

In einer Serie von Beiträgen wird ein Überblick zu verschiedenen relevanten Aspekten rund um das Thema Frästechnologie geboten. Die Serie beginnt mit der Vermittlung einflussreicher Background-Informationen, um in der Folge Stichworte wie z. B. Kalkulation, Präzision, Frässtrategien etc. zu erörtern.

Ausgabe Juni 2009 – Teil 1: Scanner, CAD-Software, CAM-Modul, Fertigungsmaschinen, STL
Ausgabe September 2009 – Teil 2: Kalkulation, HSC-Maschine, Chrom-Cobalt, Zirkoniumdioxid

Richtig kalkulieren statt einfach riskieren!

Kalkulationsansatz für die CAD/CAM-Fertigung

Redaktion (Teil 2)

Kostenrechnung und Kalkulation sind ein wichtiges Mittel zur Erzielung größtmöglicher Wirtschaftlichkeit und maßgebliche Voraussetzung, um zu ermitteln, wo die Kosten aufhören und der Gewinn beginnt. Wer sich mit Kollegen oder Zulieferern von Fertigungssystemen und Materialien für computergestützt produzierten Zahnersatz unterhält, wird schnell bemerken, dass er sehr unterschiedliche Antworten auf die Frage erhält, wie viel die HSC (High Speed Cutting)-Herstellung einer Einheit in der eigenen Fertigung kostet. Aufgrund der zahlreichen verschiedenen Aspekte, die bei einer Kalkulation berücksichtigt werden müssen, sind Pauschalaussagen nicht möglich.

Im Folgenden wird daher ein Rechenschema vorgestellt, das lediglich als Beispiel und nicht als vollständige Kostenträgerrechnung anzusehen ist. Individuelle Faktoren kann diese Musterrechnung nicht berücksichtigen, aber sie stellt eine Art Richtungsweiser dar und soll dem Einzelnen Impulse bei der Entscheidung „Lohnt sich eine eigene Fräsmaschine oder ist Outsourcing der kostengünstigere Weg?“ liefern. Die angezeigte Tabelle I bietet eine gute Grundlage, um eine individuell abgestimmte Berechnung selbst aufzustellen. Eine PDF-Datei mit der Tabelle ohne die hier angegebenen Werte, steht als Vorlage zum Download beziehungsweise Ausdruck im Internet unter www.ddn-online.net (Inhalt > Aktuelle Ausgabe > Richtig kalkulieren statt einfach riskieren!) zur Verfügung. Die Modellrechnung geht von der Investition in eine kompakte Hightech-Maschine der obersten Qualitätsklasse und rondenförmigen Rohlingen mit einer Materialstärke von 14 mm aus. Werden beispielsweise dickere Materialrohlinge verwendet, ergeben sich sofort abweichende Kostenansätze.

Fixkosten

I. Fräsmaschine

Die Entscheidung für eine HSC-Fräsmaschine will wohl überlegt sein, denn es handelt sich hierbei um eine vergleichsweise hohe Investition und das Labor bindet sich für mehrere Jahre an eine bestimmte Technologie. Bei der hier beispielhaft aufgestellten Kalkulation fiel die Wahl auf die Fräseinheit eines renommierten Herstellers, mit der sowohl Keramiken als auch Metalllegierungen verarbeitet werden können. Die Kosten für die Maschine betragen 82.000,- Euro. Es sind zwar auch preisgünstigere Fertigungseinheiten am Markt verfügbar, jedoch sind diese häufig mit Einschränkungen hinsichtlich der bearbeitbaren Materialien verbunden. Durch eine erhöhte Werkstoffflexibilität hingegen wird die mögliche Auslastung, die hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit eine wesentliche Rolle spielt, entscheidend begünstigt. So erfreuen sich Restaurationen auf Basis von Zirkoniumdioxid nach wie vor einer steigenden Nachfrage, aber auch der Anteil an Arbeiten aus Chrom-Cobalt nimmt in jüngster Zeit verstärkt zu. Können beide Materialarten bearbeitet werden, ist automatisch eine höhere Maschinenauslastung gewährleistet.

I.1 Abschreibung

Bei dem Punkt Abschreibung handelt es sich um die Kosten für den Wertverlust der Investition, d. h. die Anschaffungskosten werden durch die durchschnittliche Nutzungsdauer dividiert. Eine generelle Aussage dazu, über welche Zeitspanne eine Maschine abgeschrieben werden sollte, kann nicht getroffen werden. Denn dies hängt fallspezifisch von dem gewählten System beziehungsweise der Zeitspanne ab, über die das System voraussichtlich wirtschaftlich einsetzbar sein wird. Im Beispiel ist eine Abschreibungsdauer von zehn Jahren angesetzt. Dies ist eine realistische Beurteilung, da die Fräseinheit aus hoch-

wertigen Elementen besteht und eine solide Stahlkonstruktion, sauber geschützte Führungen sowie eine leistungsstarke Absaugung aufweist. Letztere verhindert beispielsweise langfristig, dass die Maschine durch abrasive Keramikstäube beeinträchtigt wird. Einfacheren Maschinen sollten an dieser Stelle lediglich drei Jahre zugebilligt werden, sodass die Kosten für diese bei gleicher Abschreibung dann lediglich 24.000,- betragen dürften. In der Summe handelt es sich hierbei um den größten finanziellen Posten, der jährlich zu Buche schlägt.

1.2 Zinslast

Neben der Abschreibung ist auch die Zinslast zu berücksichtigen. In der Tabelle wird ein interner Kalkulationszinsfuß von 6 % angesetzt, der jedoch im Einzelnen auf die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden muss. Bei der Auflösung von Festgeldern z. B., kann derzeit nicht einmal ein Fünftel erwirtschaftet werden. Wird Geld aufgenommen, muss aktuell im ungünstigsten Fall sogar etwas mehr gezahlt werden. Der Zinssatz wird halbiert, da von einer gleichmäßig-kontinuierlichen Bezahlung der Maschine ausgegangen wird, sodass also im letzten Jahr kein Zins mehr anfällt.

1.3 Förderung

Ganz bedeutend ist die Frage, ob die Investition förderungsfähig ist. In den neuen Bundesländern sind sogar Förderquoten von 35 - 50 % zu erwarten. Entsprechend geht dies 1:1 in die Positionen ein und erleichtert den Einstieg in die CAD/CAM-Technik in finanzieller Hinsicht wesentlich.

1.4 Platzbedarf

Aspekte wie der für die Maschine benötigte Stellplatz (Abb. 1) bleiben bei Kalkulationen oft unbeachtet. Doch auch dieser verursacht Kosten, die eingerechnet werden sollten.

1.5 Fixkosten

Der Saldo der bislang genannten Position ergibt die sogenannten Fixkosten. Diese fallen in jedem Fall an, unabhängig davon, ob letztlich mit der Maschine tatsächlich produziert wird oder nicht.

1.6 Reinigung / Wartung

Einmal pro Jahr sollte eine hochwertige Maschi-

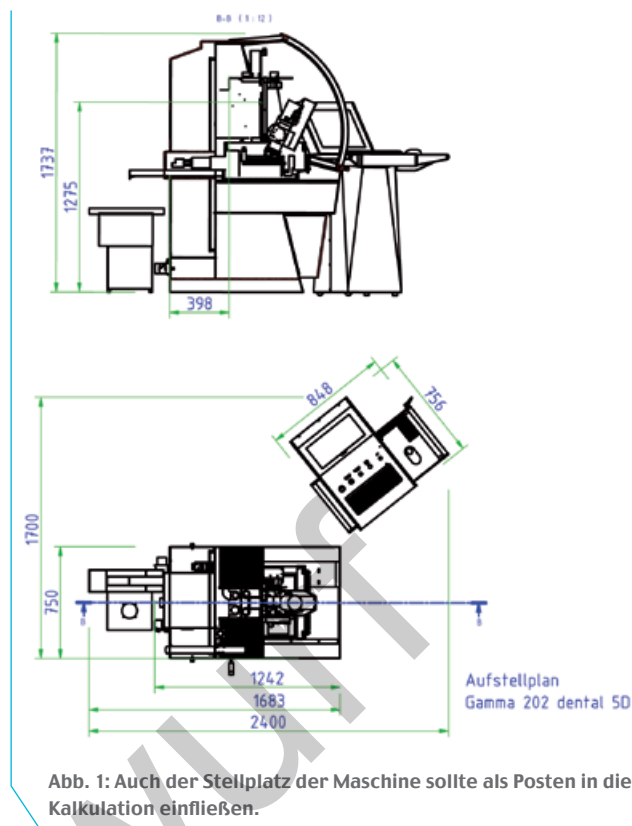


Abb. 1: Auch der Stellplatz der Maschine sollte als Posten in die Kalkulation einfließen.

ne gereinigt und geschmiert werden. Zusätzlich fallen Maßnahmen wie die Vermessung der Umkehrlose etc. an, die bei dieser Gelegenheit durchgeführt werden müssen. Bei weniger hochwertigen Maschinen sollte für diesen Posten mit einem etwas höheren Betrag gerechnet werden.

1.7 Reparaturen

Auch Reparaturkosten müssen eingeplant werden. Dabei gilt der Grundsatz: Je hochwertiger die Maschine und je akkurater ihr Aufbau, desto geringer ist der Umfang notwendiger Reparaturen. Gemäß den Erfahrungen des Herstellers beziehungsweise der Anwender der in dieser Kalkulation veranschlagten HSC-Maschine wird von einem vergleichsweise geringen Reparaturbedarf ausgegangen. Bei schlichteren Maschinentypen – vor allem solchen, mit offen verbautem Rechnersystem – kann von häufigeren Reparaturen ausgegangen werden.

Ein besonderes Augenmerk sollte auch der Hochfrequenzspindel gelten: Je kleiner die Spindel ist und je weniger Leistung sie aufweist, desto geringer ist die Lebensdauer der Lagerung. Zudem ist die Art ihrer Kühlung – luft- oder wassergekühlt – zu beachten.

Liegt eine Wasserkühlung vor, bei der die Temperatur des Kühlwassers konstant gehalten wird, ist der Lagerverschleiß minimal. Für die Beispielrechnung wurden daher Reparaturkosten von 1.000,- Euro pro Jahr eingeplant.

1.8 Gesamtkosten

Werden Fixkosten und die Aufwendungen für Reinigung / Wartung und Reparaturen addiert, betragen die Gesamtkosten der Maschine pro Jahr 13.400,- Euro.

Variable Kosten

2. Umrechnungsfaktor

Zu den Fixkosten kommen variable Kosten wie z. B. für den Strom, der hier überschlägig mit 0,17 Euro / kWh angenommen wird, und den Einsatz von Druckluft, die für die Sperrluftbildung und Versorgung einzelner Maschinenelemente notwendig ist. Als Umrechnungsfaktor werden 2.000 Stunden planmäßiger Betrieb angesetzt.

2.1 Strom

3 kW ist recht großzügig gerechnet, der Satz pro kWh ist beim Energieversorger anzufragen. Wer die Kalkulation für eine Maschine mit Linearantrieben aufstellt, sollte wissen, dass diese einen sehr hohen Stromverbrauch aufweisen und der hier eingerechnete Ansatz daher mindestens verfünffacht werden muss. Auch eine künftige Steigerung der Strompreise sollte einkalkuliert werden.

2.2 Druckluft

Gereinigte Druckluft ist wichtig, da empfindliche Maschinenbauteile mit sogenannter Sperrluft geschützt werden. Benötigt eine Maschine keine Druckluft, sollte sich der interessierte Zahntechniker von dem Hersteller genau erklären lassen, wodurch beispielsweise die Lagerung der Hochfrequenzspindel stattdessen geschützt wird.

2.3 Arbeitskraft

Für Diskussionsbedarf könnte die Berechnung der Kosten für die erforderliche Arbeitskraft sorgen. Der Anwender muss hier einen eigenen kalkulierten Wert einsetzen und diesen mit einem Faktor von 1,6 multiplizieren, um Nebenkosten wie Urlaub, Berufs-

genossenschaftskosten etc. zu berücksichtigen. Des Weiteren wird ein Faktor von 0,1 herangezogen, da der Mitarbeiter die Maschine nicht permanent bedienen muss. Er ist lediglich erforderlich, um die Maschine einzurichten, Werkstücke zu entnehmen, Säuberungsarbeiten vorzunehmen und ggf. die Fertigung besonders komplexer Geometrien zu überwachen.

2.4 Kosten pro Stunde

Um die Kosten für den Betrieb der Maschine pro Stunde zu ermitteln, werden die jährlichen Kosten durch einen angemessenen Faktor dividiert. Für die Beispielrechnung wurde pauschal von 2.000 Stunden Betrieb ausgegangen. Dies entspricht in etwa einer einschichtigen Nutzung der Maschine.

Sicherlich wird es Labore beziehungsweise Fräszentren geben, welche die Fertigungseinheit in geringerem Umfang nutzen. Möglich ist aber auch, die Maschine deutlich intensiver zu einzusetzen. Tagsüber können wechselnde und sehr anspruchsvolle Arbeiten hergestellt werden, um die Maschine zum Feierabend hin mit einem neuen Rohling für den mannslosen Betrieb zur Fertigung von Standardindikationen über Nacht vorzubereiten. Letztlich ist dies aber gar nicht so sehr ausschlaggebend für die Kosten. Denn auch bei der angenommenen einschichtigen Nutzung beträgt der Stundensatz nur 9,35 Euro.

Wie an dieser Stelle bereits festgestellt werden kann, sollte der Anschaffungspreis nicht maßgeblich bei der Wahl einer HSC-Maschine sein. Wichtiger ist es, dass die Fräseinheit vom Anwender flexibel und langfristig eingesetzt werden kann. Offen liegende Kabel, minderwertige Steckverbinder oder gar offene Rechnelemente sind ein augenscheinliches Indiz dafür, dass eine langfristige Nutzung nicht möglich sein wird und ggf. mit sehr hohen Reparaturkosten zu rechnen ist. Dann wird sich ein günstigerer Anschaffungspreis relativieren und in den jährlichen Kosten nicht rechnen.

Zirkoniumdioxid

3. Fertigungskosten

Der Preis pro Einheit wird für zwei unterschiedliche Materialgruppen berechnet – zunächst für Zirkoniumdioxid. Die eingesetzten Daten entsprechen

zwar tatsächlichen Werten, doch es muss beachtet werden, dass diese je nach individueller Arbeitsweise sehr stark differieren können.

3.1 CAM-Programm

Die mit den CAD-Komponenten erzeugten Konstruktionsdaten müssen für die Fertigung mit der Fräsmaschine aufbereitet werden. Mit modernen, speziell für den Dentalmarkt modifizierten CAM-Programmen ist dies mit wenigen Mouseklicks möglich. Vergleichsweise arbeitsintensiv ist für Ungeübte das manuelle Ausrichten der Konstruktionen in Einschubrichtung und das Setzen von Haltestiften. Erfahrene Anwender benötigen circa 2 Minuten pro Restauration. Einige Programme unterstützen hierbei auch durch Automatikfunktionen.

3.2 Fräszeit

Angenommen wird ein Zeitaufwand von 7 Minuten pro Einheit bei der Fräsbearbeitung von Zirkoniumdioxid. Dies ergibt mit den zuvor erarbeiteten Maschinensätzen einen Wert von 1,09 Euro pro Einheit.

3.3 Material

Ein dominanter Posten sind die Materialkosten. Hier wird von 170,- Euro für einen Standardrohling in Discform ausgegangen. Allerdings ist nur bei der Nutzung eines offenen Systems mit freier Wahl des Rohlinganbieters Material in dieser Preisklasse verfügbar.

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass 46 Einheiten aus einer Disc gefertigt werden können. Dies ist möglich, wenn Maschine und eingesetzte CAM-Software statt Nesting eine sogenannte Cluster-Bildung unterstützen. Hierbei wird nicht jede Einheit einzeln vom Werkzeug umfahren, sondern mehrere Einheiten werden jeweils lediglich durch Haltestifte von einander abgetrennt, sodass Material, aber auch Bearbeitungszeit eingespart wird (Abb. 2).

Oftmals wird übersehen, dass ein wichtiger Faktor hinsichtlich der möglichen Materialausschöpfung die Wahl des Rohlingspanners ist. Bei Verwendung einer Radialspannung, wie in Abbildung 3 zu sehen, kann die Disc bis zum Rand hin genutzt werden. Allein daraus ergibt sich ein Kostenvorteil von signifikanten 5 %.

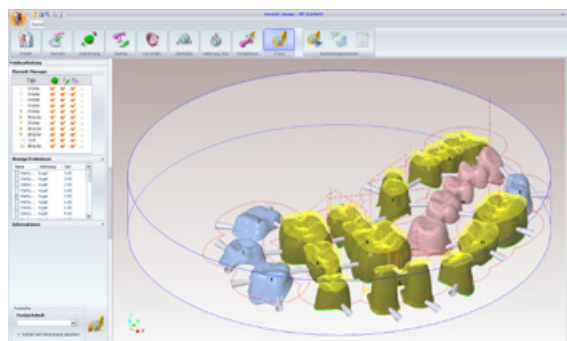


Abb. 2: Einige CAM-Programme ermöglichen eine materialeffiziente Positionierung der Konstruktionen als Cluster.

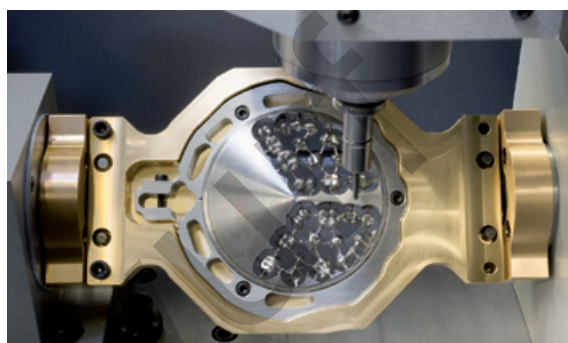


Abb. 3: Radialspannung

3.4 Fräswerkzeuge

Bei dieser Rechnung wird davon ausgegangen, dass die Feinausarbeitung mit einem Kugelfräser von 1 mm Durchmesser erfolgt (Abb. 4). Ein Großteil der Abnutzungserscheinungen entfällt jedoch auf das Schruppwerkzeug (Abb. 5). Wird beim Schruppen mit kleineren Werkzeugen gearbeitet, beeinflusst dies die Kostenstruktur ungünstig.



Abb. 4: Beschichteter Kugelfräser für das Feinschliffen bei der Bearbeitung von Zirkoniumdioxid.

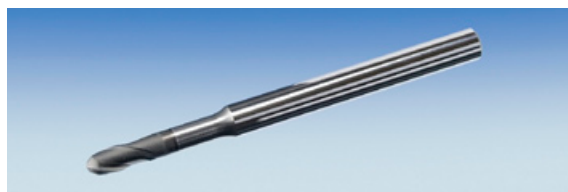
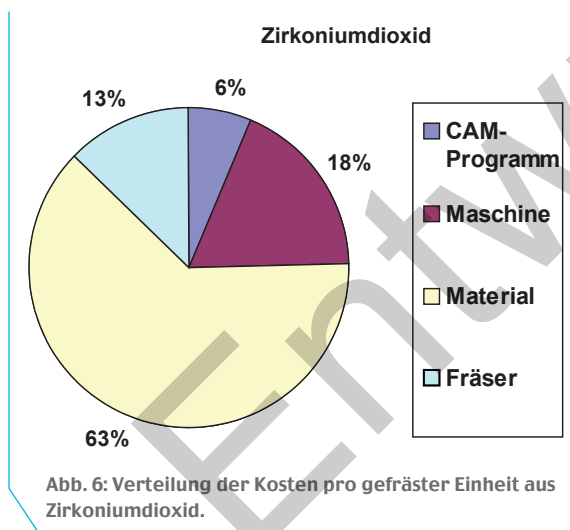


Abb. 5: Beschichtetes Schruppwerkzeug für die Bearbeitung von Zirkoniumdioxid.

Es sollten hochwertige Fräswerkzeuge verwendet werden. Deren Basis bildet in der Regel ein Hartmetallrohling, der fein beschliffen sowie geläppt und anschließend mit einer Beschichtung versehen wird, die den Abrieb durch das sehr abrasive Zirkoniumdioxid vermindert. Da das keramische Material relativ weich ist, können hohe Stückzahlen umgesetzt werden und die Kosten für die Fräser sind marginal.

3.5 Produktionskosten pro Einheit

Die Vollkostenrechnung ergibt eine Summe von 5,94 Euro als Produktionskosten pro Einheit aus Zirkoniumdioxid (Abb. 6). Bei ausreichend hoher Auftragslage ist die Investition in eine eigene HSC-Maschine statt der Auslagerung der Fertigung in ein Fräszentrum daher aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu empfehlen.



Chrom-Cobalt

4. Fertigungskosten

Im folgenden werden die einzelnen Posten für die Berechnung der Produktionskosten pro Einheit in Bezug auf das Material Chrom-Cobalt aufgeführt.

4.1 CAM-Programm

siehe 3.1

4.2 Fräszeit

Es wird von einer Bearbeitungszeit von 12 Minuten pro Einheit ausgegangen. Realisierbar ist dies bei Nutzung einer leistungsstarken Fräsmaschine und eines guten CAM-Programms, das die Fräsbahnen

sauber definiert. Ist so eine rationelle Zerspanung des Materials gewährleistet, ergibt sich ein Kostenanteil von 1,87 Euro pro Einheit.

4.3 Material

Die Materialkosten stellen einen Großteil der Gesamtsumme dar. Ausgegangen wird hier von 160,- Euro pro Disc und einer durch Cluster-Bildung möglichen hohen Stückzahl. Bei auffallend günstigen Angeboten von Rohlingen aus Chrom-Cobalt ist Vorsicht geboten. Die bekannte Aussage Zirkoniumdioxid ist nicht gleich Zirkoniumdioxid lässt sich auch auf diesen Werkstoff übertragen. Zu achten ist auf eine hohe Homogenität bei niedriger Härte, da die Fräswerkzeuge anderenfalls sehr stark beansprucht werden.

4.4 Fräswerkzeuge

Die Fräswerkzeuge gehen mit einem Kostenanteil von 2,18 Euro in die Rechnung ein. Das Gros entfällt hierbei wie schon bei der Bearbeitung von Zirkoniumdioxid auf das Schruppwerkzeug mit einem Durchmesser von 4 mm (Abb. 7). Das Schlichten erfolgt mit einem 3 mm- beziehungsweise 2 mm-Fräser und das Feinschlichten mit einem 1 mm-Werkzeug (Abb. 8). Voraussetzung für den niedrig angesetzten Anteil der Werkzeugkosten ist eine absolut ruhig laufende Maschine, die vibrationsarm und durch eine hohe Beschleunigung möglichst mit konstanter Geschwindigkeit verfährt. Um das Werkzeug ruhig und kräftig durch das anspruchsvolle Material zu bewegen, ist außerdem eine leistungsstarke Spindel mit mindestens 2.000 Watt erforderlich (Abb. 9).

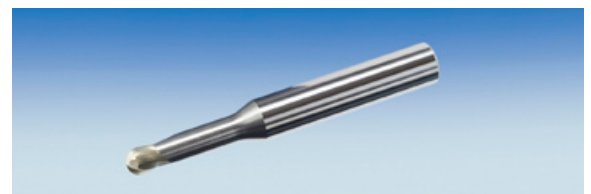


Abb. 7: 4 mm-Fräser für die Schruppbearbeitung von Chrom-Cobalt.



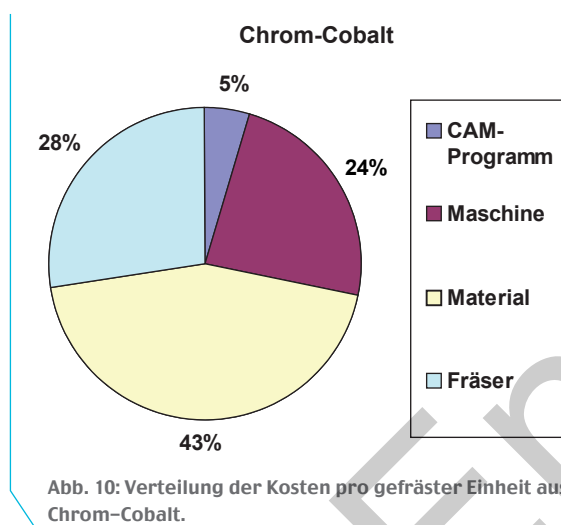
Abb. 8: 1 mm-Fräser für die Feinbearbeitung von Chrom-Cobalt.



Abb. 9: Eine leistungsstarke Spindel ist Voraussetzung, um das Werkzeug auch bei schwer bearbeitbaren Werkstoffen ruhig und kräftig durch das Material zu bewegen.

4.5 Produktionskosten pro Einheit

Alles in allem ergibt sich als Ergebnis eine Summe von 7,91 Euro pro Einheit (Abb. 10). Damit ist definitiv belegt, dass die Verarbeitung von Chrom-Cobalt in Gusstechnik nicht kostengünstiger als dessen Bearbeitung mittels CAD/CAM-Technologie ist.



Schlussfolgerung

Ab einem gewissen Bedarf ist es sehr lohnenswert, in eine HSC-Maschine zu investieren. Der Markt stellt technisch ausgereifte Maschinenkonzepte und entsprechende Software bereit. Wie in vielen anderen Lebensbereichen gilt auch hinsichtlich Maschine und Werkzeug, dass Qualität sich trotz auf Anhieb scheinbar höherer Kosten langfristig auszahlt. Wesentlich ist, dass eine Maschine langlebig und zukunftssicher konzipiert ist. Hierzu gehört auch, dass sowohl Keramiken als auch Metalle bearbeitet werden können, was auf der einen Seite einen besonders robusten Aufbau bedingt und auf der anderen Seite gleichzeitig eine hohe Auslastung ermöglicht. Auch für Anleger ist eine HSC-Maschine interessant: Gegenüber Gold wirft sie jährlich eine attraktive Rendite ab.

	pro Jahr	pro Stunde
1. Fräsmaschine	82.000 €	
1.1 Abschreibung über 10 Jahre	8.200 €	
1.2 Zinslast: 6 % pro Jahr ÷ 2	2.460 €	
1.3 ggf. Förderung		
1.4 Platzbedarf: 3 m x 2,5 m à 6 €/m ² pro Monat x 12 Monate	540 €	
1.5 Fixkosten	11.200 €	
1.6 Reinigung / Wartung	1.200 €	
1.7 Reparaturen (insbesondere Spindel)	1.000 €	
1.8 Gesamtkosten der Maschine pro Jahr	13.400 €	
2. Umrechnungsfaktor 2.000 Std. planmäßiger Einsatz		6,70 €
2.1 Strom 3 kW à 0,17 €		0,51 €
2.2 Druckluft pauschal		0,30 €
2.3 Arbeitskraft: 11,5 € x 1,6 (Nebenkosten) x 0,1 (Arbeitseinsatz)		1,84 €
2.4 Gesamtkosten für den Maschinenbetrieb pro Std.		9,35 €
3. Fertigungskosten Zirkoniumdioxid		
3.1 CAM-Programm: 2 min. x (11,5 €/Std. ÷ 60 min.)	0,38 €	
3.2 Fräszeit: 7 min. x (9,35 €/Std. ÷ 60 min.)	1,09 €	
3.3 Material: 170 € ÷ 46 Einheiten	3,70 €	
3.4 Fräswerkzeuge	0,76 €	
■ Ø 3 mm: 66 €/St. ÷ 200 Einheiten = 0,33 €		
■ Ø 2 mm: 66 €/St. ÷ 300 Einheiten = 0,22 €		
■ Ø 1 mm: 63 €/St. ÷ 300 Einheiten = 0,21 €		
3.5 Produktionskosten pro Einheit	5,93 €	
4. Fertigungskosten Chrom-Cobalt		
4.1 CAM-Programm: 2 min. x (11,5 €/Std. ÷ 60 min.)	0,38 €	
4.2 Fräszeit: 12 min. x (9,35 €/Std. ÷ 60 min.)	1,87 €	
4.3 Material: 160 € ÷ 46 Einheiten	3,48 €	
4.4 Fräswerkzeuge	2,18 €	
■ Ø 4 mm: 36 €/St. ÷ 50 Einheiten = 0,72 €		
■ Ø 3 mm: 36 €/St. ÷ 80 Einheiten = 0,45 €		
■ Ø 2 mm: 36 €/St. ÷ 80 Einheiten = 0,45 €		
■ Ø 1 mm: 39 €/St. ÷ 70 Einheiten = 0,56 €		
4.5 Produktionskosten pro Einheit	7,91 €	

Tabelle 1: Kalkulationsübersicht