

Konstruieren mit Siliziumtombak

Gusslegierung mit
Edelstahl-Eigenschaften



Extreme Korrosionsbeständigkeit



Hohe Festigkeit und Bruchdehnung



Kostengünstige Herstellung



Sitomb®





Vorwort

Qualität ist kein Zufall, sie ist immer das Ergebnis angestrebten Denkens.

John Ruskin (1819 – 1900)

Diese Anleitung hat das Ziel, den Konstrukteur bei seiner Arbeit mit Siliziumtombak zu unterstützen, ihm hilfreiche Hinweise für eine sichere und wirtschaftliche Gestaltung von Bauteilen an die Hand zu geben sowie einiges an Hintergrundwissen zu vermitteln.

Die Themen erstrecken sich von den Werkstoffeigenschaften, den Anwendungsgebieten bis hin zu relevanten Zeichnungsvermerken, konstruktiven Empfehlungen und wichtigen Nachbearbeitungshinweisen.

Sitomb®-Gussteile bilden durch ihre hervorragenden mechanischen Eigenschaften die Basis für belastbare Bauteilkonstruktionen. Um das volle Potential dieser Legierung auszuschöpfen, empfiehlt sich das Einlesen in diese Dokumentation und Berücksichtigen der beschriebenen Richtlinien und Hinweise. Ebenfalls wird empfohlen bereits in frühen Entwicklungsstadien neuer Bauteilkonstruktionen oder Baugruppen den Kontakt mit der Breuckmann GmbH & Co. KG aufzunehmen. Geschäftsführung, Vertrieb, Konstruktion, Produktion und Qualitätssicherung arbeiten Hand in Hand und unterstützen Sie gerne von der Entwicklung über die Prototypenherstellung bis zum Serienauftrag mit dem Blick auf Bauteil- und Prozesssicherheit als auch der Wirtschaftlichkeit.



Inhaltsverzeichnis

1	Metallurgie des Systems CuZnSi.....	4
2	Abgrenzung Siliziumtombak und Sitomb®	5
3	Werkstoffeigenschaften	6
4	Zeichnungsrichtlinien	7
5	Typische Gussteilvolumen und Bauteilabmessungen	7
6	Toleranzen	8
7	Lunker und Poren	8
7.1	Schrumpflunker	8
7.2	Gasporositäten	8
8	Wanddicken.....	8
9	Fertigungsgerechtes Konstruieren	9
10	Auswerferpositionen	11
11	Stanzentgraten	11
12	Nussvierkant.....	12
13	Nietzapfen	12
13.1	Der Nietzapfen vor dem Taumelprozess	12
13.2	Der Nietzapfen im Taumelprozess	13
13.3	Der Nietzapfen nach dem Taumelprozess	13



1 Metallurgie des Systems CuZnSi

Legierungen aus Kupfer (Cu) und Zink (Zn) werden als Messing (CuZn) bezeichnet. Ab einem Kupfermassenanteil von 80 Gew. % wird auch von „Tombak“ gesprochen.

Kupfer und Zink vermischen sich in der Schmelze optimal und bleiben auch nach dem Erstarren gleichmäßig durchmischt. Es können theoretisch unendlich viele Legierungen zwischen Kupfer und Zink hergestellt werden, doch ist die Zahl der Messingsorten in der Praxis auf rund 60 beschränkt¹. Die technische Verwertbarkeit der Kupfer-Zink-Legierungen ist bis etwa 45 Gew. % Zink möglich, da mit dem Auftreten des spröden γ -Anteils die technische Anwendungsmöglichkeit stark herabgesetzt wird².

Die Festigkeitssteigerung der Kupfer-Zink-Legierungen gegenüber Kupfer beruht auf Substitutions-Mischkristallbildung. Festigkeit und Härte steigen mit dem Zinkgehalt. Sobald die Zusammensetzung des Messings 37 Gew. % Zink überschreitet, entsteht ($\alpha+\beta$)-Messing. Die β -Phase bewirkt einen raschen Abfall der Zähigkeit der Legierungen bei gleichzeitig weiter ansteigender Härte.

Wenn zu diesem binären CuZn-System ein drittes Element legiert wird, entstehen wiederum neue Eigenschaften. Blei beispielsweise verbessert die Spanbarkeit, Aluminium erhöht die Festigkeit sowie den Korrosionswiderstand. Nickel verbessert die Festigkeitseigenschaften und das Formänderungsvermögen. Silizium übt auf Messing den stärksten Einfluss aller Legierungselemente aus. Bereits durch Legieren von 1 Gew. % Silizium wird die Empfindlichkeit gegen Spannungsrisskorrosion und Korrosion im Allgemeinen vermindert. Silizium verbessert weiterhin die mechanischen Werte sowie die Fließeigenschaften bzw. die Gießbarkeit der CuZn-Legierung.

Zu der Legierungsgruppe CuZnSi gehört auch die Legierung **Siliziumtombak CuZn16Si4-C**. Silizium verändert die CuZn-Legierung grundlegend, indem Silizium die Löslichkeit von Zink in Kupfer im α -Bereich einschränkt. Im α -Messing kann bis zu 4 Gew. % Silizium interstitiell im Mischkristall gelöst sein (Abbildung 1). Mit zunehmendem Zink-Gehalt nimmt die Löslichkeit des Siliziums im α -Mischkristall ab. Bei der Legierung CuZn16Si4 ist die Höchstmenge an Silizium bei möglichst hohem Zink-Gehalt legiert. Da die Siliziumatome im Vergleich zu den Kupfer- und Zinkatomen klein sind, können sich diese bei hohen Temperaturen frei durch das Metallgitter bewegen. Bei rascher Erstarrung/Abkühlung schrumpft das Metallgitter und die Siliziumatome werden fest im Zwischengitter eingeschlossen. Die resultierende Gitterverzerrung führt zur Verspannung des Metallgitters und somit zu einer erhöhten Härte und Festigkeit des Werkstoffes (Ein ähnliches Verhalten ist bei der Zugabe von Kohlenstoff in Stahl zu beobachten). Die verfahrenstechnisch rasche Erstarrung führt weiterhin zu einem Feinkorngefüge mit guten mechanischen Eigenschaften. Das Legieren mit Silizium führt zusätzlich zum anormalen Verhalten des lokalen Ausdehnens bei Abkühlung und somit zur Dichtspeisung des Gussteils (Vermeidung /Reduzierung von Gussporositäten).

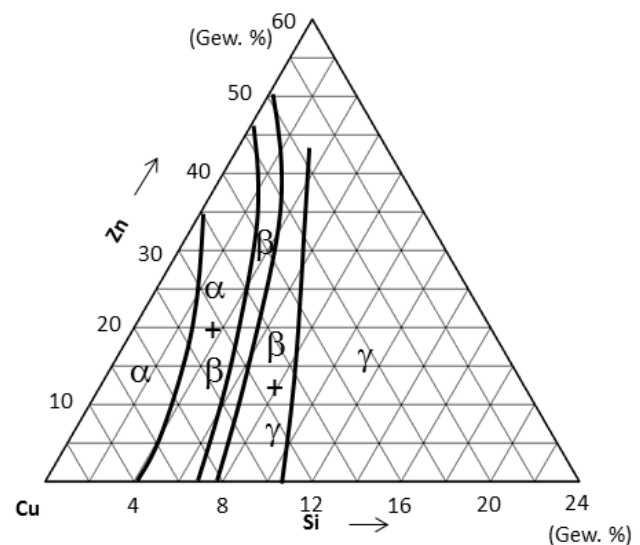


Abbildung 1: CuZnSi Dreistoff-System

¹ Deutsches Kupferinstitut, <http://www.kupferinstitut.de>

² Kurt Dies, Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Springer-Verlag, Berlin 1967, p. 254-404



Mit dem Ziel die mechanischen Eigenschaften weiter zu verbessern, werden in der Werksnorm der Breuckmann GmbH & Co. KG die zulässigen Toleranzbereiche der Legierungselemente von Siliziumtombak nach DIN EN ISO 1982 sehr stark eingeschränkt. Dieser Werkstoff erzielt ein metallurgisches Eigenschaftsoptimum und wird als **Sitomb®** bezeichnet.

2 Abgrenzung Siliziumtombak und Sitomb®

Wie in Kapitel 1 beschrieben, besteht Siliziumtombak aus etwa 80 Gew. % Kupfer, 16 Gew. % Zink und 4 Gew. % Silizium. Zur Realisierung technologisch anspruchsvoller Bauteile ist jedoch diese grobe Betrachtung nicht ausreichend und muss daher weiter konkretisiert werden. Ein erster Blick in die Norm (DIN EN ISO 1982) zeigt, dass die genannten Legierungselemente schwanken dürfen (Tabelle 1). Zusätzlich befinden sich weitere Legierungs- und Spurenelemente im Werkstoff. Eine qualitative Übersicht der Einflüsse von Legierungs- und einiger Spurenelemente befindet sich in Tabelle 2.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Siliziumtombak und Sitomb®

Quelle	Eigenschaft	Cu	Si	Zn	Pb
DIN EN ISO 1982	Legierungsgehalt / Gew. %	78 – 83	3 – 5	Rest	≤ 0,8
	Toleranzbereich / Gew. %	5	2	Rest	0,8
Breuckmann Werksnorm	Toleranzbereich / Gew. %	0,5	0,1	0,6	0,02 ³
 Sitomb®	Erhöhte Genauigkeit	x 10	x 20	-	x 40

Für die Herstellung von Sitomb® wird Messing mit Silizium vermischt und anschließend extrem schnell abgekühlt. Damit dies im Druckgussverfahren zuverlässig funktioniert, müssen die Toleranzbereiche der einzelnen Legierungselemente von Siliziumtombak nach DIN EN ISO 1982 strikt eingeschränkt werden (Tabelle 1). Das Ergebnis dieser Toleranzoptimierung basiert auf mehr als 50 Jahren Legierungs- und Prozessentwicklung und drückt sich in Form der Breuckmann-Werksnorm (Sitomb®) aus.

Tabelle 2: Einfluss der Legierungselemente auf Siliziumtombak

Legierungselement/e	Einfluss
Kupfer (Cu)	Ist zu viel Kupfer enthalten, so wird der Werkstoff zu weich. Bei zu wenig Kupfer wird die Korrosionsbeständigkeit herabgesetzt.
Zink (Zn)	Der Zinkanteil senkt die Schmelztemperatur und bildet zusammen mit dem Kupfer Substitutionsmischkristalle. Durch seinen größeren Atomdurchmesser verzerrt und verspannt es die Elementarzelle des Kupfers, wodurch die Härte zunimmt.
Silizium (Si)	Ist der Siliziumgehalt zu gering, wird die Festigkeit und die Härte des Werkstoffs nicht ausreichend. Ist der Siliziumgehalt zu hoch, wird der Werkstoff zu spröde und empfindlich für Warmrisse im Produktionsprozess.
Blei ³ (Pb)	Blei liegt als Ausscheidung im Gefüge vor und schwächt somit die Dauerschwingfestigkeit. Aus technischer, ökologischer und arbeitssgesundheitlicher Sicht gilt: je weniger Blei, desto besser.
Spurenelemente Al, Fe, Mn, Ni, etc.	Diese weiteren Legierungs- und Spurenelemente nehmen ebenfalls Einfluss auf Festigkeit, Duktilität, Korrosionsbeständigkeit, Härte, Bruchdehnung etc. und müssen daher kontrolliert werden.

Zusätzlich zur Herstellung und einer korrekten Handhabung der Siliziumtombak-Schmelze kommt es auf deren Aufrechterhaltung während des Produktionsprozesses an. Weiterhin ist die verfahrenstechnisch korrekte Verarbeitung (Gussformwerkstoff, Gussformtemperierung, zulässiger Wärmeübergang der

³ Der tatsächliche Bleigehalt liegt bei Sitomb® in der Regel bei deutlich unter 0,01 Gew. %. Somit ist Sitomb® aus technischer Sicht bleifrei.



Formschlichte, Verkürzung der Fließwege, Gießlauf- und Anschnitttechnologie, Spezial-Druckgussmaschinentechnologie für hohe Temperaturen etc.) ausschlaggebend für ideale werkstofftechnische Eigenschaften. Die Steuerung all dieser Faktoren ist fest im Qualitätsmanagementsystem der Breuckmann GmbH & Co. KG verankert.

3 Werkstoffeigenschaften

Die Festigkeitseigenschaften bleiben auch bei Temperaturen bis 200 °C weitgehend erhalten. Gegenüber vielen Eisengusswerkstoffen erweist sich die nahezu konstante Zähigkeit mit einer leicht ansteigenden Festigkeit bei tiefen Temperaturen bis -200 °C als vorteilhaft.

Zugfestigkeit	R_m	min. 500 ⁴	MPa
Dehngrenze	$R_{p0,2}$	min. 300	MPa
Bruchdehnung	A	8 bis 15 ⁵	%
Härte nach Brinell	HB10	160	1
Elastizitätsmodul	E	122	GPa
Querkontraktionszahl	ν	0,34	1
Gleitmodul	G	46	GPa
Scherfestigkeit	τ_{aB}	290	MPa
Biegewechselfestigkeit bei 10 ⁸ Lastwechsel	σ_{bWN}	± 150	MPa
Elektrische Leitfähigkeit	σ	3	MS/m
Wärmeleitfähigkeit	λ	34	W/(m · K)
Permeabilität bei $H = 80 \text{ A/cm}$	μ	1,01	1
Wärmeausdehnungskoeffizient bei 25 bis 300 °C	α	$18 \cdot 10^{-6}$	K
Dichte bei 20 °C	ρ	8,3	kg/dm ³
Schmelzbereich	θ	850 bis 1000	°C

Korrosionsbeständigkeit	Sehr gute Korrosions- und Meerwasserbeständigkeit. Die Beständigkeit gegen Wasser, Meerwasser, Säuren und Alkalien ist besser als die von Kupfer. Salzsprühtest nach DIN 50021: 1064 Std., Verfärbung, aber keine Korrosion, nicht beständig gegen Ammoniak.
Lagereigenschaften	Gute Gleit- und Lager-/Notlaufeigenschaften bei mäßiger Belastung.
Warmfestigkeit	Bis 200 °C konstant.
Kaltfestigkeit	Bis -200 °C leicht ansteigende Festigkeit.
Schweißbarkeit	Nach dem WIG-Verfahren schweißbar. Lichtbogen-, Widerstandspress- sowie Widerstandspunktschweißen bedingt anwendbar.
Lötbarkeit	Gut weich- und hartlötbar. Die Gussteiloberfläche muss durch mechanische Bearbeitung oder chemische Behandlung vorbereitet werden.
Oberflächenbehandlung	Geeignet zum mechanischen Polieren. Sehr gut galvanisierbar.
Bearbeitbarkeit	Gute Zerspanbarkeit.

⁴ Mit Sitomb® werden in einigen Anwendungen nachweisbar Zugfestigkeiten von bis zu 700 MPa erreicht. Die Festigkeitswerte sind Geometrie- und Bauteilabhängig.

⁵ Sitomb® erreicht gegenüber des nach DIN EN ISO 1982 normiertem Siliziumtombaks (CuZn16Si4) eine Bruchdehngrenze von 15 bis 25 % und ist somit deutlich plastisch verformbarer, bevor das Material reißt.



4 Zeichnungsrichtlinien

Im Feld **Werkstoffbezeichnung** sollte das Werkstoffkurzzeichen CuZn16Si4-GP (für die Gießart Druckguss) oder CuZn16Si4-GM (für die Gießart Kokillenguss) vermerkt sein.

Die **Allgemeintoleranzen** sollten nach DCTG 4 nach DIN EN ISO 8062-3 oder gröber gewählt werden.

Die typisch erreichbare **Oberflächenrauheit** liegt beim Druckgießen mit Siliziumtombak bei Rz 16 bis 25 (Ra 1,6 bis 3,2). Durch nachträgliches Sandstrahlen oder Gleitschleifen, beim Entfernen von Grat und Scharfkantigkeiten, kann sich die Oberflächenrauheit verändern. Auch verschleißt die Stahldauerform zum Gießen der Teile im Laufe Ihrer Lebenszeit, wodurch höhere Rauigkeiten und Brandrisse in der Form und damit am Gussteil vorkommen. Die Brandrisse treten häufig an scharfen Bauteilkanten auf, welche mit jedem Gießzyklus aufweiten. Um möglichst lange auf einer Form produzieren zu können, sind hier konstruktive Gegenmaßnahmen am Bauteil einzuleiten (z. B. gute Kantenverrundungen oder Freistellungen). Achtung! Brandrisse bedeuten nicht, dass das Gussteil Risse aufweist. Es handelt sich um Risse in der Gussform, die mit abgegossen werden und somit erhaben am Gussteil hervorstehen.

Als **allgemeine Entformungsschräge** wird mindestens 1° (besser 2°) benötigt. Bei kritischen und/oder tiefen Konturen können auch vereinzelt Entformungsschragen von 3° bis 15° notwendig sein.

Allgemeine Kantenzustände für Außen- und Innenkanten sollten mindestens $R=0,5$ betragen. Wesentlich besser sind Kantenzustände größer $R=1$. Im Ausnahmefall sind Kantenzustände von $R=0,3$ möglich. Bei zu kleinen Verrundungen besteht stets die Gefahr von frühzeitigen Brandrissen in der Form, welche sich dann am Bauteil erhaben abbilden. Auch können durch zu kleine Innenradien und entsprechender Beanspruchung Kerbwirkungen entstehen, welche zum unerwünschten Versagen des Bauteils führen können.

Es können auch Bereiche am Bauteil vermerkt werden, an denen **Materialersparnisse** gewünscht sind. Üblich wird die Formulierung: „Materialersparnis nach Wahl des Herstellers“ gewählt.

Gravuren sind im Regelfall in einem 0,3 mm vertieften Schriftfeld 0,2 mm erhaben eingebracht. Eine Kennzeichnung des gewünschten Beschriftungsbereiches ist hier ausreichend. Sollte eine Datumsbeschriftung gewünscht sein, werden diese als **Datumsprägung** bei dem nachträglichen Stanzentgraten durchgeführt. Das Einbringen einer Gießuhr ist aufgrund der hohen Gießtemperaturen ($> 1000\text{ °C}$) nicht umsetzbar.

Eine Kennzeichnung bei **Sicherheitsrelevanz** (SR-Teil) muss eindeutig auf der Zeichnung aufgeführt sein.

Zeichnungen sollten einfach gehalten werden. **Funktionsflächen & -elemente** zu kennzeichnen oder zu beschreiben, verbessert die technische Kommunikation. Nebenmaße können unbemaßt bleiben. Die Entnahme erfolgt hier über das 3D-Model.

5 Typische Gussteilvolumen und Bauteilabmessungen

Übliche Gussteilvolumen für Sitomb® Druckgussteile bewegen sich zwischen $0,1$ bis 24 cm^3 (mehr möglich). Optimale Gussteilvolumen liegen zwischen 1 und 5 cm^3 . Im Kokillengussverfahren sind auch Volumen bis 100 cm^3 möglich.

Typische Bauteilabmessungen im Druckgussverfahren bewegen sich von (Breite x Länge x Höhe) $5 \times 5 \times 2\text{ mm}$ bis $250 \times 250 \times 80\text{ mm}$.

Davon abweichende Volumina/Gewichte und Abmessungen können individuell auf Machbarkeit geprüft werden.



6 Toleranzen

Bei **formungebundenen Maßen** (Maße, welche über die beiden Formhälften entstehen) werden Toleranzfelder von mindestens $T=0,2$ ($T=0,15$ in Ausnahmefällen möglich) benötigt.

Bei **formgebundenen Maßen** (Maße, die in einer Formhälfte entstehen) werden Toleranzfelder von mindestens $T=0,05$ benötigt.

Kleinere Toleranzfelder, als in den Allgemeintoleranzen angegeben, sollten nur bei Notwendigkeit und nach Absprache gewählt werden, da hier eine wirtschaftliche Produktion gefährdet ist. In einigen Fällen sind auch gießtechnisch Toleranzfelder bis $T=0,1$ möglich.

Bei **Bohrnachteilen** sind wirtschaftlich Toleranzfelder bis $T=0,05$ möglich. Passungsmaße nach dem Passungssystem Einheitsbohrung / Einheitswelle sind durch den zusätzlichen Arbeitsgang Reiben möglich.

7 Lunker und Poren

Lunker und Poren sind bei gegossenen Bauteilen nicht immer ganz zu vermeiden. Hier unterscheidet man zwischen **Schrumpflunkern** und **Gasporositäten**. Häufig kommen Lunker und Poren im Zusammenspiel vor.

Auch bei gutem Zusammenspiel der Bauteil- und Formkonstruktion können **Makrolunker** (größer gleich 0,5 mm) vorkommen.

Typisch sind gleichmäßig verteilte **Mikrolunker** (kleiner 0,5 mm), bis hin zu mit den Augen erkennbaren Mikroporen (größer 50 nm).

7.1 Schrumpflunker

Schrumpflunker entstehen beim Erstarren und Abkühlen des Bauteiles in der Form. Während dieses Vorganges nimmt die Dichte des Gussteils zu, wodurch dessen Volumen abnimmt. Während dieser Volumenabnahme wird im Druckguss Material durch hohe Drücke (daher die Bezeichnung Druckguss) nachgeschoben, sodass diese Abnahme durch eine aktive Nachspeisung von Material etwas kompensiert wird. Da das Gussteil an der Randschicht durch den Kontakt zur Stahldauerform zuerst erstarrt (es bildet sich eine Gushaut) und im inneren (die Wärme muss einen größeren Weg zurücklegen und benötigt dafür eben mehr Zeit) langsamer erstarrt, treten tendenziell in Bereichen größerer Volumenanhäufungen diese Schrumpflunker auf. Man erkennt diese an Ihrer rauen inneren Oberfläche. Vermindern kann man diesen Effekt durch eine gleichmäßige Waddickenverteilung des Gussteiles. Durch geschickte Teilekonstruktion erstarrt und schrumpft das Bauteil gleichmäßig von der Oberfläche hin nach innen und es bleiben nur kleine Mikrolunker oder Mikroporen zurück.

7.2 Gasporositäten

Bei der Gasporosität werden Gießgase und Luft während der Formfüllphase im Gussteil eingeschlossen. Durch gießtechnische Optimierung des Bauteiles sowie einer geschickten Formauslegung (bestehend aus Formtrennung, Anschnitt, Überlauf, Entlüftung, Temperierung, etc.) lassen sich diese reduzieren, jedoch nicht vollkommen ausschließen. Erkennen kann man Gasporosität an der geglätteten und schwammartigen inneren Oberfläche.

8 Waddicken

Die **optimale Waddicke** von Sitomb® liegt bei 2,5 mm. Waddicken unter 1 mm sind möglich, sollten jedoch aus Gründen der Prozesssicherheit vermieden werden. Bei Waddicken über 4 mm ist die Wahrscheinlichkeit für Makrolunker ($\geq 0,5$ mm) größer.

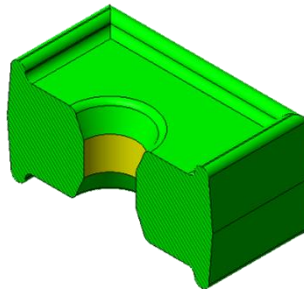
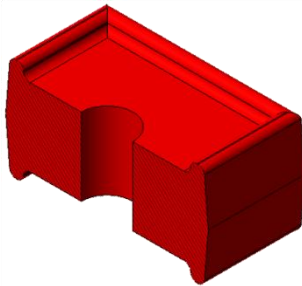


9 Fertigungsgerechtes Konstruieren

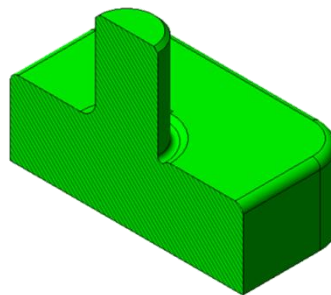
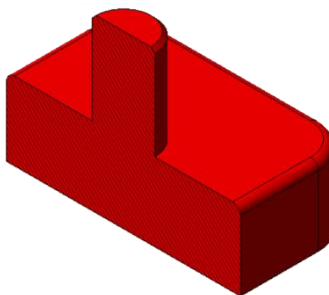
Schlecht

Besser

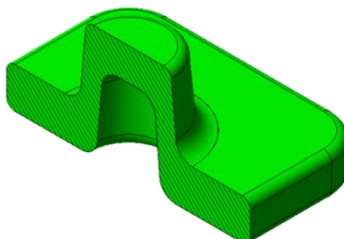
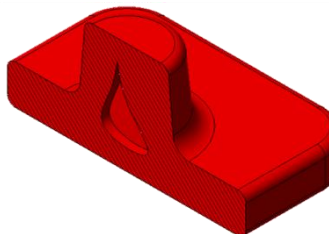
Bemerkung



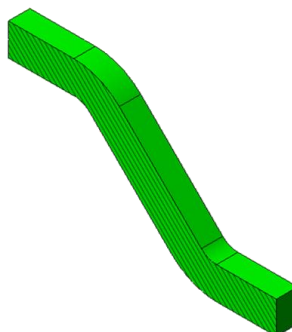
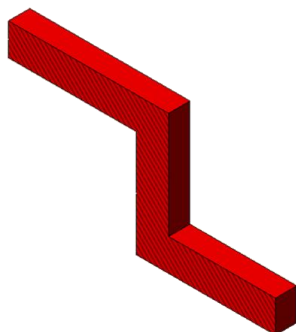
Bohrungen lassen sich in vielen Fällen auch im nachträglichen Stanzentgratprozess lochen. Um Materialausbrüche beim Stanzen zu minimieren, sollte die Höhe der effektiven Scherfläche jedoch reduziert werden. Ein Verhältnis von Durchmesser zur Scherhöhe von $D/S=1$ sowie eine maximale Scherhöhe von 4 mm haben sich hier bewährt. Für das Ein- und Auslaufen des Lochstempels sollten beidseitig Fasen von 5° bis 15° angebracht sein.



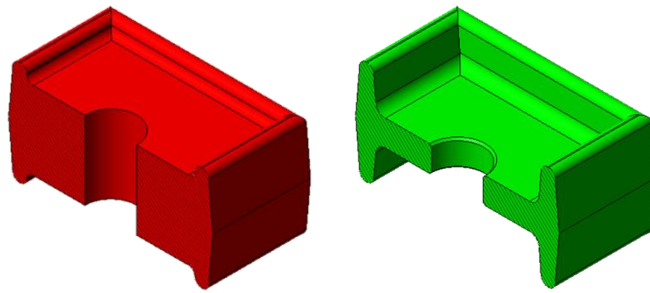
Scharfkantige Übergänge sollten an Zapfen stets vermieden werden. Hier besteht die Gefahr eines Korbbruchs. Ebenfalls bilden sich früh Brandrisse von der Gussform in den Kehlen ab. Übergänge sollten stets mit möglichst großzügigen Radien oder Hohlkehlen bzw. Freistichen versehen werden. Als Hohlkehle eignet sich ein Torus mit einem Radius von 0,5 mm, welcher mit einer 30° Fase ausläuft.



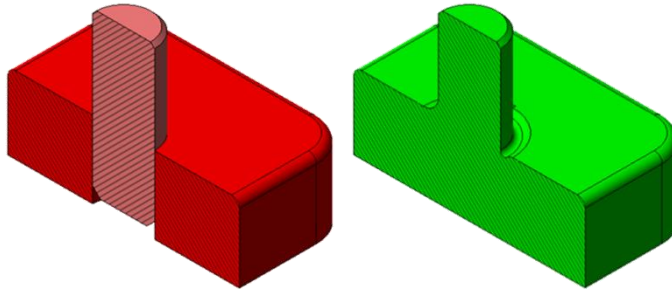
Um die Gefahr von Lunkern in Zapfen zu reduzieren, sollte eine Materialersparnis auf der Rückseite dieser eingebracht werden. Die Aussparung sollte bis oberhalb des beanspruchten/tragenden Querschnittes eingebracht werden. So wird der Lunker weiter in den Zapfen verschoben und gefährdet nicht mehr den tragenden Querschnitt. Ein Durchmesser von 3 mm sowie ein Verhältnis zwischen Länge zu Durchmesser der Aussparung von $L/D=1,5$ sollten nicht unterschritten werden.



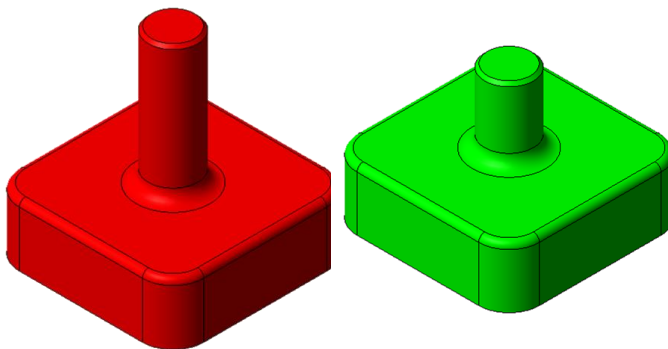
Um eine gute Füllung zu begünstigen und Aufschumpfkkräfte zu reduzieren, sollte auf 90° Winkel verzichtet werden. Anzustreben sind möglichst stumpfe Winkel mit großen Übergangsradien.



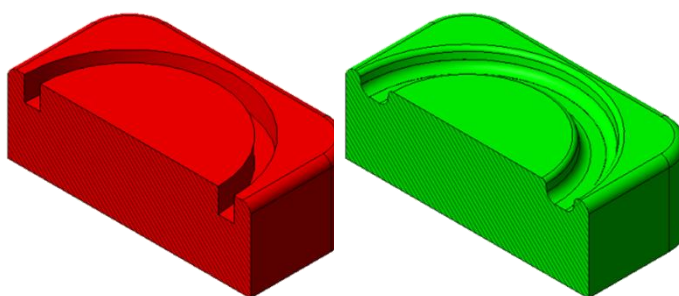
Nach Möglichkeit sollte stets auf dickwandige Bereiche verzichtet werden, da diese die Lunkerbildung begünstigen, die Stückkosten (mehr Materialkosten) erhöhen und den Wärmehaushalt der Stahldauerform (Prozesskosten) belasten. Optimale Wanddicken von Sitomb® liegen bei 2,5 mm.



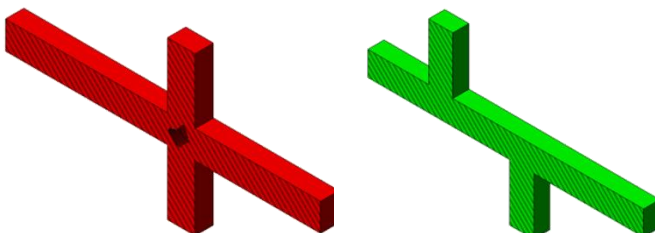
Nach Möglichkeit sollten sich Zapfen direkt am Gussteil befinden. So können Kosten nachfolgender Arbeitsschritte (z. B. durch ausbleibende Verstiftungen) reduziert werden.



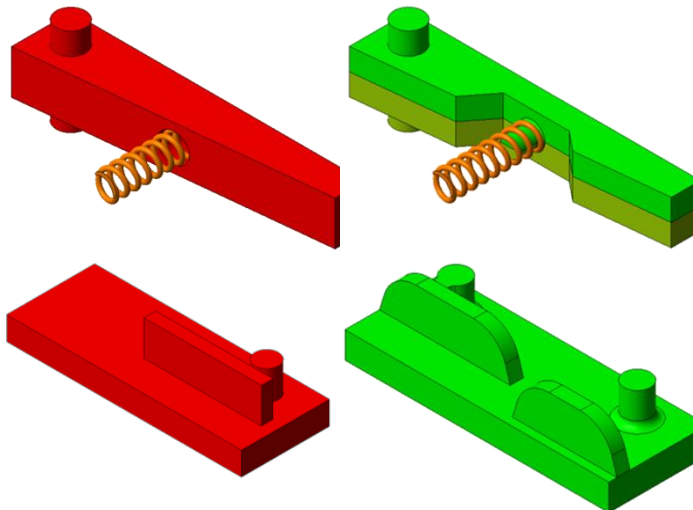
Zu lange Zapfen sind schwierig oder kaum in einer Druckgussform zu realisieren. Die Formfüllung ist wegen der längeren Fließwege der Schmelze erschwert. Luft kann in diesen tiefen Kavitäten schlecht entweichen und es könnten sich Luftpolster am Ende der Zapfen bilden. Die erhöhten Entformungskräfte schädigen die Zapfen (Ziehriefen) oder zerstören diese. Ein gutes Längen zu Durchmesser Verhältnis liegt bei $L/D=1,5$. Der Zapfendurchmesser sollte hierbei nicht kleiner als 3 mm sein und eine Entformungsschräge größer 1° besitzen. Zur besseren technischen Kommunikation sollte der Funktionsbereich des Zapfens auf der Zeichnung angegeben und bemaßt werden.



Zu tiefe und schmale Nuten sollten vermieden werden. Diese würden dünne Wanddicken/Stege in der Gussform erfordern, welche bei den nötigen Gießtemperaturen von über 1000°C leicht überhitzen könnten. Ein Verhältnis der Tiefe zu Breite von $T/B=1$ ist anzustreben. Eine Nutbreite von 2,5 mm sollte nicht unterschritten werden.



Beim Kreuzen von Wandungen oder Anbringen von Versteifungsrippen sollten diese versetzt sein, um Volumenanhäufungen und somit größere Lunkerbildung zu vermeiden.



Um Hinterschnidungen oder eine nachträgliche Bohrbearbeitung zu verhindern, können Federführungen auch als Zapfen ausgearbeitet und mitgegossen werden.

Wenn Bauteilelemente zu dicht beieinanderstehen, müssen diese entweder weiter auseinandergebracht oder verbunden werden, um dünne Wanddicken in der Form zu vermeiden. Anzustreben sind hierbei Abstände größer 4,5 mm.

10 Auswerferpositionen

Um das Bauteil aus der Gießform auszustoßen, in der es nach dem Öffnen der beiden Formhälften auf der sogenannten Auswerferseite hängen bleibt, werden Auswerfer benötigt. Die Durchmesser dieser Auswerferstifte bei Sitomb®-Gussteilen betragen typischerweise $\varnothing 3$ bis 4 mm. Diese liegen im Gussteil etwa 0,1 mm ein. Geeignete Positionen für Auswerfer sollten in Rücksprache mit unseren Konstrukteuren bestimmt werden.

11 Stanzentgraten

Nach dem Gießen werden Stanzentgratwerkzeuge benötigt. Diese trennen die Gussteile von den Gusstrauben, an denen zumeist gleich mehrere Gussteile hängen, und entfernen ebenfalls Grat (Abbildung 2). Da die Positionierungsgenauigkeit der Gusstrauben im Stanzentgratwerkzeug in der Serienproduktion bei ca. 0,1 mm liegt, wird eine ausreichend große Scherfläche für ein sauberes Stanzbild benötigt.

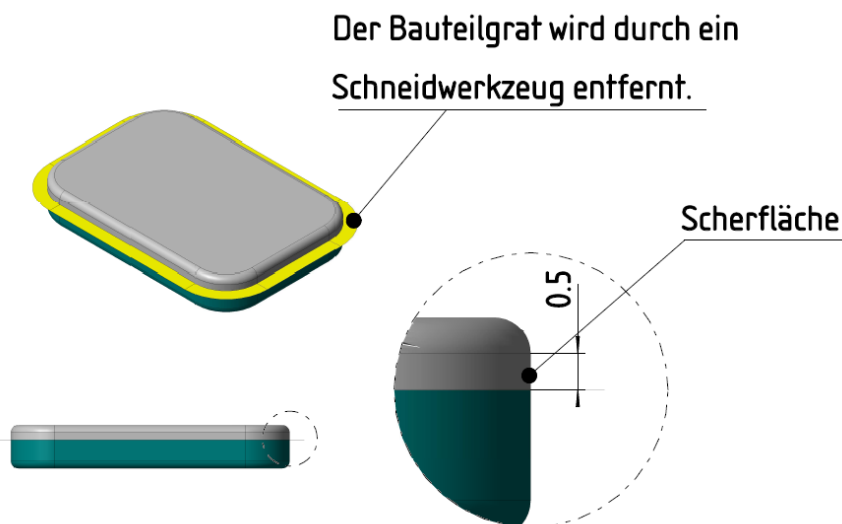


Abbildung 2: Scherbereich



12 Nussvierkant

Um beim Stanzentgraten von höheren Innenvierkantgeometrien keine Beschädigung am Bauteil durch zu hohe Schneidkräfte zu verursachen (Bauteilbruch oder Ausbrüche an den Scherflächen), muss die Schneidfläche möglichst geringgehalten werden. Dies geschieht durch Freistellungen und einer Reduzierung der effektiven Wirkhöhe des Vierkantes auf die nötige Funktionshöhe. Nachstehend (Abbildung 3 und Tabelle 3) eine Empfehlung unserer Werksnorm, welche wir für diesen Anwendungsfall entwickelt haben. Benötigt wird hier ein Toleranzfeld von $T=0,1$.

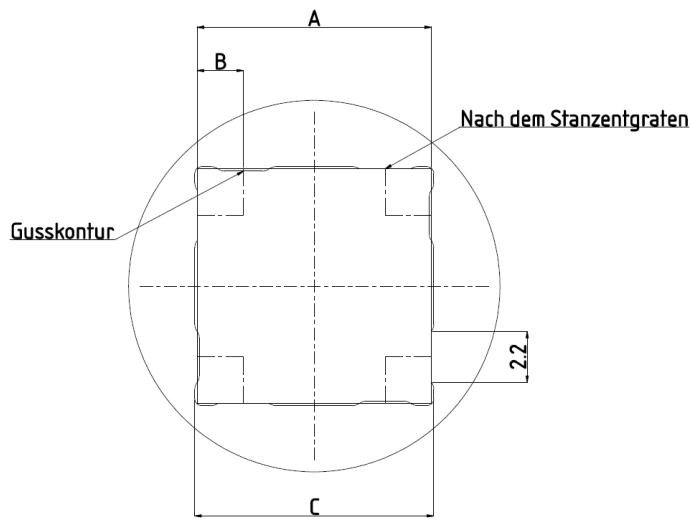


Abbildung 3: Innenvierkant

Tabelle 3: Auszug aus der Breuckmann Nussvierkantnorm

Vierkant / mm	A + 0,07 / mm	B / mm	C _{Freillage} / mm
7	7,03	1.6	7.3
8	8,03	1.8	8.3
8,5	8.53	1.8	8.8
9	9.03	2.0	9.3
10	10.03	2.0	10.3

13 Nietzapfen

Umformprozesse sind auch mit Sitomb® möglich. Hierbei müssen die Prozessparameter (produktspezifisch) ermittelt und ausgewählt werden, damit der Umformprozess in der Serie beherrscht werden kann. Rissbildung, Materialabplatzungen oder gar Materialbrüche müssen verhindert werden.

Die Umformgeschwindigkeit von Sitomb® muss langsam sein. Ein zu großer Umformgrad, welcher in einem Schritt oder in zu kurzer Zeit stattfindet, bewirkt ein Reißen des Werkstoffes. Hier gilt „Umformung in mehreren Schritten mit ausreichend Zeit“.

Der häufigste Anwendungsfall bei Bauteilen aus Siliziumtombak für solche Umformprozesse stellt das Vernieten dar. Folgend sollen Empfehlungen für das Gestalten des Nietzapfens und das Durchführen des Nietprozesses (Taumelprozess) gegeben werden.

13.1 Der Nietzapfen vor dem Taumelprozess

Die Größe der Nietensenkung muss im Verhältnis zum Volumen des Zapfens größer sein. Es muss vermieden werden, dass umgeformte Materialanteile über den Rand der Senkung hinaus gequetscht werden. Hier können sich Risse von den aufliegenden Kanten bis hin zur Mitte des Nietzapfens bilden. Anschließend brechen Segmente des vernietenden Zapfens aus (Abbildung 5). Um die Gefahr von Materialaufwerfung weiter zu reduzieren, muss ein abgesetzter Materialzusatz auf den Nietzapfen aufgesetzt werden (siehe Abbildung 4). Dieser ist bei einem $\varnothing 4$ mm Nietzapfen etwa 0,5 mm hoch.

Kehlen- und Kantenradien sind an den umzuformenden Bereichen so groß wie möglich zu dimensionieren. Scharfe Kanten sind grundsätzlich zu vermeiden. Die Gefahr von Kerbrissen und -brüchen beim Umformen wäre zu hoch.

Am Fuß des Nietzapfens sollte ein möglichst großer Radius angebracht werden, um den Kraftfluss zu begünstigen und der Kerbneigung entgegen zu wirken. Alternativ sind hier Freistiche zu empfehlen. Das



angefügte Blech darf in diesem Bereich nicht scharfkantig sein. Eine Fase schafft hier Freiraum, damit sich das Blech nicht in das Material des Zapfens einarbeitet und einen Riss auslöst.

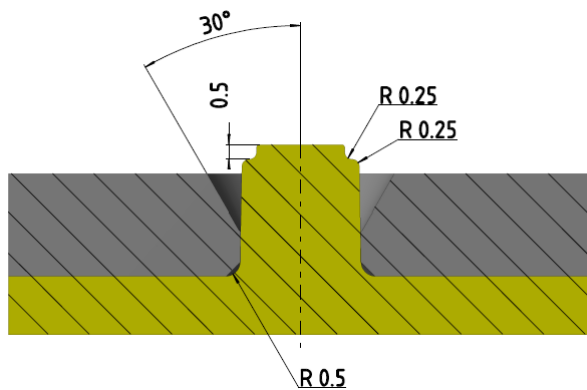


Abbildung 4: Nietzapfen vor dem Taumelprozess

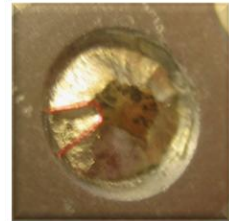


Abbildung 5: Ausbruch

13.2 Der Nietzapfen im Taumelprozess

Beim Vernieten von Siliziumtombak sollte auf einen Taumelprozess zurückgegriffen werden. So ist die Anforderung einer Umformung in mehreren Schritten bei steuerbaren und niedrigen Fließgeschwindigkeiten erfüllt.

Die Form des Taumeldorns sollte konvex gestaltet sein, damit die Krafteinwirkung über das Zentrum des Nietzapfens eingeleitet wird und der Zapfenrand nicht belastet wird. Weiter soll der Taumeldorn im Taumelprozess eine kreisende Bewegung um die Symmetrieachse des Zapfens herum ausführen (Abbildung 6). Am Fuß der Nietverbindung soll ein kleiner und zylindrischer Bereich den Zapfen im Blech zentrieren. Hierdurch wird die Querkraftwirkung im Fuß des Zapfens reduziert.

Für den Taumelprozess wird eine hydraulische Taumelpresse empfohlen, da die Krafteinstellung pneumatischer Pressen zu ungenau ist. Das Material benötigt Zeit zum Fließen (niedrige Umformgeschwindigkeiten). So können Sprödrisse vermieden werden.

Ziel ist es, das Material so schonend wie möglich umzuformen.

13.3 Der Nietzapfen nach dem Taumelprozess

Der Kopf der Nietverbindung muss am Ende des Taumelprozesses einen verbleibenden Radius aufweisen (Abbildung 7). Spitze oder scharfkantige Geometrien führen zum partiellen Ausbrechen des Nietkopfes.

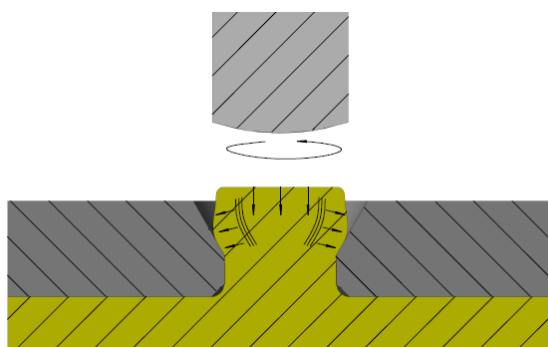


Abbildung 6: Nietzapfen im Taumelprozesses

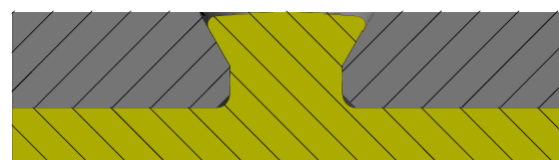


Abbildung 7: Nietzapfen nach dem Taumelprozess