großserien stellt die keramische Technologie Serienfertigungsverfahren wie das Trockenpressen, Spritzgießen oder Extrudieren bereit. Je nach Bauteilgestaltung können erhebliche Formkosten und lange Lieferzeiten für den Formenbau entstehen. Unter

Berücksichtigung der Nutzungsdauer der Formen ergibt sich ein positiver Effekt durch die Umlage der Formenkosten auf eine möglichst große Stückzahl der gefertigten Bauteile. Die Losgrößen liegen hier bei etwa 10.000 und darüber.

Allerdings ist es schwer, hier eine allgemeingültige Regel aufzustellen, denn bei geeigneten Bauteildimensionen kann der Bereich der kostengünstigen Formgebung mittels Grünbearbeitung auch auf höhere Stückzahlen ausgeweitet werden, insbesondere dann, wenn Hinterschneidungen, zu große Wanddicken oder besondere Anforderungen an die Form- und Lagetoleranzen ohne Nachbearbeitung durch Schleifen bestehen.

Keramische Rotoren für Exzentrerschneckenpumpen sind ein gutes Beispiel für die letztgenannte Forderung: Die bisher aus Metall gefertigten Rotoren unterliegen in besonders aggressiven Medien einem starken Verschleiß (Bild 2). Neu entwickelte Rotoren aus SiC-Keramik (Bild 3) haben eine bis zu 20-fache Standzeit und ermöglichen gleichzeitig die Anwendung dieser Pumpen in neuen Anwendungsfeldern, die bisher durch die chemische Korrosion der Metallrotoren – auch solche aus Superlegierungen – nicht besetzt werden konnten. Der Preis der Keramikrotoren ist deutlich höher als der für Metallrotoren, jedoch unter Berücksichtigung des Verhältnisses von Kosten zu Nutzen schneiden die Keramikrotoren durch ihre extrem lange Standzeit äußerst vorteilhaft ab (Bilder 4 und 5). Hier kann aus Sicht der Keramikhersteller nicht nachdrücklich genug auf den hohen Nutzen für die Anwender durch lange Standzeit und die damit verbundenen verringerten Kosten des Betreibers durch stark reduzierte Stillstandszeiten hingewiesen werden.



Bild 2: Verschlossener Metallrotor einer Exzentrerschneckenpumpe

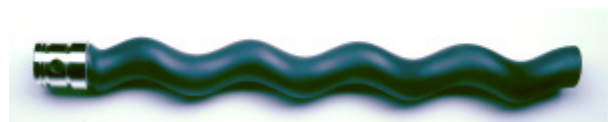


Bild 3: Keramischer Rotor

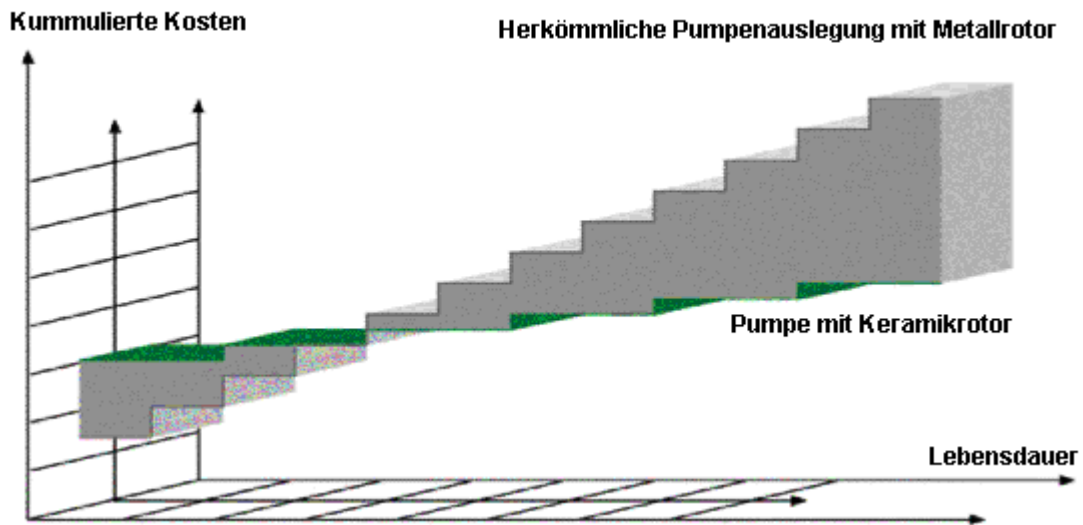


Bild 4: Kostenvergleich für Exzentrerschneckenpumpe mit Metallrotor und Keramikrotor

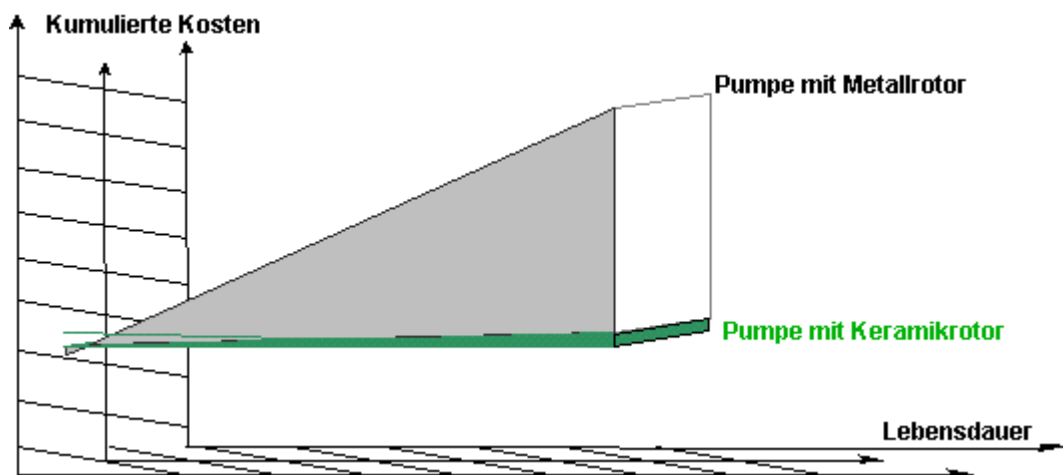


Bild 5: Kostenvergleich für den Einsatz von Exzentrerschneckenpumpen mit Metall- und Keramikrotoren in der Chemischen Industrie.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die keramische Industrie eine Vielzahl von Formgebungs- und Herstellverfahren für Bauteile aus den verschiedensten keramischen Materialien anbietet. Trotz stark steigender Zahl der Anwendung von keramischen Maschinenbauteilen erfordern diese Produkte immer noch einen erhöhten Beratungsaufwand durch den Hersteller, bedingt durch die große Variationsvielfalt von Werkstoffen, Herstelltechniken und den besonderen Anforderungen dieses Werkstoffes an die Konstruktion der Bauteile. Durch die Besonderheit der keramischen Technologie, daß die Formgebung in der Regel im ungebrannten Zustand erfolgt, lassen sich weder zum Metall noch zum Kunststoff allgemeingültige Parallelen hinsichtlich der Herstellkosten ziehen.

Die Preisgestaltung für diese keramischen Produkte muß diese Tatsache berücksichtigen, sie unterliegt aber im übrigen den gleichen kaufmännischen Grundsätzen wie sie für Produkte aus Metall oder Kunststoff angewendet werden. Die Keramik bietet in solchen Bereichen einen hohen Kundennutzen, in denen sie hinsichtlich ihrer Werkstoffeigenschaften konkurrenzlos ist. Sie ist in der Regel deutlich härter als vergleichbare Materialien, sie ist biegesteifer, hat häufig eine höhere Festigkeit und ist vor allem bezüglich der Verschleißfestigkeit und der Temperaturbeständigkeit den Wettbewerbsmaterialien deutlich überlegen. Vorteilhafte Kombinationen dieser Eigenschaften verstärken diese Vorrangstellung noch.