

4. Vortragsblock 3

4.1 Kostensituation bei verschiedenen Herstellverfahren und keramischen Werkstoffen

- André Hiemann
Schunk Ingenieurkeramik GmbH
Willich-Münchheide

Die Folien finden Sie ab Seite 265.

4.1.1. Einleitung

Die Hersteller technischer Keramik haben sich bedingt durch ihre Produktpalette auf unterschiedliche Werkstoffe und / oder auf unterschiedliche Herstellverfahren spezialisiert. Daraus resultiert, dass die Fertigung ein und desselben Bauteils aus dem gleichen Werkstoff bei verschiedenen Herstellern unterschiedliche Kosten verursacht und somit zu unterschiedlichen Preisen angeboten wird.

Am Beispiel eines einfachen geometrischen Körpers sollen diese Unterschiede an Hand der Herstellverfahren grob umrissen sowie der Einfluss der Stückzahlen mit berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden unterschiedliche Kostensituationen infolge der mechanischen Bearbeitung bei verschiedenen Werkstoffen beleuchtet.

4.1.2. Oft gestellte Fragen

Hersteller technischer Keramik werden oft mit folgenden oder ähnlichen Fragen konfrontiert:

- Warum ist Keramik gegenüber Metallen so teuer?
- Welche Keramik ist für den industriellen Einsatz am „billigsten“?
- Warum sind die Kosten eines Bauteils bei verschiedenen Herstellern unterschiedlich?

(unter Vernachlässigung evtl. Standortvorteile)

Vortragsblock 3

Um diese Fragen zu beantworten muss zunächst die Herstellung von Metall und Keramik beleuchtet werden. Während bei Metallen die fertigen Stähle in großen Mengen als Halbzeuge vorliegen und beliebige Bauteile aus diesen kommerziell erhältlichen Halbzeugen mittels üblicher Metallbearbeitungsmaschinen gearbeitet werden können, ist es bei Keramik anders.

Hier liegen die einzelnen Rohstoffe als Pulver in Korngrößen von wenigen μm vor, aus denen bei den Herstellern im Zuge der Produktionskette das fertige keramische Bauteil entsteht. Einer der wichtigsten Unterschiede zu den Metallen ist, dass zuerst die Form des späteren Bauteils und erst danach im Ofenprozess bei hohen Temperaturen das eigentliche keramische Material entsteht. Je nach konkretem Bauteil muss dieses in kostspieligen Prozessen mit Diamantwerkzeugen bearbeitet werden. Das heißt aber nicht, dass Keramik prinzipiell immer teurer in der Beschaffung sein muss als gleiche Bauteile aus Metall. Der in den letzten Jahren ständig gestiegene Weltmarktpreis von Stahl hat dazu geführt, dass immer mehr Bauteile aus Keramik durchaus zu gleichen Kosten oder günstiger zu beschaffen sind als Metallbauteile. Nicht allein die Bauteilpreise in der Beschaffung dürfen entscheiden, aus welchem Material ein Bauteil eingesetzt wird. Neben den eigentlichen Beschaffungskosten haben auch alle anderen diesbezüglichen Kosten wie z. B. der Instandhaltungsaufwand in Verbindung mit Anlagenstillstand und die eigentliche Lebensdauer direkten Kosteneinfluss und müssen komplex betrachtet werden.

Das gilt natürlich auch für Bauteile aus unterschiedlichen Keramiken. Die Frage nach der kostengünstigsten Keramik kann demzufolge nicht pauschal beantwortet werden, sondern hängt in entscheidendem Maß vom Anwendungsfall ab.

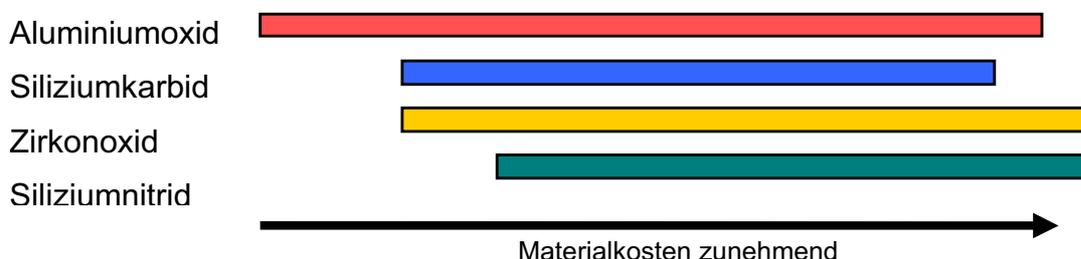


Bild 1: Materialkosten keramischer Werkstoffe (schematisch)

Das Aluminiumoxid kann z. B. je nach Korngröße und erforderlicher Reinheit sehr unterschiedliche Materialkosten aufweisen. In Bild 1

sind schematisch die Unterschiede der Materialkosten verschiedener Keramiken, die vorrangig für den Maschinenbau eingesetzt werden, dargestellt. Das reicht jedoch für Kostenbetrachtungen allein nicht aus.

Nicht das keramische Bauteil mit geringen Materialkosten ist unbedingt auch das Kostengünstigste im Einsatz - sondern das Bauteil aus genau dem Werkstoff, der unter den konkreten Bedingungen im Einsatz ein Optimum darstellt. Kostengünstige Bauteile aus einem keramischen Material, welches nicht dem Anforderungsprofil entspricht wird nur eine kurze Lebensdauer aufweisen und muss demzufolge häufiger getauscht werden als ein gleiches Bauteil aus einem relativ teuren keramischen Material, das wesentlich längere Standzeiten aufweist.

4.1.3. Auswahl an Einflussgrößen auf die Bauteilkosten

Im folgenden Abschnitt soll versucht werden verschiedene Kosten in verschiedenen technologischen Schritten unter Einbeziehung relevanter Einflussgrößen zur Herstellung eines keramischen Bauteils darzulegen.

4.1.3.1. Keramischer Rohstoff und dessen Weiterverarbeitung

Dazu gehören im Wesentlichen

- die Beschaffungskosten für den Rohstoff sowie die notwendigen Binder- und Inhaltstoffe,
- das Aufbereiten (Zerkleinern, Mischen, Homogenisieren) und
- die Weiterverarbeitung zu Pressgranulat, Gießschlicker oder plastischer Extrudiermasse.

Die Beschaffungskosten hängen natürlich vom keramischen Material selbst (Bild 1), dessen erforderlicher Reinheit und Korngröße ab. Ebenso verhält es sich mit der Aufbereitung und der Weiterverarbeitung, wobei die vorhandenen Anlagen und die zum Einsatz kommende Technologie auch eine zu berücksichtigende Rolle spielen. Bei Erreichen einer kritischen Masse oder bei Spezialwerkstoffen kann es sinnvoll sein keine eigene Aufbereitung zu betreiben sondern das zur

Weiterverarbeitung notwendige Granulat vom Rohstoffhersteller selbst zu beziehen.

4.1.3.2. Formgebung

Dabei handelt es sich um einen Teilschritt, in dem aus dem oben genannten Pressgranulat (Trockenpressen, isostatisches Pressen), aus Gießschlicker (manuelles oder maschinelles Gießen) oder aus plastifizierter Masse (Extrudieren) ein keramischer Rohling erzeugt wird.

Hier sind vor allem die Werkzeugkosten zu nennen, die je nach Komplexität der Werkzeuge oder dem zu erwartenden Werkzeugverschleiß sehr unterschiedlich ausfallen können. Ebenso kommen unterschiedlich aufwändige Verfahren zum Einsatz.

4.1.3.3. Zwischenschritte

Damit sind in der Regel diverse Qualitätskontrollen sowie das Handling mit den Bauteilen während der Herstellung (z .B. Reinigen, Sandstrahlen usw.) verbunden. Oft ist ein nicht zu unterschätzender Aufwand erforderlich, um ein Bauteil, das ursprünglich aus Metall bestand und nun in Keramik gefertigt werden soll, keramisch anzupassen. Diese Zwischenschritte sollen jedoch für die weiteren Betrachtungen außer acht gelassen werden.

4.1.3.4. Bearbeitung

Dies ist einer der kostenintensivsten Produktionsschritte.

Man unterscheidet zwischen „Grünbearbeitung“ und „Hartbearbeitung“. Während der Grünbearbeitung (nach der Formgebung am noch ungebrannten keramischen Material) wird bei Notwendigkeit mittels Drehen, Fräsen, Bohren, Sägen usw. das eigentliche Bauteil herausgearbeitet. Hierbei findet großer Materialabtrag statt.

Die Bearbeitungswerkzeuge bestehen in der Regel aus polykristallinen Diamantplättchen, da schon das ungebrannte keramische Material sehr schleißend wirkt. Eine Nacharbeit der stumpfen Werkzeuge kann nur bedingt stattfinden und ist aufwändig und teuer.

Entscheidenden Einfluss auf die Standzeit der Werkzeuge hat neben der Korngröße des zu bearbeitenden keramischen Materials vor allem

das Material selbst. Siliziumnitrid lässt sich z. B. um ein vielfaches schlechter Bearbeiten (sehr kurze Werkzeugstandzeit) als z. B. Aluminiumoxid. Unterschiedliche Zerspanbarkeit (Volumen/Zeit) der verschiedenen Keramiken beeinflussen den eigentlichen Grünbearbeitungsprozess zeitlich und gehen so ebenfalls direkt in die Kosten ein.

Die Hartbearbeitung findet nach dem Ofenprozess statt und dient im Allgemeinen der Einhaltung von Maß-, Form- und Lagetoleranzen mittels Schleifen. Dabei wird mit wassergekühlten Diamantschleifscheiben mit sehr hoher Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit gearbeitet, wobei nur minimaler Abtrag erzielt wird. Natürlich kommt dem zu bearbeitenden Werkstoff eine ähnliche Rolle zu wie in der Grünbearbeitung. Es gibt keramische Werkstoffe, die Schleifscheiben scharf halten bis hin zu Werkstoffen, die Schleifscheiben „verschmieren“ und stumpf werden lassen. Hier zeigen sich in der Regel Oxide als relativ gut zu bearbeitende Materialien.

Darüber hinaus können bei Bedarf auch dreidimensionale Strukturen mittels Lasern, Erodieren, Ultraschallschwingläppen / Ultraschallbohren usw. in das keramische Material eingebracht werden. Die Bearbeitungsgeschwindigkeiten sind dabei um ca. den Faktor 10 niedriger als bei Stahl. Aufgrund der sehr hohen Kosten werden diese Sonderbearbeitungsverfahren nur in seltenen Fällen eingesetzt.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Kosten der Hartbearbeitung ist die Reproduzierbarkeit des keramischen Materials in der gesamten Herstellungskette und damit die Erzielung eines definierten optimalen Schleifaufmass. Ein Optimum ist meist erreicht, wenn Ausrichteinwand in der Einspannung und Bearbeitungszeit in einem sinnvollen Verhältnis zueinander stehen.

4.1.3.5. Ofenprozess

Auch dieser Arbeitsschritt ist sehr kostenintensiv.

Keramische Materialien werden zwischen ca. 1.300°C bis > 2.000°C gebrannt, was allein schon entsprechend Energie- und Kostenintensiv wirkt. Dabei kann die Brenndauer von einigen Stunden bis zu mehreren Tagen reichen.

Oxide werden in der Regel unter Sauerstoffatmosphäre gebrannt, je nach Ofentyp mit direkter Flammenbeheizung oder mittels elektrischer Beheizung. Diverse Siliziumkarbide und Siliziumnitrid müssen unter

Ausschluss von Sauerstoff in speziellen Öfen unter Vakuum bzw. Schutzgas gebrannt werden. Neben dem zu brennenden Material (Temperaturführung) und dem verwendeten Ofentyp spielt das Fassungsvermögen des Ofens eine kostenrelevante Rolle. Das wird besonders deutlich bei großvolumigen Teilen und langen Brennzyklen, bei denen es einen Unterschied darstellt, ob in einem Ofen z. B. 3 oder 4 Bauteile gleichzeitig gebrannt werden können. Die Betriebskosten für eine Ofenfahrt sind dabei in etwa gleich, müssen aber kostenseitig auf verschiedene Stückzahlen verteilt werden.

In einem Ofen gibt es aufgrund seines Brennvolumens und der Anordnung der Heizelemente unterschiedliche Temperaturverteilungen. Die Temperatur am Bauteil selbst hat einen großen Einfluss auf das Schwindungsmaß dieses Bauteils, das materialabhängig bis über 20 Volumenprozent liegen kann. Damit wird deutlich, welchen Einfluss eine gleichmäßige Ofentemperatur auf den weiteren Bearbeitungsaufwand in der Hartbearbeitung hat.

4.1.4. Beispiel

Anhand eines sehr einfachen geometrischen Körpers (Ring $\text{Ø}80 \times \text{Ø}50 \times 10 \text{mm}$) soll versucht werden zu verdeutlichen, wie verschiedene Herstellverfahren auf die Kosten einwirken. Die dargestellten Kostenverteilungen sind in sich selbst und untereinander nicht maßstäblich, sondern sollen einen Trend verdeutlichen.

Es muss an dieser Stelle noch einmal hervorgehoben werden, dass kein Hersteller technischer Keramik alle keramischen Werkstoffe gleichzeitig herstellen kann und darüber hinaus alle Herstellverfahren beherrscht. Deshalb liegt es nahe, dass es Kostenunterschiede geben muss.

Ausgehend von den Einsatzbedingungen wird ein keramischer Werkstoff bestimmt. Danach folgt anhand der Bauteildimension oder / und der Bauteilgeometrie unter Berücksichtigung notwendiger Bauteilstückzahlen die Wahl eines oder mehrerer wirtschaftlicher Herstellverfahren. Bei unterschiedlichen Stückzahlen können unterschiedliche Herstellverfahren sinnvoll sein.

Im Folgenden sollen unterschiedliche Herstellverfahren des gleichen Materials beim gleichen Hersteller für eine angenommene Kostenverteilung zugrunde gelegt werden. Weiter unten werden unterschiedliche Hersteller betrachtet.

4.1.4.1. Variante 1

Der oben genannte Ring wird in kleinen Stückzahlen benötigt, die geforderten Toleranzen sollen an den Durchmessern nach DIN 40680-m ($\varnothing 80 \pm 1,4\text{mm}$) eingehalten werden. Zur Herstellung derartiger Teile in kleinen Stückzahlen sind zwei Verfahren wirtschaftlich sinnvoll.

Herstellverfahren „A“ - Schleifen aus einem vorhandenen bereits gebrannten Rohrabschnitt oder

Herstellverfahren „B“ - Isostatisches Pressen eines Rohrabschnitts, nachfolgende Grünbearbeitung zu Ringen und Brennen.

Die Kosten können sich wie in Bild 2 dargestellt aufteilen.



Bild 2: Angenommene Kostenverteilung Variante 1

Es wird dabei weiter angenommen, dass der in „A“ benötigte Rohling für derartige Zwecke lagerhaltig vorliegt oder zugekauft wurde. Dieses Vorgehen ist üblich um sehr kurze Lieferzeiten von wenigen Tagen zu realisieren. Die bisher entstandenen Kosten zur Herstellung dieses Rohlings wurden in diesem Fall als Rohstoffkosten deklariert. Es entstehen im weiteren Herstellungsprozess lediglich Hartbearbeitungskosten um den Rohrabschnitt mittels Trennen und Schleifen zu einem fertigen Ring zu bearbeiten. Da nicht immer konturnahe Rohlinge vorliegen, können je nach Bearbeitungsaufmass diese Bearbeitungskosten sehr unterschiedlich ausfallen.

Bei „B“ wird aus Pressgranulat mittels isostatischen Pressen ein Rohrrohling hergestellt, der im noch ungebrannten Zustand unter eventuel-

ler Berücksichtigung von Volumenschwindungen während des Brands in einem Grünbearbeitungsprozess zu Ringen auf Endmaß weiter bearbeitet wird. Im nachfolgenden Ofenprozess erhält das Material seine endgültigen Werkstoffeigenschaften und Härte. Hartbearbeitung ist aufgrund der geforderten Toleranzen nicht notwendig.

Je nach Material wird bei unterschiedlichen Atmosphären, Ofenhaltezeiten und Temperaturen gebrannt. Ebenso können darüber hinaus je nach Material mehrere Hochtemperaturprozesse notwendig sein, was ebenso wie der zur Verfügung stehende Ofentyp und die Ofengröße kostenrelevant wirkt. Die Kostenverteilung wird sich bei unterschiedlichen Materialien dementsprechend gegenüber Bild 2 ändern.

4.1.4.2. Variante 2

Hier wird angenommen, dass die unter Variante 1 beschriebenen Ringe engere Maßtoleranzen an den Durchmessern nach DIN ISO 2768-f ($\varnothing 80 \pm 0,15\text{mm}$) einhalten müssen. Diese Durchmesser-toleranzen kann man bei den meisten keramischen Materialien dieser Dimension aufgrund einer Volumenschwindung während des Brennens ohne Hartbearbeitung nicht erzielen. Hier wird deshalb angenommen, dass man zum Erreichen der Toleranzen die Durchmesser Schleifen muss.

Die Kostenverteilung kann sich dann wie in Bild 3 darstellen.

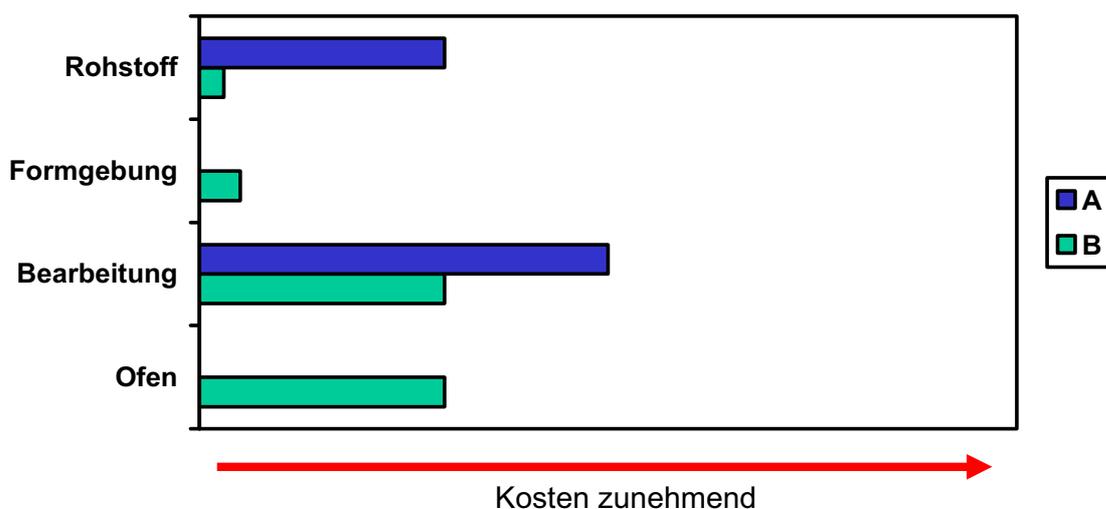


Bild 3: Angenommene Kostenverteilung Variante 2

Bei Variante 2 werden sich bei „A“ die Kosten im Vergleich zu Variante 1 nicht wesentlich ändern, da dort bereits die Hartbearbeitung

berücksichtigt wurde. Die niedrigeren Toleranzen von $\pm 0,15\text{mm}$ erfordern dabei keinen aufwändigeren Schleifprozess.

Beim Herstellungsverfahren „B“ wird zusätzlich die Hartbearbeitung der gebrannten Ringe notwendig. Der Hersteller wird hierbei darauf achten, dass er in der gesamten Fertigungskette letztlich ein optimales Schleifaufmass realisiert um den Hartbearbeitungsaufwand auf ein notwendiges Maß zu beschränken.

Sollten bei Variante 2 bei beiden Verfahren Passmaße mit Toleranzvorgaben von wenigen $1/100\text{ mm}$ oder entsprechende Form- und Lagetoleranzen gefordert werden, so werden sich die Hartbearbeitungskosten erhöhen.

Einzelstückfertigung wirkt sich sowohl in Variante 1 als auch Variante 2 Kosten steigernd aus.

4.1.4.3. Variante 3

In Variante 3 sollen größere Stückzahlen ohne Schleifbearbeitung betrachtet werden. Zur Herstellung großer Stückzahlen sind die unter Variante 1 und 2 genannten Herstellverfahren unwirtschaftlich. Bei großen Stückzahlen wird bei diesem Bauteil aus diesem Grund das Verfahren des Trockenpressen („C“) angewandt. Zum Vergleich soll das Verfahren des Extrudieren („D“) herangezogen werden, was jedoch nur vergleichenden Charakter haben soll, da es in der Praxis bei diesem Bauteil wenig Berücksichtigung findet.

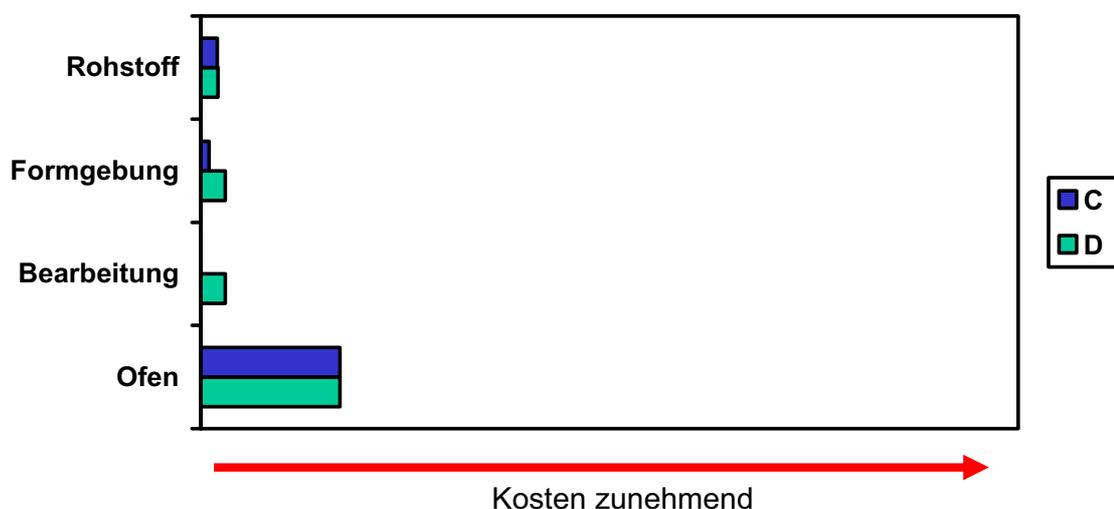


Bild 4: Angenommene Kostenverteilung Variante 3

Bei beiden Verfahren wird bereits bei der Formgebung endkonturnah gearbeitet um Materialverlust und nachfolgende unnötige Bearbeitungsschritte zu vermeiden.

Beim Trockenpressen werden die Ringe unter Berücksichtigung evtl. Volumenschwindungen beim Brand auf Endmaß gepresst und können danach sofort gebrannt werden.

Beim Extrudieren (Strangpressen) wird bei der Formgebung aus einer plastischen keramischen Masse in diesem Fall ein Rohr hergestellt. Dieses muss vor der Weiterverarbeitung entsprechend behandelt und getrocknet werden um es verformungsfrei trennen zu können. Nach dem Trennen der Rohre in Ringe werden auch diese Teile gebrannt.

4.1.4.4. Variante 4

Hier erfolgt gegenüber Variante 3 zusätzlich ein Schleifen im gebrannten Zustand um die erforderlichen Toleranzen, wie weiter oben beschrieben, zu realisieren.

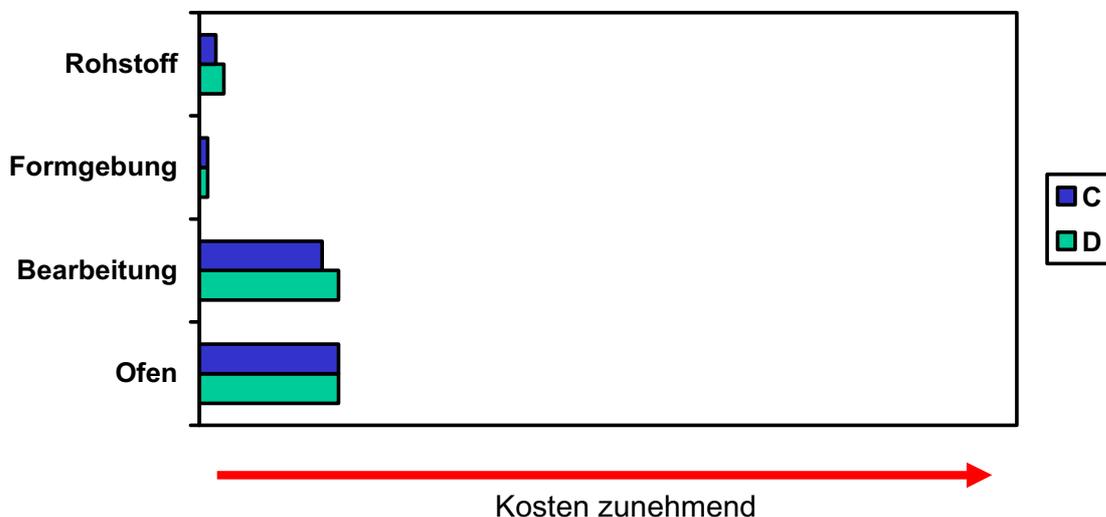


Bild 5: Angenommene Kostenverteilung Variante 4

Für das Trockenpressen muss ggf. ein größer dimensioniertes Werkzeug verwendet werden, welches das zusätzliche Schleifaufmass im gebrannten Zustand berücksichtigt.

Beim Extrudieren werden die Rohre als Rohlinge im Durchmesser etwas dickwandiger dimensioniert. Danach wird beim Trennen im Grünzustand in einem Arbeitsgang mittels Drehen ein optimales Schleifaufmass erzeugt. In beiden Versionen werden die Ringe darauf

folgend gebrannt und mittels Schleifen fertig bearbeitet. In beiden Fällen kann es je nach Stückzahl und Geometrie sinnvoll sein Automatisierungen in der Bearbeitungskette vorzunehmen. Die Kosten verteilen sich hierbei hauptsächlich auf die mechanische Bearbeitung und den Ofenprozess. Die Hartbearbeitungskosten werden bei gleichem Material dabei durch den zur Verfügung stehenden Maschinenpark und die erforderlichen Bauteiltoleranzen beeinflusst.

4.1.4.5. Variante 5

Bei den vorangegangenen Varianten wurde immer von einem Hersteller ausgegangen, der in zwei unterschiedlichen Herstellungsverfahren entsprechend mit denselben Anlagen (Grün- und Hartbearbeitung sowie Ofen) arbeitet. Im Folgenden soll dargestellt werden wie sich die Kosten verteilen können, wenn zwei verschiedene Hersteller diesen Ring im gleichen Material als geschliffene Teile herstellen. Um es besser zu verdeutlichen sollen mittlere Stückzahlen im Grenzbereich gewählt werden, bei denen sowohl die Formgebung für große Stückzahlen als auch für kleinere Stückzahlen wirtschaftlich sinnvoll sein kann. Die Hersteller werden in der Regel das Verfahren wählen, wofür Sie anlagenseitig ausgerüstet sind.

X – Isostatisches Pressen, Grünbearbeitung, Brennen, Schleifen

Y – Trockenpressen, Brennen, Schleifen



Bild 6: Angenommene Kostenverteilung Variante 5

Hierbei soll angenommen werden, dass der Materialbedarf bei der trocken gepressten Version geringer ist, da mit entsprechenden Werkzeugen endkonturnah gearbeitet werden kann. Der Kostenanteil der Formgebung kann dabei erhöht sein, da ein Trockenpresswerkzeug dazu modifiziert werden muss.

Andernfalls kann es aber auch vorkommen, dass aufgrund einer zu geringen Stückzahl nicht endkonturnah gepresst wird und dafür erhöhte Bearbeitungskosten in Kauf genommen werden.

Die Bearbeitungskosten setzen sich im angenommenen Fall bei „X“ aus Grün- und Hartbearbeitung, bei „Y“ (endkonturnah gepresst) nur aus den Hartbearbeitungskosten zusammen.

Aufgrund der relativ geringen Stückzahl ist bei „X“ und „Y“ eine Automatisierung der mechanischen Bearbeitung nur bedingt sinnvoll. Ausschlaggebend ist bei beiden Versionen hier eher die Prozesssicherheit der gesamten Fertigungskette, damit eine bestmögliche Reproduzierbarkeit des gebrannten Bauteils und damit ein optimales Schleifaufmass gewährleistet wird. Ähnlich ist der vorhandene Maschinenpark zur Grün- und Hartbearbeitung zu betrachten, der Einfluss auf die Effektivität der Bearbeitung hat.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor sind vorhandene Brenntechniken bzw. Öfen, die durch unterschiedliche Größe und Füllgrad Einfluss auf die Stückgutkosten nehmen können.

4.1.5. Zusammenfassung

Die Hersteller technischer Keramik haben ihre Fertigungsanlagen entsprechend der bei ihnen angewandten Herstellverfahren und ihres Produktportfolio optimiert.

Verschiedene Herstellverfahren für das gleiche keramische Bauteil sind mit unterschiedlichen Kosten verbunden. Je nach Keramikmaterial, Stückzahl, Herstellverfahren und Ausrüstung des Herstellers können diese Kosten sehr unterschiedlich ausfallen.

Anhand einer Auswahl relevanter Einflussgrößen (Rohstoff, Formgebung, Bearbeitung und Ofenprozess), die wiederum selbst eine große Bandbreite aufweisen, wurden deren Auswirkungen auf die Kosten beleuchtet. Es zeigt sich, dass diese kostenrelevanten Faktoren sehr vielfältig und komplex sind und nicht verallgemeinert werden können.

Die kostenintensivsten Verfahrensschritte sind wie dargestellt in der Regel die Grün- und Hartbearbeitung sowie der Ofenprozess, der je nach Material in unterschiedlichen Atmosphären, Zeiträumen und Temperaturbereichen stattfinden kann.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 14) finden sich auf den folgenden Seiten.

Kostensituation bei verschiedenen Herstellungsverfahren und keramischen Werkstoffen

Dipl.-Ing. André Hiemann
Schunk Ingenieurkeramik GmbH
Willich-Münchheide



4.1 Bauteilkostensituation - Folie 1

Gliederung

- Wieso, Weshalb, Warum.....?
- Grundsätzliche Unterschiede bei der Herstellung von Bauteilen aus Metall und Keramik.
- Einflussgrößen auf die Kosten keramischer Bauteile
- Beispiel – Ring
Kostenunterschiede bei der Herstellung nach unterschiedlichen Verfahren.



Oft gestellte Fragen

- Warum ist Keramik gegenüber Metallen so teuer?
 - Welche Keramik ist für den industriellen Einsatz am „billigsten“?
- Warum sind die Kosten eines Bauteils bei verschiedenen Herstellern unterschiedlich?
(eventuelle Standortvorteile vernachlässigt)

Metall - Keramik

Metall:

- Rohstoffe
- **Materialerzeugung**
- **Formgebung**
- Halbzeug (Bleche, Stangen, Blöcke usw.)
- Bearbeitung
- fertiges Bauteil

Keramik:

- Rohstoffe
- **Formgebung**
- (1.Bearbeitung (grün))
- **Materialerzeugung**
- (2.Bearbeitung (hart))
- fertiges Bauteil

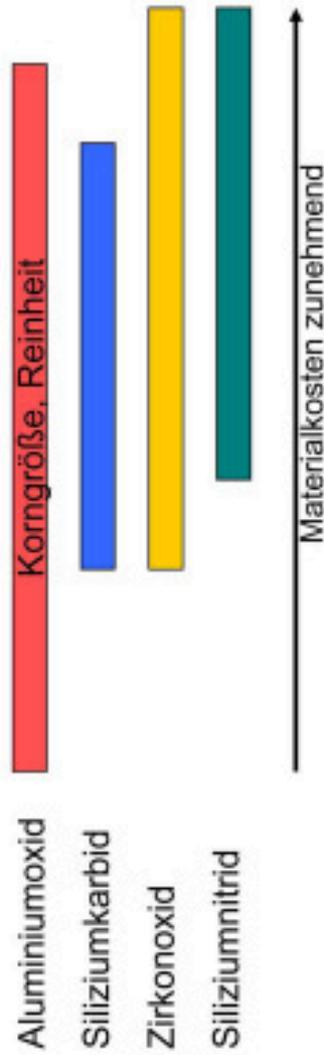
Beschaffungskosten teilweise

Spezialstahl = **Keramik** !!!

„billigste“ Keramik für technische Anwendungen

Keine Aussage möglich, da vom Anwendungsfall abhängig!

- Der Anwendungsfall bestimmt das keramische Material!
- Lebensdauerkosten des Systems betrachten!



4.1 Bauteilkostensituation - Folie 5

Einflußgrößen auf die Kosten

Rohstoffe incl. Verarbeitung

- Rohmaterial und Binderstoffe
- Aufbereiten (Zerkleinern/Mischen/ Homogenisieren)
- Verarbeitung zu Pressgranulat / Schlicker / plastische Masse

Material, Reinheit, Korngröße

Zukauf als fertige Masse

Formgebung

Komplexität der Werkzeuge und Werkzeugverschleiß

- Pressen incl. Werkzeugkosten (Presswerkzeug)
- Gießen incl. Formenkosten (Modell- und Gießform)
- Extrudieren incl. Werkzeugkosten (Mundstück)

Zwischenschritte

- Bauteil keramisch anpassen
- diverse Qualitätskontrollen innerhalb des Prozess
- Handling (z. B. Sandstrahlen, Reinigen usw.)

Bearbeitung

Ofenprozess



Einflußgrößen auf die Kosten

Rohstoffe incl. Verarbeitung

- Rohmaterial und Binderstoffe
- Aufbereiten (Zerkleinern/Mischen/ Homogenisieren)

Material, Reinheit, Korngröße

Zukauf als fertige Masse

- Verarbeitung zu Pressgranulat / Schlicker / plastische Masse

Formgebung

Komplexität der Werkzeuge und Werkzeugverschleiß

- Pressen incl. Werkzeugkosten (Presswerkzeug)
- Gießen incl. Formenkosten (Modell- und Gießform)
- Extrudieren incl. Werkzeugkosten (Mundstück)

Bearbeitung

Korngröße → Werkzeugverschleiß

Werkstoff → Werkzeugverschleiß, Bearbeitungszeit

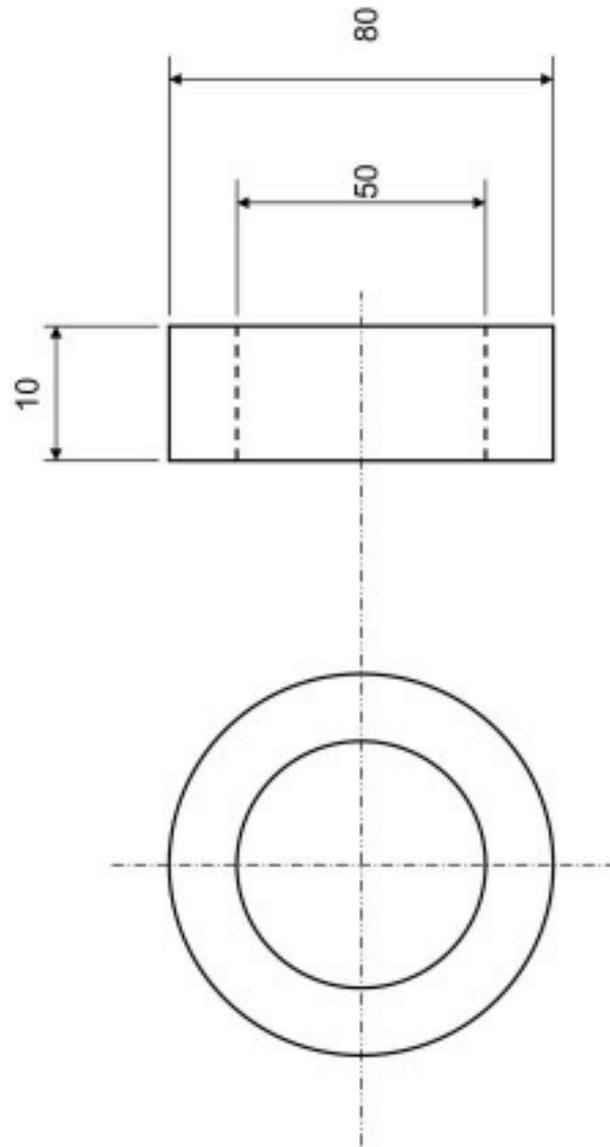
Aufmaß / erford. Toleranz → Bearbeitungszeit, Sonderbearbeitungsverfahren

- Grünbearbeitung
- Hartbearbeitung

Ofenprozess

- werkstoffabhängig (unter Sauerstoff oder Vacuum/Schutzgas)
- Temperatur 1.300°C bis >2.000°C
- ofentypabhängig

Beispiel



- Das konkrete Bauteil in Verbindung mit der Stückzahl bestimmt das Herstellverfahren!

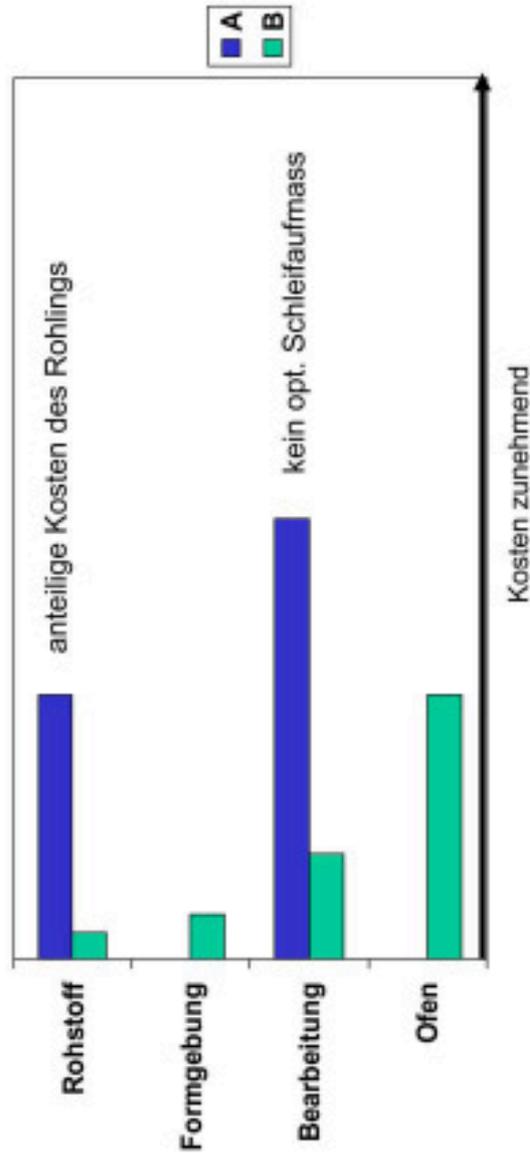


Variante 1 ein Hersteller

Kleine Stückzahl, Toleranzen nach DIN 40680 m (z. B. Ø80 +/- 1,4mm)

A - Schleifen aus einem lagerhaltigen Rohr, sehr kurze Lieferzeit

B - Isostatisches Pressen, Grünbearbeitung, Brennen, kurze Lieferzeit

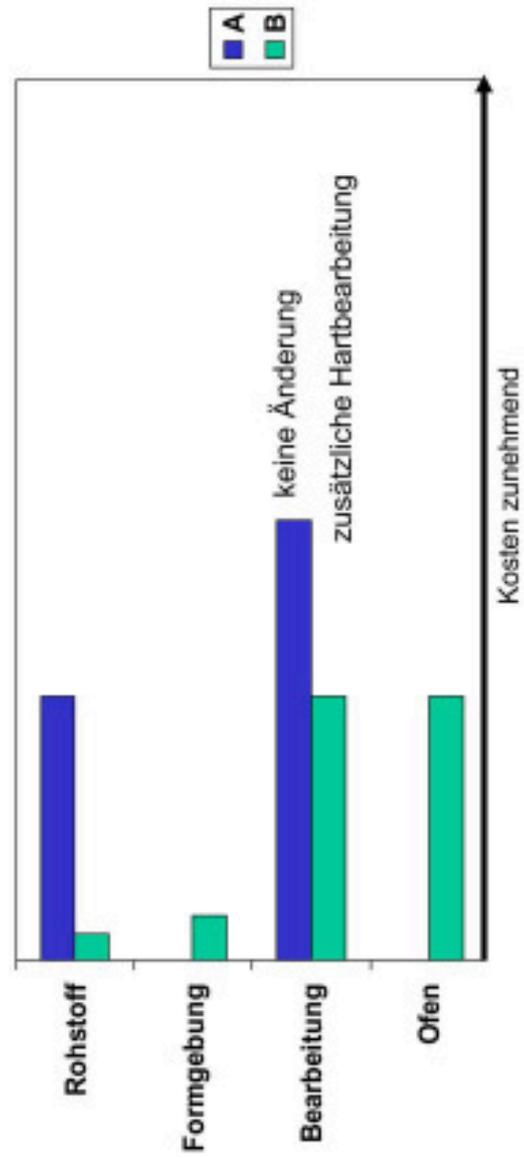


4.1 Bauteilkostensituation - Folie 9

Variante 2 ein Hersteller

Kleine Stückzahl, Toleranzen nach DIN ISO 2768-f (z.B. $\varnothing 80 \pm 0,15\text{mm}$)

- A - Schleifen aus einem lagerhaltigen Rohr, sehr kurze Lieferzeit
- B - Isostatisches Pressen, Grünbearbeitung, Brennen, Schleifen, kurze Lieferzeit



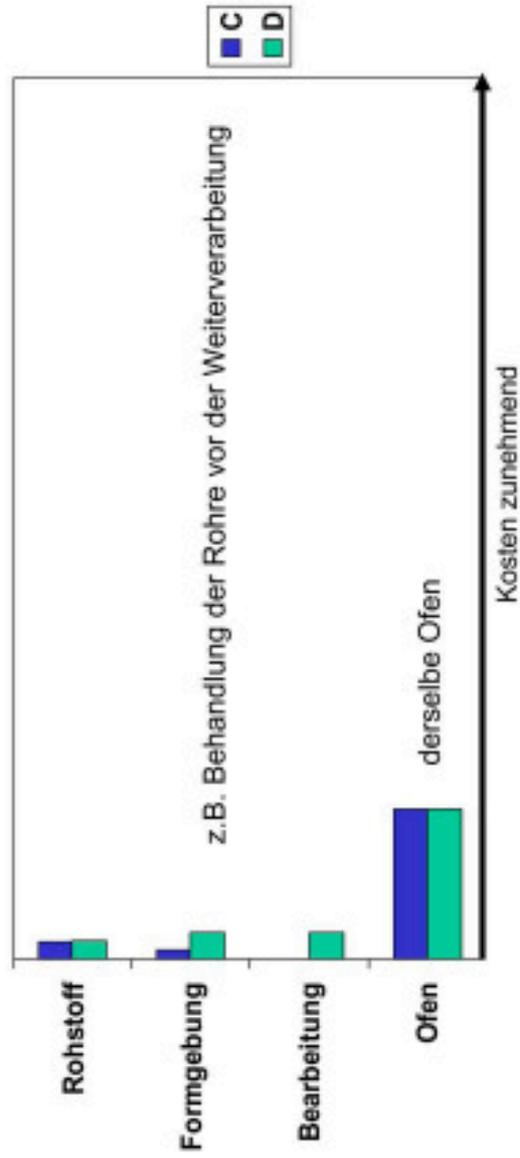


Variante 3 ein Hersteller

große Stückzahl, Toleranzen nach DIN 40680 m

C – Trockenpressen, Brennen

D – Extrudieren, Sägen/Trennen, Brennen



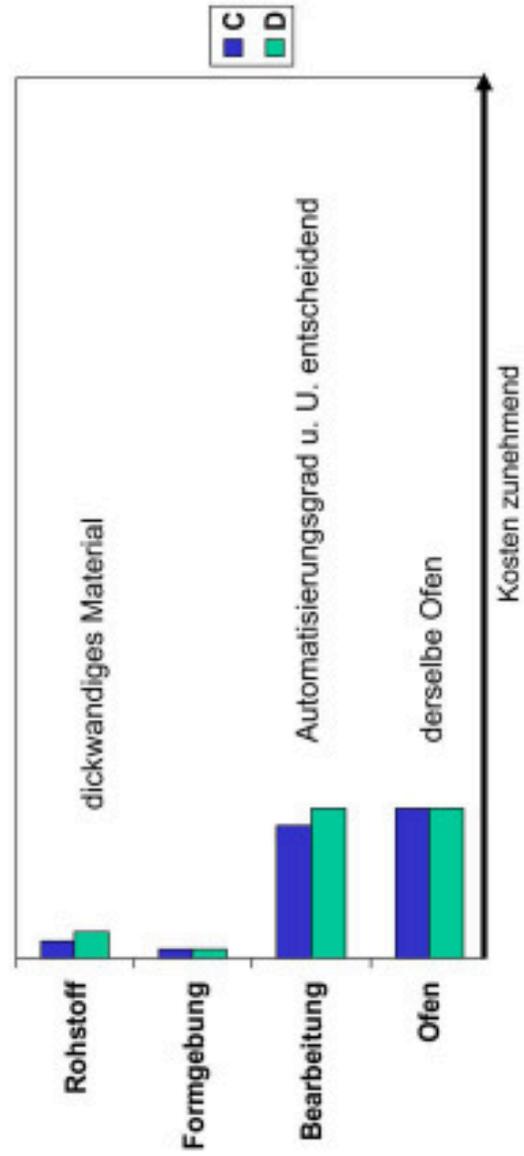
4.1 Bauteilkostensituation - Folie 11

Variante 4 ein Hersteller

große Stückzahl, Toleranzen nach DIN ISO 2768-f

C – Trockenpressen, Brennen, Schleifen

D – Extrudieren, Grünbearbeitung, Brennen, Schleifen

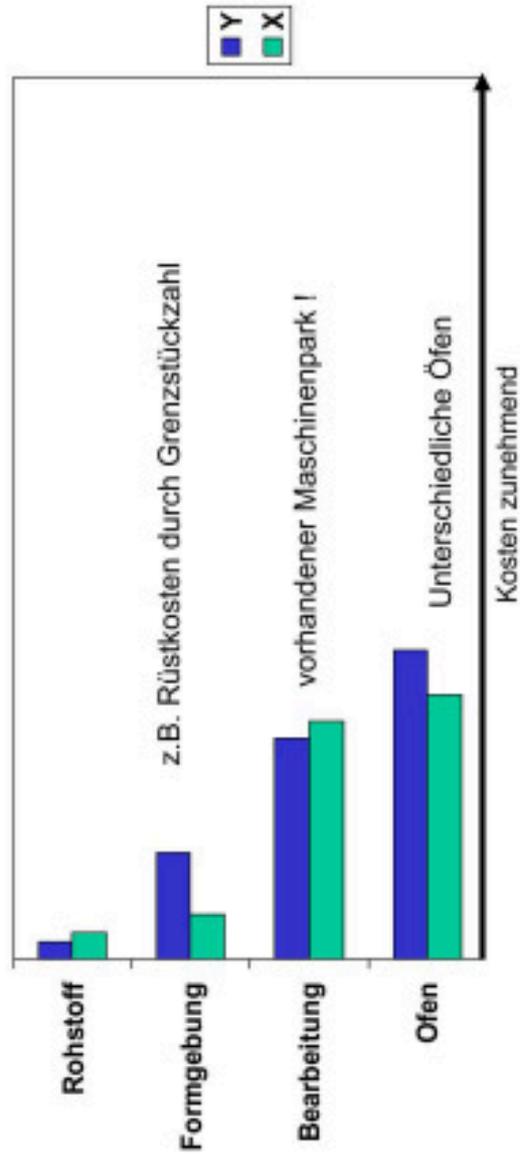


Variante 5 verschiedene Hersteller

mittlere Stückzahl, Toleranzen nach DIN ISO 2768-f

X - Trockenpressen, Brennen, Schleifen

Y - Isostatisches Pressen, Grünbearbeitung, Brennen, Schleifen



4.1 Bauteilkostensituation - Folie 13

Zusammenfassung

- Die Einflussfaktoren auf die Kosten sind sehr vielfältig und komplex.
Verallgemeinerung nicht möglich!
- kostenintensive Schritte Grün – und Hartbearbeitung
der/die Hochtemperaturprozesse
- Die dafür notwendigen Bearbeitungsanlagen sind meist vorhanden
 - deshalb nur bedingte Optimierbarkeit.