



Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink- Gusslegierungen (Zinnbronzen)

Herausgeber:

Deutsches Kupferinstitut
Auskunfts- und Beratungsstelle
für die Verwendung von
Kupfer und Kupferlegierungen

Am Bonnehof 5
40474 Düsseldorf
Telefon: (0211) 4 79 63 00
Telefax: (0211) 4 79 63 10
info@kupferinstitut.de
www.kupferinstitut.de

Alle Rechte, auch die des
auszugsweisen Nachdrucks und
der photomechanischen oder
elektronischen Wiedergabe,
vorbehalten.

Wir danken der ICA (International
Copper Association), New York, für
die besondere Unterstützung zur
Herausgabe dieser Broschüre.

Auflage 12/2004

Kupfer-Zinn und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen)

Inhalt

1. Allgemeines zu Zinnbronzen Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen	4
1.1 Geschichtliches	4
1.2 Zustandsschaubild Kupfer-Zinn.	4
1.3 Dreistoffsysteme auf der Basis Kupfer-Zinn	5
1.4 Einfluss von Beimengungen und Verunreinigungen.	8
1.5 Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zink- und Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen in der DIN EN 1982	9
1.6 Gegenüberstellung der Werkstoffbezeichnungen in verschiedenen Ländern	9
2. Eigenschaften von Kupfer-Zinn und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen.	10
2.1 Physikalische Eigenschaften	10
2.2 Mechanische Eigenschaften	11
2.3 Gleiteigenschaften	15
2.4 Korrosionsbeständigkeit	16
3. Herstellung und Bearbeitung	18
3.1 Schmelzen	18
3.2 Gießen	18
3.3 Wärmebehandlung.	18
3.4 Spanabhebende Bearbeitung	19
3.5 Verbindungsarbeiten	19
3.6 Oberflächenbehandlung	20
4. Anwendung	22
Literatur	24
Normen	24
Bildnachweis	24

1. Allgemeines zu den Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen)

Die gebräuchlichen Kupfer-Zinn-Gusslegierungen sind in DIN EN 1982 (Tab. 17 bis 21, Stand 12.98) genormt und umfassen Gusslegierungen des Kupfers mit 9 bis 13 % Zinn als Hauptlegierungselement, sie werden auch „Guss-Zinnbronzen“ genannt. Außerdem sind Legierungen mit etwa 20% Zinn als sogenannte „Glockenbronzen“ bekannt.

Bei den Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen handelt es sich um Legierungen des Kupfers mit Zinn und Zink (sowie evtl. noch Blei). Diese sind in DIN EN 1982 (Tab. 22 bis 26, Stand 12.98) genormt und enthalten 1,5 bis 11% Zinn, 1 bis 9 % Zink und bei Bedarf 2,5 bis 7% Blei. Für diese Legierungsuntergruppe ist der Handelsname **Rotguss** üblich. Sowohl den Kupfer-Zinn-Gusslegierungen als auch den Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen kann etwas Nickel zur Verbesserung der Festigkeit und Blei zur Verbesserung der Spanbarkeit zugegeben werden.

Die in DIN EN 1982 (Tab. 27 bis 30, Stand 12.98) genormten Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen mit Zinn (0,5 bis 11%) und größeren Gehalten an Blei (4 bis 26 %) sind auch als „Guss-Zinn-Bleibronzen“ geläufig. Diese durch den hohen Bleigehalt gekennzeichneten Kupferwerkstoffe weisen sehr gute Notlaufeigenschaften auf und sind deshalb auch zukünftig als Lagerwerkstoffe unersetzbar. Sie können zur Steigerung der Festigkeit auch einen geringen Zusatz an Nickel enthalten.

1.1 Geschichtliches

Vermutlich um 2500 v. Chr. wurde erstmals mit Zinn legiertes Kupfer vergossen. Das wohl bedeutendste frühe Bildwerk aus Vorderasien – ein bronzenener Fürstenkopf entstand etwa 2000 v. Chr. [1].

Schon in frühgeschichtlicher Zeit wurden Kupferlegierungen mit 20 bis 50 % Zinn wegen ihres hohen Reflexionsvermögens zur Herstellung von Spiegeln herangezogen. Der frühere Bildguss hatte nach 500 v. Chr. in Griechenland einen Höhepunkt erreicht, eine rund 30 m hohe Statue des Sonnengottes Helios im Hafen von Rhodos – um 300 v. Chr. aus Bronzeteilen

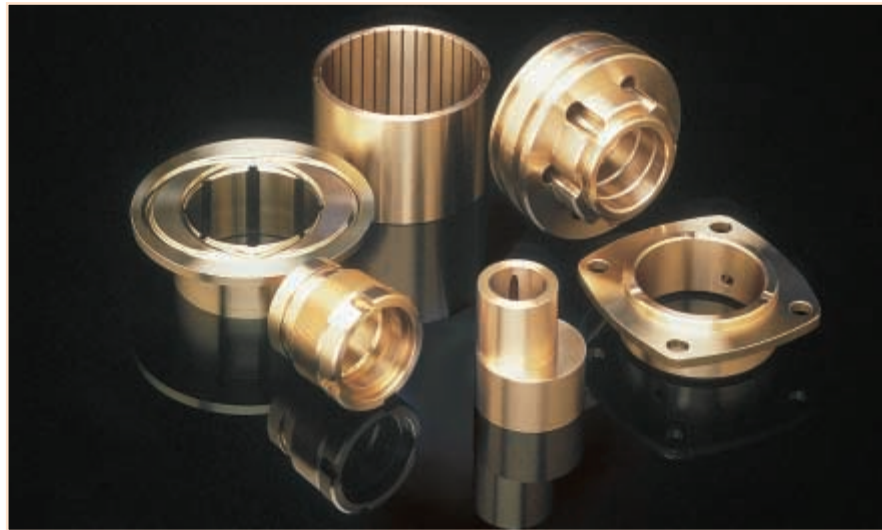


Bild 1: Gleitlager (DKI 2488)

zusammengesetzt und kurz darauf durch ein Erdbeben zerstört – galt im Altertum als großes Weltwunder [1]. Die ersten Glocken aus Zinnbronzen wurden um etwa 600 n. Chr., die ersten Kanonenrohre aus Bronze zwischen 1345 und 1370 gegossen. Der Bronzeguss – insbesondere Kunstguss – erlebte eine Blütezeit in der Renaissance.

Heute nehmen die Gusslegierungen aufgrund ihrer technologischen Eigenschaften unter den Kupferwerkstoffen eine bedeutende Stellung ein (Bild 1).

1.2 Zustandsschaubild Kupfer-Zinn

Im Gegensatz zu dem früh realisierten technischen Einsatz der Kupfer-Zinn-Legierungen war deren Konstitution lange Zeit nur in groben Zügen klar, da diese Legierungen wegen ihres breiten Erstarrungsintervalls zu starken **Seigerungen (Entmischung)** neigen. Die kristallographische Ähnlichkeit der entstehenden Phasen erschwerte ihre eindeutige Identifizierung.

Bild 2 zeigt das gesamte Zustandsschaubild Kupfer-Zinn und Bild 3d zeigt die kupferreiche Seite des Zustandsschaubildes Kupfer-Zinn für den Gleichgewichtszustand. In der flüssigen Phase ist eine vollkommene Löslichkeit vorhanden. Im festen Zustand kann das Kupfer bis max. 15,8% Zinn (bei 520 °C) unter Misch-

kristallbildung (α -Phase) lösen. Obgleich die mit sinkender Temperatur abnehmende Zinnlöslichkeit unter 520 °C theoretisch eine Ausscheidungsfähigkeit von Kupfer-Zinn-Legierungen erwarten lässt, hat diese praktisch keine Relevanz, da sich das Gleichgewicht nur nach starker Kaltumformung und bei extrem langen Glühzeiten – infolge der Diffusionsträgheit von Zinn – einstellen würde. So bleibt für normale Glühzeiten die Löslichkeit von Zinn unterhalb von 520 °C nahezu konstant.

Bei der Erstarrung führt außerdem das breite Erstarrungsintervall zu erheblichen Konzentrationsunterschieden der entstehenden Mischkristalle, so sind die zuletzt aus der Restschmelze ausgeschiedenen Mischkristalle viel zinnreicher als die zuerst ausgeschiedenen. Dieser Konzentrationsunterschied kann allein über eine Zindiffusion ausgeglichen werden. Der Diffusionsvorgang läuft jedoch sehr träge, so dass bei den gusstechnisch möglichen Abkühlungsgeschwindigkeiten das Gebiet der α -Phase noch mehr eingeengt wird. Die in Sand gegossenen Zinnbronzen weisen daher nur bis zu Zinngehalten zwischen 4 bis 6 % in homogenen α -Mischkristallen auf (Bild 3b). Bei Zinnbronzen mit höheren Zinngehalten tritt neben der α -Phase auch das ($\alpha+\delta$)-Eutektoid auf. Bild 3a zeigt das praktische Zustandsschaubild Kupfer-Zinn für Kokillenguss.

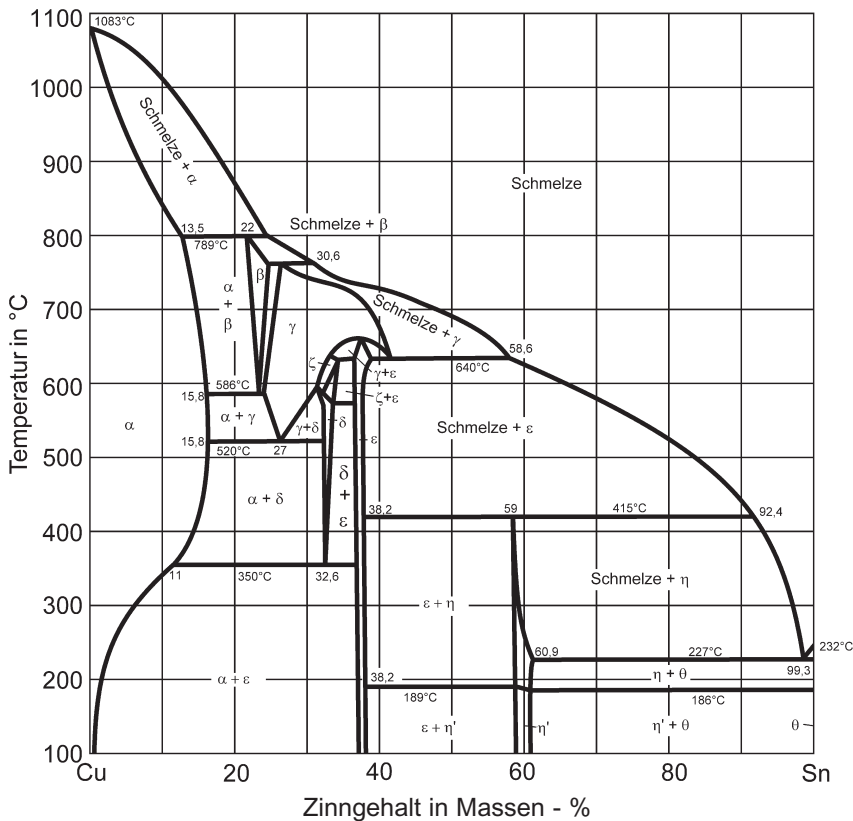


Bild 2: Zustandsschaubild Kupfer-Zinn (DKI 1531 B)

Die genannten, durch die Diffusions-trägheit hervorgerufenen Gefügezu-stände („Kornseigerung“) lassen sich durch eine Glühbehandlung (Homoge-

nisieren) über Diffusionsvorgänge beseitigen (Bild 3c). Allerdings werden zinnhaltige Kupfer-Gusswerkstoffe meist keiner zusätzlichen Wärmebe-

handlung unterworfen, da in vielen Fällen, wie z. B. für Lagerzwecke, ein heterogener Gefügebau erwünscht ist. Sollen jedoch an dem Werkstoff Kaltumformungen vorgenommen werden, so ist eine entsprechende Glühbehandlung erforderlich. Die Kupfer-Zinn-Gusslegierungen zeigen aber auch die Erscheinung einer „umgekehrten Blockseigerung“ (höhere Zinngehalte am Außenrand der Gussblöcke als im Inneren), sie lässt sich nachträglich nicht beseitigen.

Zinngehalte, die in Kupfer-Zinn-Gusslegierungen üblich sind, bewirken die Ausbildung eines heterogenen Gefüges, das entweder aus einer weichen α -Grundmasse mit eingelagertem harten $(\alpha+\delta)$ -Eutektoidanteil besteht (Zinngehalt 5 bis 12%) oder aus einer harten $(\alpha+\delta)$ -Matrix mit eingelagerter weicher α -Phase (Zinngehalt 12 bis 20%). Beide Gefüge haben gute Gleiteigenschaften. Mit steigendem Zinngehalt nimmt auch die Korrosionsbeständigkeit zu.

1.3 Dreistoffsysteme auf der Basis Kupfer-Zinn

In Kupfer-Zinn-Gusslegierungen sind weitere Legierungszusätze an Zink, Nickel und Phosphor üblich. Blei wird zur Verbesserung der Spannbareit und Gleiteigenschaft zugesetzt.

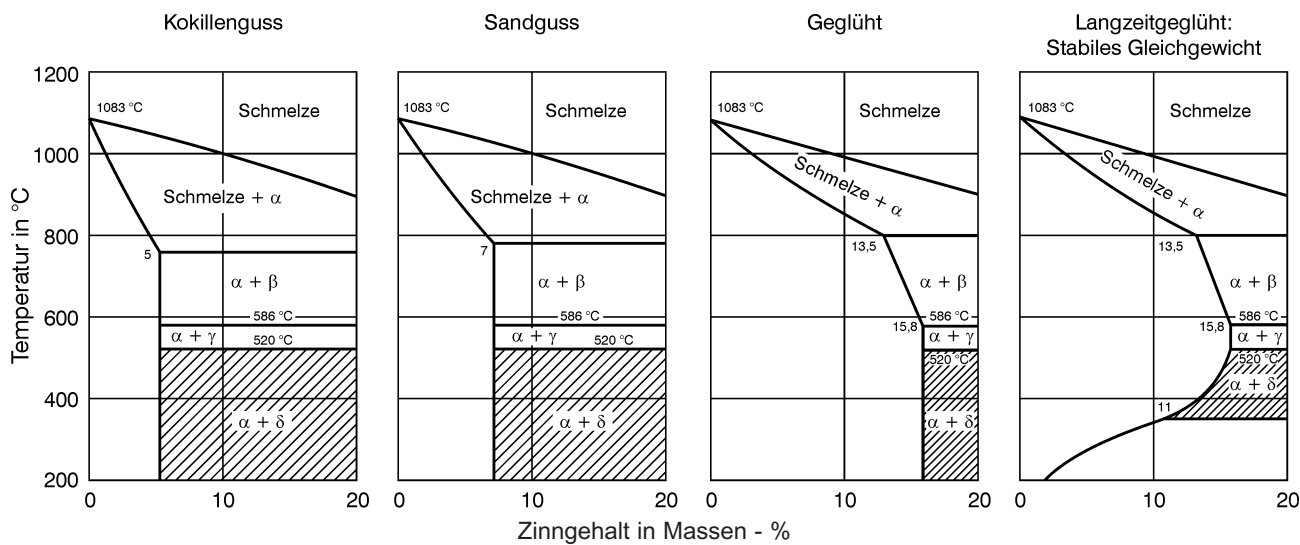


Bild 3a bis 3d: Zustandsschaubilder Kupfer-Zinn in Abhängigkeit von den Abkühlbedingungen und dem Gießverfahren (DKI 1545)

1.3.1 Kupfer-Zinn-Zink

Zusätze von Zink haben für Kupfer-Zinn-Gusslegierungen eine große Bedeutung. Viele dieser Legierungen enthalten als drittes Legierungselement Zink und machen die Gruppe der Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Rotguss) aus.

Die üblichen Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen weisen Zinkgehalte bis zu 9 % auf. Die Kupferecke des Systems Kupfer-Zinn-Zink wurde ausführlich untersucht und ist verhältnismäßig gut bekannt.

Ein entsprechender Ausschnitt aus dem Zustandsschaubild Kupfer-Zinn ist in **Bild 4** wiedergegeben. Es tritt zwischen den gleichartig kristallisierenden festen Phasen in weitem Umfang Mischkristallbildung auf. Die Löslichkeit von Zinn und Zink in Kupfer ist in **Bild 4** durch die Grenzfläche des ternären

α -Mischkristalls dargestellt, der eine hohe Zinklöslichkeit besitzt. Aufgrund von Seigerungserscheinungen ist bei Gusslegierungen schon bei niedrigen Zinngehalten mit einem heterogenen Gefüge zu rechnen. Zinkzusätze erhöhen im Gussgefüge den $(\alpha+\delta)$ -Anteil. Mit einer homogenisierenden Glühung kann aber der α -Phasenraum erweitert werden.

Die meisten Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen enthalten außerdem noch bis zu 7 % Blei, das im festen Zustand in allen diesen Kupferlegierungen unlöslich ist.

1.3.2 Kupfer-Zinn-Blei

Die Gehalte an Blei liegen in den Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen (Guss-Zinn-Bleibronzen) meist weit höher als die von Zinn. Festigkeit und Dehnung nehmen durch Bleizusätze über 1,5 % geringfügig ab.

Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen enthalten bis zu 26 % Blei, das im festen Zustand unlöslich ist und im Gefüge in Form von feinverteilten Teilchen vorliegt. Die Erstarrungsvorgänge werden durch den Bleigehalt praktisch nicht beeinflusst und vollziehen sich wie bei binären Kupfer-Zinn-Legierungen.

Einen Ausschnitt aus dem Dreistoffsystem Kupfer-Zinn-Blei zeigt **Bild 5**, in das auch genormte Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen eingezeichnet sind. Demnach wird durch den Zinnzusatz die im System Kupfer-Blei vorhandene Mischungslücke unterdrückt, die gebräuchlichen Gusslegierungen liegen alle außerhalb des Bereiches der Mischungslücke. Blei trägt in Gussteilen auch zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit bei, speziell gegen Schwefelsäure. Bleizusätze verbessern die Notlaufeigenschaften dieser Legierungsgruppe (Gleitwerkstoffe).

1.3.3 Kupfer-Zinn-Nickel

Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen enthalten gelegentlich Nickel als Legierungsbestandteil. Nickelgehalte bis ca. 2,5 % verbessern bei etwa gleichbleibenden Festigkeitseigenschaften die Zähigkeit und vermindern die Abhängigkeit der Festigkeit von der Wanddicke (Wanddicken Einfluss). Außerdem erhöhen sie die Korrosionsbeständigkeit der Gusslegierungen.

Bild 6 gibt den Schnitt durch das ternäre Zustandsschaubild Kupfer-Zinn-Nickel für einen konstanten Nickelgehalt von 2 % wieder. Durch Nickelzusatz werden die Liquidus- und Solidustemperaturen sowie $(\alpha+\delta)$ -Anteil des Gefüges erhöht, außerdem die Grenzen der homogenen festen Lösung zu niedrigen Gehalten verschoben.

Bemerkenswert ist im **Bild 6** das Auftreten einer neuen Phase ϑ , die Nickel und Zinn etwa im Verhältnis 1:1 enthält. Gusslegierungen mit über 4 % Nickel besitzen eine Ausscheidungsfähigkeit. Gelegentlich wird hiervon Gebrauch gemacht, um die günstigen Gießeigenschaften der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen mit verbesserten

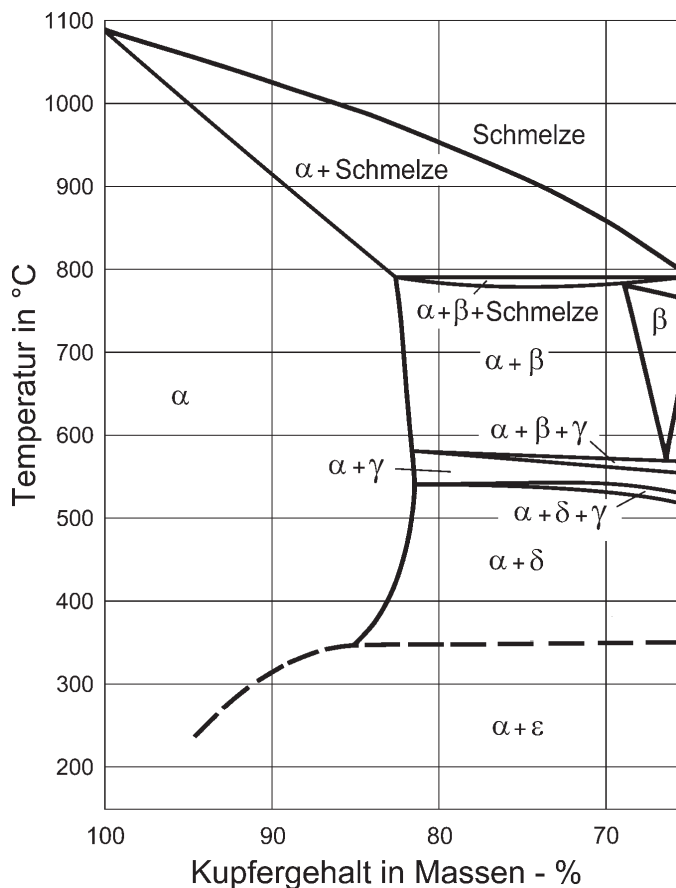


Bild 4: Zustandsschaubild Kupfer-Zinn-Zink; Schnitt durch die Kupferecke bei einem Verhältnis Zinn zu Zink 1:1 (DKI 1548)

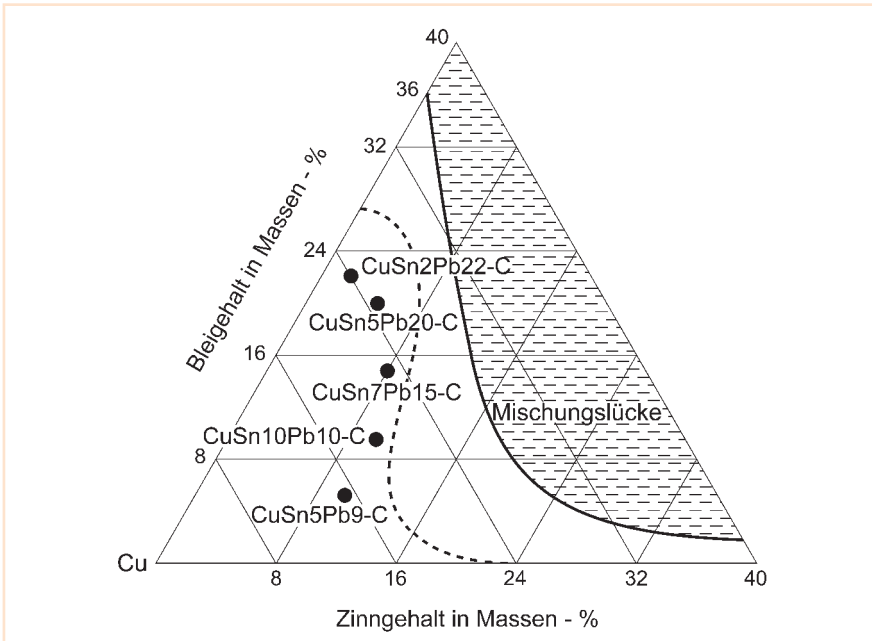


Bild 5: Kupferecke im ternären Zustandsschaubild Cu-Sn-Pb.
Die in den Tabellen 28 bis 30 der DIN EN 1982 genormten Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen und zwei weitere typische Lagerwerkstoffe sind im Schaubild aufgeführt (DKI 4251)

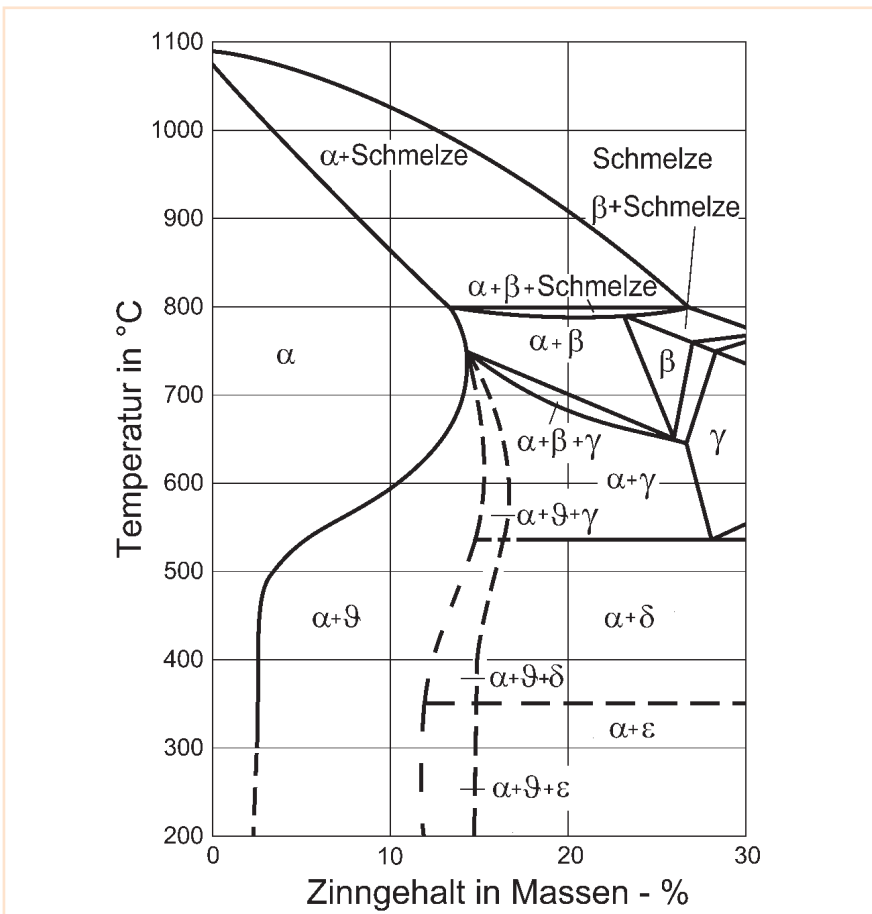


Bild 6: Schnitt durch das Zustandsschaubild Kupfer-Zinn-Nickel für 2 % Nickel (DKI 1552)

mechanischen Eigenschaften zu kombinieren.

Technisch sind Kupfer-Zinn-Nickel-Legierungen mit Bleizusatz von Bedeutung (**siehe Ausklapp-Tabelle am Ende der Broschüre**), da sie infolge der weichen Bleieinlagerungen gute Notlaufeigenschaften besitzen. Gussteile sind bei der Anlassbehandlung einer erhöhten Rissgefahr ausgesetzt, da sie durch die Ausscheidung erhebliche innere Verspannungen besitzen.

1.3.4 Kupfer-Zinn-Phosphor

Um eine Desoxidation der Kupfer-Zinn-Schmelze zu erreichen und die Bildung von Zinnoxid zu verhindern, wird Phosphor in kleinen Mengen zugegeben. Dabei entsteht als Reaktionsprodukt Phosphorpentoxid, das entweder verdampft oder verschlackt. Die Dosierung soll dabei den Verbrauch des Desoxidationsmittels Phosphor berücksichtigen. Ein geringer Restgehalt von 0,01 % Phosphor sichert eine einwandfreie Desoxidation.

Bild 7 zeigt einen Schnitt durch das ternäre Zustandsschaubild (Kupferecke), mit steigendem Zinngehalt wird die Löslichkeit des Phosphors im α -Mischkristall herabgesetzt; bereits bei 0,1% tritt Phosphor im Gusgefüge z. T. als Cu_3P [3] auf. Die Zugabe von Phosphor erweitert das Erstarrungsintervall in starkem Maße, die Umwandlungen im festen Zustand bleiben gegenüber den binären Kupfer-Zinn-Legierungen praktisch unverändert. **Bild 7** gilt für den Fall des Gleichgewichts, das sich auch bei den phosphorhaltigen Legierungen nur sehr langsam einstellt.

Das Gefüge dieser Legierungen weist deshalb normalerweise – bei entsprechend hohen Legierungszusätzen – neben α -Mischkristallen δ - und Cu_3P -Kristalle auf.

Geringe Mengen an Phosphor reduzieren den Oxidgehalt der Kupfer-Schmelze und erniedrigen dadurch die Viskosität und verbessern das Formfüllungsvermögen und damit die Gießbarkeit erheblich. Phosphorgehalte bis etwa 0,075 % beeinflussen die mechanischen Eigenschaften der Gussteile günstig. Höhere Zusätze haben eine leicht verspröde Wirkung und

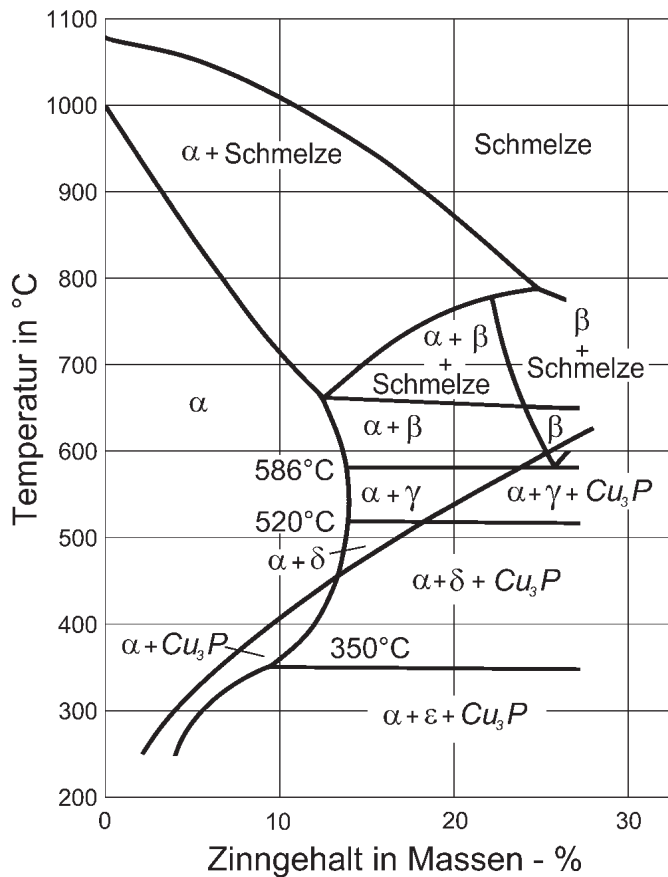


Bild 7: Schnitt durch das Zustandsschaubild Kupfer-Zinn-Phosphor für 0,2% Phosphor (DKI 1543)

können beim Sand-Nass-Guss Formstoffreaktionen hervorrufen. Bei Lagerwerkstoffen aus Kupfer-Zinn-Gusslegierungen bildet sich ein ternäres Phosphideutektikum, das zur Heterogenisierung des Gefüges beiträgt.

1.4 Einfluss von Beimengungen und Verunreinigungen

Aluminium erhöht den $(\alpha+\delta)$ -Anteil des Gefüges, 1% Aluminium wird äquivalent zu 2% Zinn angesehen. Es wirkt desoxidierend, die entstehenden Oxide lassen sich aber nur schwer aus der Schmelze entfernen. Insbesondere wird bei den Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink(-Blei)-Gusslegierungen die Gießbarkeit (Fließvermögen) durch Aluminiumzusatz in starkem Maße negativ beeinträchtigt. Die Festigkeitseigenschaften werden schon bei geringen Gehalten von Aluminium ($<0,01\%$) negativ beeinflusst.

Antimon erhöht im Gefüge ebenfalls den $(\alpha+\delta)$ -Anteil, hat jedoch keinen desoxidierenden Einfluss. In Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen fördert es bei höheren Zusätzen auch die Bleiseigerung. Bei Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen können sich Antimonanteile wegen möglicher Versprödung auf die mechanischen Eigenschaften gefährlich auswirken. In DIN EN 1982 werden die zulässigen Beimengungen je nach Legierung auf 0,05 bis 0,75% begrenzt.

Arsen erhöht stark den $(\alpha+\delta)$ -Anteil im Gefüge. Es kann bei Kupfer-Zinn-Gusslegierungen durch die Versprödung schädlich auf die mechanischen Eigenschaften wirken.

Blei (s. 1.3.2) senkt Zugfestigkeit und Duktilität. Es scheidet sich im Gussgefüge als metallisches Blei aus.

Eisen vermindert die Gießbarkeit. Bei Gehalten unter 0,2% liegt es in Lösung, über 0,2% liegt es als eine eisenreiche Phase vor, bei Kupfer-Zinn-Gusslegierungen sogar als eine Fe-Sn-Phase. In Kupfer-Zinn-Gusslegierungen bis 0,3% Eisen, in Kupfer-Zinn-Blei- und Kupfer-Zinn-Zink(-Blei)-Gusslegierungen bis 2% Eisen beeinflusst es die Festigkeitseigenschaften günstig, höhere Gehalte wirken versprödend. In DIN EN 1982 ist der Eisengehalt für Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen bis auf eine Ausnahme auf 0,25% begrenzt. Eisenoxide wirken als Keimbildner.

Mangan wirkt störend auf die Gießbarkeit. Die Gehalte sollten in der Größenordnung von 0,01% bis 0,1% liegen. In Kupfer-Blei-Legierungen führt es zur etwa gleichen Steigerung der Härte wie Zinn, jedoch ohne Eutektoidbildung. Heute wird es kaum zulegiert, da es gegenüber Zinn keine Vorteile bietet.

Nickel (s. 1.3.3) erhöht die Zähigkeit. Mechanische Eigenschaften werden in Gehalten von 1 bis 2% günstig beeinflusst. Nickelgehalte werden dem Kupfer zugeschlagen, d. h., es verschiebt in Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen die Eutektoidbildung zu höheren Zinngehalten. In DIN EN 1982 werden Gehalte von 0 bis 2,5% Nickel zugelassen.

Phosphor (s. 1.3.4) dient als Desoxidationsmittel. Im Gussgefüge liegt er bis 0,1% in fester Lösung, über 0,1% als Cu_3P vor.

Schwefel liegt in Form von Sulfideinschlüssen vor, die bei bleifreien und bleiarmeren Legierungen die mechanischen Eigenschaften leicht beeinträchtigen. Bei Gehalten über 0,1% Schwefel ist mit einer verminderten Gießbarkeit zu rechnen. Er wirkt bei bleihaltigen Gusslegierungen auf die Seigerungerscheinungen hemmend. Aufgrund der heute üblichen schwefelarmen Brennstoffe kann man von deutlich niedrigeren Gehalten ($<0,05\%$) ausgehen.

Silizium ist hinsichtlich der Gießbarkeit schädlich. Die mechanischen

Eigenschaften werden auch schon bei geringen Siliziumzusätzen (max. 0,01%) erheblich beeinträchtigt. Das sich in Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen bildende Bleisilikat lässt sich aus der Schmelze nur schwer entfernen. Silizium erhöht den ($\alpha+\delta$)-Anteil im Gefüge und wirkt desoxidierend.

Wismut verbessert zwar die Gießbarkeit, doch führen schon Gehalte über 0,05 % in Kupfer-Zinn-Gusslegierungen zu einem merklichen Abfall der mechanischen Eigenschaften und zu Versprödungen, da es sich interkristallin ausscheidet. In Kupfer-Zinn-Blei- und Kupfer-Zinn-Zinn(-Blei)-Gusslegierungen bildet Wismut mit Blei ein Eutektikum und ist für die mechanischen Eigenschaften relativ ungefährlich.

Zinn (s. 1.3.2) kann in Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen in gewissen Mengen als Austausch gegen Zinn herangezogen werden, 1% Zinn wird als äquivalent zu 0,5 % Zinn angesehen. In bleireichen Legierungen behindern zu hohe Zinngehalte die Bleiverteilung.

1.5 Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zinn- und Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen in der DIN EN 1982
Die Zusammensetzung der in DIN EN 1982 genormten zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen ist in der **Ausklapp-Tabelle** angegeben.

In DIN EN 1982 sind mit CuSn10-C (CC480K) und CuSn12-C (CC483K) zwei binäre Kupfer-Zinn-Gusslegierungen genormt. Diese Norm enthält außerdem von der erstgenannten Gusslegierung mit CuSn12Ni2-C (CC484K) eine nickelhaltige und mit CuSn12Pb2-C (CC482K) eine bleihaltige Legierungsvariante. Bei den Kupfer-Zinn-Gusslegierungen wird in DIN EN 1982 dem chemischen Symbol CuSn die Zahl des mittleren Zinngehaltes sowie die Symbole der Zusatzelemente – z. B. Ni oder Pb und deren Gehalte nachgestellt. Das sich daran anschließende C steht für Gussprodukte. Die jeweiligen Gießverfahren (GS = Sandguss, GC = Strangguss, GM = Kokillenguss, GZ = Schleuderguss) werden im Anschluss an das C mit einem Bindestrich nachgestellt. So enthält z. B. CuSn12Ni2-C

etwa 12 % Zinn, 2 % Nickel und dementsprechend etwa 86 % Kupfer. Die Gehalte an Phosphor werden in Kurzzeichen nicht berücksichtigt.

Die DIN EN 1982 enthält ferner die Kupfer-Zinn-Zinn-Gusslegierungen. Auch bei diesen Legierungen folgen dem Symbol CuSn die Zahl des mittleren Zinngehaltes und außerdem die chemischen Symbole und Gehalte der Zusatzelemente.

Hier ist z. B. die Rotgusslegierung CuSn5Zn5Pb5-C (CC491K) enthalten, sie hat einen Zinngehalt von ca. 5 %, einen Zinkgehalt von ca. 5 % und einen Bleigehalt von ca. 5 %, Rest Kupfer.

Für Anwendungen im Trinkwasserbereich werden Rotgusslegierungen mit reduziertem Blei- und Nickelanteil eingesetzt (DIN 50930, T6).

1.6 Gegenüberstellung der Werkstoffbezeichnungen in verschiedenen Ländern

Die Toleranzbereiche der Zusammensetzung der in anderen Ländern genormten Legierungen sind nicht in allen Fällen gleich mit den Festlegungen nach DIN EN. Es handelt sich hierbei um ähnliche aber nicht gleiche Legierungen. Daher werden in **Tab. 1** die in DIN EN 1982 genormten Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zinn-Gusslegierungen den in etwa vergleichbaren Werkstoffbezeichnungen in den USA und in Japan gegenübergestellt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der in DIN EN 1982 genormten Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zinn-Gusslegierungen mit vergleichbaren Werkstoffbezeichnungen in den USA und in Japan

DIN EN-Kurzzeichen	DIN EN-Nummer	UNS (USA)	JIS (Japan)
Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (Bronzen)			
CuSn12-C	CC483K	C90800	PBC3C
CuSn12Ni2-C	CC484K	C91600/C91700	-
CuSn11Pb2-C	CC482K	C92500	-
CuSn10-C	CC480K	90700	PBC2C
Kupfer-Zinn-Zinn-Gusslegierungen (Rotguss)			
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	C93200	-
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	-	-
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	C83600	BC6C
CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	-	-
Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen (Bleibronzen)			
CuSn10Pb10-C	CC495K	C93700	LBC 3
CuSn7Pb15-C	CC496K	C93900	LBC 4
CuSn5Pb20-C	CC497K	C94100	-

2. Eigenschaften von Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen

Die Eigenschaften der zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen werden primär vom Zinngehalt und erst in zweiter Linie vom Zusatz weiterer Legierungselemente bestimmt. Durch Variation der Zusätze können diese Legierungen diversen Bearbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten angepasst werden, dadurch ergeben sich viele Möglichkeiten für den industriellen Einsatz. Diese Legierungen besitzen eine gute Korrosionsbeständigkeit, die im Allgemeinen mit steigendem Zinngehalt (max. bis 20 %) zunimmt.

2.1 Physikalische Eigenschaften

In der **Ausklapp-Tabelle** sind einige wichtige physikalische Eigenschaften der genormten zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen zusammengestellt. Die lachsrote Farbe des Kupfers ändert sich mit steigendem Zinngehalt über Braunrot und Gelbrot bis zu rötlich-gelben, gelben und grünlich-gelben Tönen. Legierungen mit ca. 20% Zinn im Bereich der ϵ -Phase sind silberweiß und haben im polierten Zustand ein hohes Reflexionsvermögen. Höhere Nickelzusätze verleihen silberweiße Töne.

Die Dichte der binären Kupfer-Zinn-Gusslegierungen wird durch den Zinnzusatz nur wenig beeinflusst, das gilt auch für Zinkzusätze. Durch Bleigehalte wird die Dichte entsprechend dem spezifischen Gewicht des Bleis erhöht.

Die Dämpfung nimmt mit zunehmendem Anteil der δ -Phase ab. So haben Legierungen z. B. mit 20 % Zinn, die sog. Glockenbronzen, nur eine geringe Dämpfung. Mit zunehmenden Bleigehalten steigt die Dämpfung, dies wirkt sich bei bleihaltigen Lagerwerkstoffen günstig aus.

2.1.1 Elektrische Eigenschaften

Die Abhängigkeit der **elektrischen Leitfähigkeit** vom Zinngehalt ist in **Bild 8** angegeben.

Demnach setzen steigende Zinngehalte (bis zu ca. 32 %) die elektrische Leitfähigkeit der binären Kupfer-Zinn-Gusslegierungen soweit herab, dass sie bei einem Zinnzusatz von 5 % bei ca. 10 MS/m liegt. Phosphorgehalte bewirken eine weitere Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit, wie sie

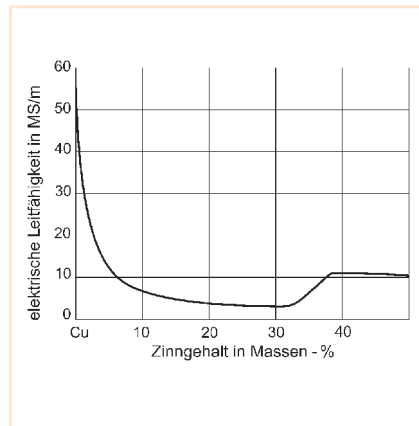


Bild 8: Elektrische Leitfähigkeit der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen bei Raumtemperatur in Abhängigkeit vom Zinngehalt (DKI 4514)

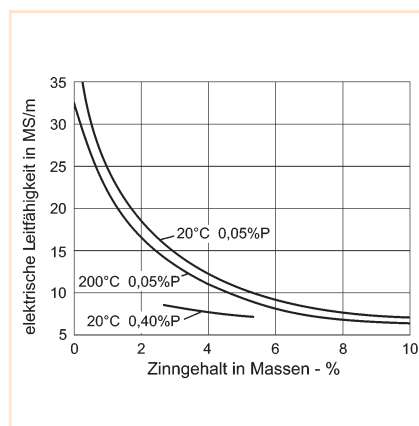


Bild 9: Elektrische Leitfähigkeit binärer Kupfer-Zinn-Legierungen mit verschiedenen Phosphorgehalten bei 20 und 200 °C in Abhängigkeit vom Zinngehalt (DKI 2548)

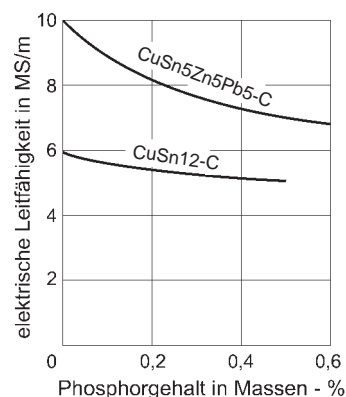


Bild 10: Einfluss des Phosphorgehaltes auf die elektrische Leitfähigkeit von CuSn12-C und CuSn5Zn5Pb5-C (DKI 2549)

Bild 9 zeigt. Die Kurven für Kupfer-Zinn-Legierungen mit 0,05 % und 0,40 % Phosphor verdeutlichen, wie stark Phosphor die Leitfähigkeit beeinträchtigt. Aus dem gleichen Bild ist auch der geringe Einfluss der Temperatur ersichtlich, danach ist die elektrische Leitfähigkeit bei 200 °C etwas niedriger als bei 20 °C.

Den vermindernden Einfluss des Phosphors auf die elektrische Leitfähigkeit zeigt an den Legierungen CuSn12-C und CuSn5Zn5Pb5-C auch **Bild 10**. Weitere im Mischkristall lösliche Zusätze, wie z. B. Zink oder Nickel, setzen die elektrische Leitfähigkeit ebenfalls herab.

2.1.2 Thermische Eigenschaften

Die Wärmeleitfähigkeit der binären Kupfer-Zinn-Gusslegierungen nimmt mit dem steigenden Zinngehalt ab, sie ist in Abhängigkeit vom Zinngehalt für 20 und 200 °C in **Bild 11** dargestellt. Während bei reinem Kupfer die Wärmeleitfähigkeit nahezu von der Temperatur unabhängig ist, zeigt **Bild 11**, dass die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer-Zinn-Gusslegierungen – wie auch von anderen Legierungen – mit zunehmenden Temperaturen ansteigt. Diese Tatsache wird in **Bild 12** am Beispiel der Legierung CuSn5Zn5Pb5-C wiedergegeben.

Der Längenausdehnungskoeffizient steigt mit zunehmendem Zinngehalt leicht an (**s. Ausklapp-Tabelle**).

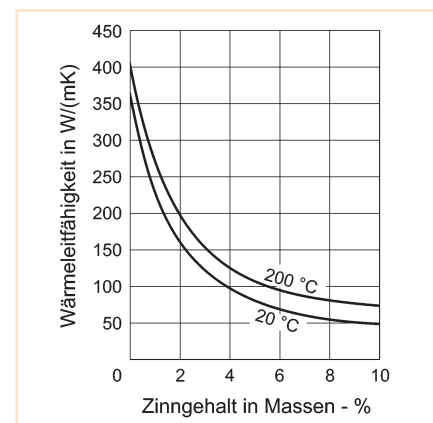


Bild 11: Wärmeleitfähigkeit von binären Kupfer-Zinn-Legierungen bei 20 und 200 °C in Abhängigkeit vom Zinngehalt (DKI 2583)

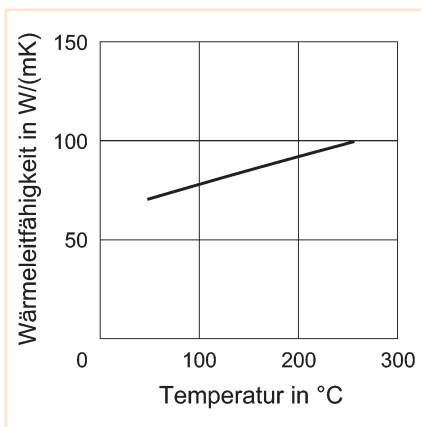


Bild 12: Wärmeleitfähigkeit von CuSn5Zn5Pb5-C in Abhängigkeit von der Temperatur (DKI 3435)

Die **Schmelzwärme** aller genormten zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen liegt bei etwa 284 J/g, die **spezifische Wärmekapazität** für diese Legierungen beträgt 0,377 J/(g*K).

2.1.3 Magnetische Eigenschaften

Bei diesen Legierungen werden die **magnetischen** Eigenschaften vor allem vom Eisengehalt bestimmt. Eisenfreie Kupfer-Zinn-Gusslegierungen sind schwach diamagnetisch und haben eine **Suszeptibilität** (χ) von ca. $-0,1 \cdot 10^{-6}$ bei einer magnetischen Feldstärke (H) von 80 A/cm. Zinnzusätze fördern in binären Kupfer-Zinn-Gusslegierungen den Diamagnetismus. Mit dem Auftreten der γ -Phase wird ein stärkerer Diamagnetismus ($\chi = -0,4 \cdot 10^{-6}$) beobachtet. Geringe Mengen an Eisen führen bereits zu einem schwachen Paramagnetismus. Bei Eisengehalten ab etwa 0,1% kann sich das Eisen sogar in freier Form ausscheiden und der Werkstoff wird ferromagnetisch. Ein solcher „Ferromagnetismus“ kann dann durch Homogenisierungs-glühungen oder unterschiedliche Abkühlungsgeschwindigkeiten nicht mehr herabgesetzt werden. Bei Kupfer-Zinn-Gusslegierungen mit weiteren Legierungselementen, die mit Eisen Verbindungen eingehen, wie z. B. Phosphor oder Zink, scheidet das abgebundene Eisen als ferromagnetischer Anteil aus.

2.2 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften sind von Gießverfahren und den damit verbundenen Erstarrungsgeschwindigkeiten abhängig. Das ist darauf zurückzuführen, dass diese Legierungen während der Erstarrung infolge der unterschiedlichen Abkühlungsgeschwindigkeiten verstärkt dazu neigen, in metastabile Zustände überzugehen und diese dann auch beizubehalten.

2.2.1 Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur

In der **Ausklapp-Tabelle** sind die vom Fertigungsverfahren abhängigen mechanischen Eigenschaften vergleichend für Sand-, Schleuder- und Kokillenguss dargestellt. Die Abkühlungsgeschwindigkeit ist der maßgebliche Faktor für den Gefügeanteil des ($\alpha + \delta$)-Eutektoids und damit für Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze, Härte und Bruchdehnung (s. **Bilder 3 a-d**). So ist z. B. eine sandgegossene Legierung aus CuSn12-C in ihren physikalischen Eigenschaften einer in Kokillen-, in Strang- oder in Schleuderguss hergestellten Legierung aus CuSn10-C vergleichbar. Optimale Festigkeitseigenschaften haben in Kokillen gegossene Kupfer-Zinn-Legierungen mit Zinn-

gehalten von 9 bis 13 %, diese sind in **Bild 13** in Abhängigkeit vom Zinngehalt aufgetragen.

Danach nimmt die Zugfestigkeit mit steigendem Zinngehalt nur bis zu ca. 10 % Zinn zu, obgleich die Härte einen kontinuierlichen Anstieg über den gesamten Bereich aufweist, dieses basiert auf der verhinderten Formänderung. Die 0,2%-Dehngrenze hat ihr Maximum bei ca. 20 % Zinn. Die Bruchdehnung steigt zunächst mit dem Zinngehalt leicht an, nimmt aber mit dem weitersteigenden Zinngehalt und dem Auftreten des δ -Bestandteils immer stärker ab. In **Bild 14** ist neben dem Einfluss von Zinn auch der von **Zink** auf die Zugfestigkeit von bleifreien Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen dargestellt.

Daraus ist ersichtlich, dass die Zugfestigkeit im Bereich der α -Mischkristalle durch den Zinkzusatz zunimmt (bis max. 5 % Zinn). Durch höhere Zinngehalte werden die Werte der Zugfestigkeit für einen konstanten Zinngehalt von über 6 % vermindert. Maximale Zugfestigkeiten werden dann bei Abwesenheit von Zink mit ca. 10 % Zinn erreicht (s. o.).

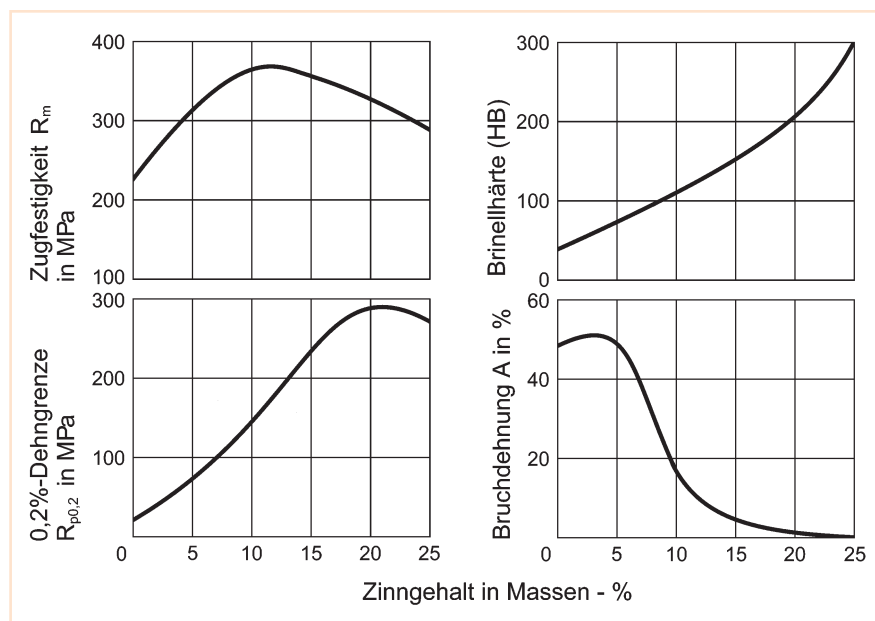


Bild 13: Zugfestigkeit, 0,2% Dehngrenze, Bruchdehnung und Härte von Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (Kokillenguss) (DKI 2537)

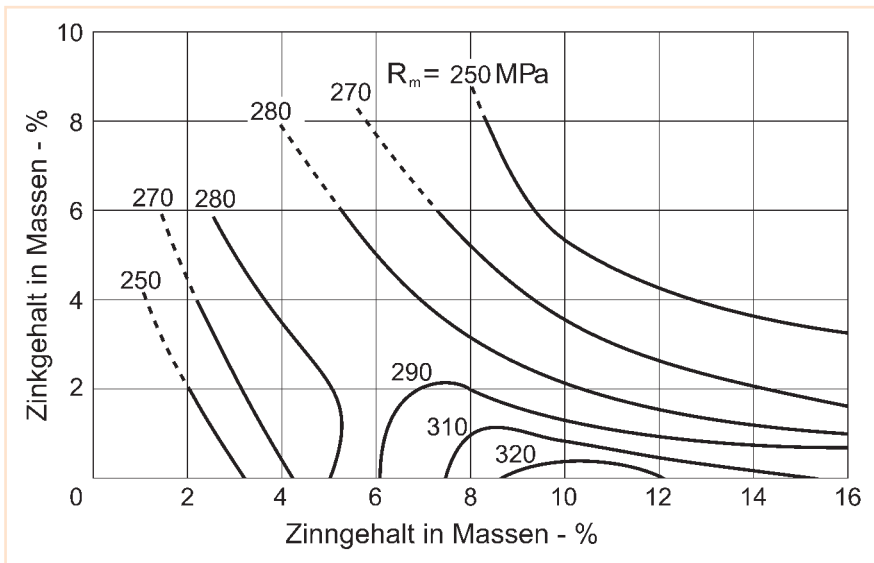


Bild 14: Zugfestigkeit von ternären, in Kokillen gegossenen Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen in Abhängigkeit von Zinn- und Zinkgehalt (DKI 4252)

Zusätze von **Nickel** haben einen günstigen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen.

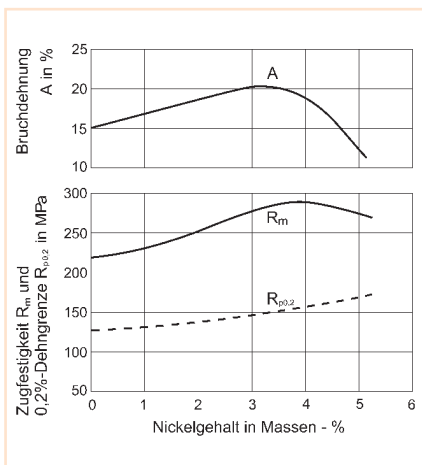


Bild 15: Einfluss von **Nickel** auf die Festigkeitseigenschaften von CuSn7Zn4Pb7-C (DKI 4517)

Bild 15 zeigt dies am Beispiel der Legierung CuSn7Zn4Pb7-C (CC493K). Die maximalen Festigkeitswerte liegen für die Zugfestigkeit bei ca. 3,9 % Nickel und für die Bruchdehnung bei ca. 3,2 % Nickel, danach nehmen diese Werte mit steigendem Nickelgehalt wieder ab (bei Bruchdehnung stärker). Die DIN EN 1982 begrenzt jedoch den Nickelgehalt bei 2,0 %.

Der Einfluss von Nickel ist in der **Ausklapp-Tabelle** durch den Vergleich der Festigkeitswerte von CuSn12-C und CuSn12Ni2-C zu erkennen. Nickel erhöht außerdem die Verschleißfestigkeit und die Druckdichtigkeit der Gussstücke. CuSn12Ni2-C ist als nickelhaltige und bleifreie Variante der Legierung CuSn12-C für die Fertigung von Schneckenrädern entwickelt worden. Bleifreiheit und Nickelgehalt setzen die Gefahr der „Pitting“-Bildung (punktförmiger Korrosionsangriff) wesentlich herab.

Der Einfluss des Bleis, das in der Grundmasse unlöslich ist, ist aus dem **Bild 16** zu entnehmen, in dem die Zugfestigkeit der Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen in Abhängigkeit vom Blei- und Zinngehalt dargestellt wird. Durch Bleizusätze werden Festigkeit und Bruchdehnung vermindert. Dem Blei kommt bekanntlich allgemein die Aufgabe zu, die Spanbarkeit und bei Anwendung dieser Legierungen als Lagerwerkstoffe die Gleiteigenschaften, insbesondere die Notlaufeigenschaften, zu verbessern.

Auch die Wanddicke beeinflusst die Festigkeitswerte der Gussstücke. **Bild 17** zeigt dies am Beispiel der Legierung CuSn5Zn5Pb5-C, mit steigender Wanddicke nehmen die Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und die Bruchdehnung

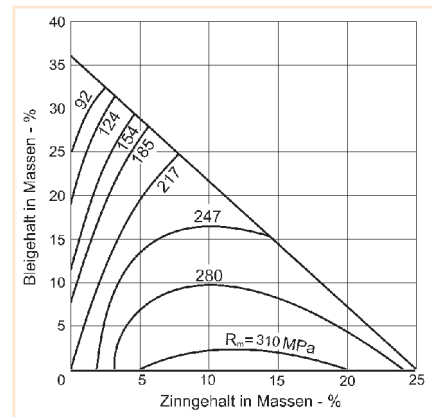


Bild 16: Zugfestigkeit von Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen in Abhängigkeit von Blei- und Zinngehalt (DKI 4518)

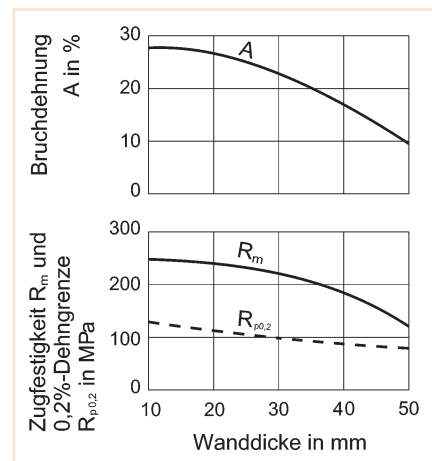


Bild 17: Mechanische Eigenschaften von CuSn5Zn5Pb5-C in Abhängigkeit von der Wanddicke (DKI 4519)

ab. Hinsichtlich des Wanddickeneinflusses verhalten sich die Kupfer-Zinn- und die Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen ähnlich. Einige wichtige **technologische** Eigenschaften der genormten zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen sind in der **Ausklapp-Tabelle** zusammengestellt.

Das **Elastizitätsmodul** schwankt je nach Herstellungsverfahren sowie durch Unterschiede in der Dichte und im Gefüge, daher können die Angaben in der **Ausklapp-Tabelle** nur als Richtwerte gelten.



Bild 18: Pumpenlaufrad aus CuSn12-C (DKI 6329 F)

Mit Auftreten der δ -Phase erreicht der E-Modul einen Höchstwert und fällt dann wieder ab.

Die **Dauerschwingfestigkeit** wird meist als Wechselfestigkeit (bei Beanspruchung auf Biegung „Biegewechselfestigkeit“) gemessen. Dass auch die Biegewechselfestigkeit (**s. Ausklapp-Tabelle**) vom Gießverfahren erheblich beeinflusst wird, zeigt **Bild 19** am Beispiel der Legierung CuSn7Zn4Pb7-C, bedingt durch die hohe Abkühlungsgeschwindigkeit hat der Strangguss höhere Werte als Sand- oder Kokillenguss.

In der **Ausklapp-Tabelle** sind ebenfalls Werte für Scherfestigkeiten enthalten, die für Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen bei

ca. $(0,75 \text{ bis } 0,8) \cdot R_m$ und für Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen bei ca. $(0,6 \text{ bis } 0,75) \cdot R_m$ liegen.

Bei Bronzen handelt es sich um Metalle mit kubisch-flächenzentriertem Gitter. Die Prüfung der **Kerbschlagzähigkeit** ist daher über die Temperatur für diese Werkstoffgruppe ohne Relevanz.

Dagegen können Legierungen mit niedrigen Kupfergehalten und insbesondere Legierungen mit Bleizusatz auf Kerbschlagzähigkeit geprüft werden. Die erhaltenen Kennwerte können dann einer relativen Bewertung und damit der Überwachung der Gleichmäßigkeit der Fertigung dienen, die Größe der Kerbschlagzähigkeit erlaubt jedoch keine Rückschlüsse auf das Bauteilverhalten. Einige Werte sind in **Tab. 2** enthalten.

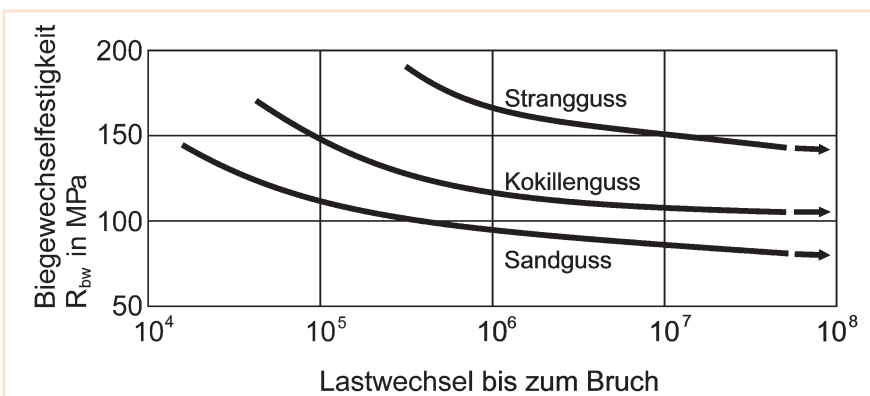


Bild 19: Biegewechselfestigkeit von Stäben aus CuSn7Zn4Pb7-C bei verschiedenen Gießverfahren (DKI 2547)

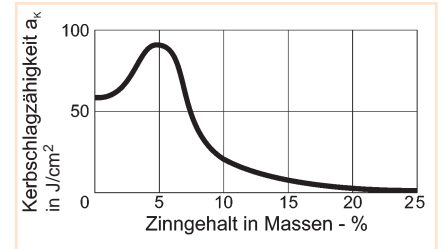


Bild 20: Kerbschlagzähigkeit binärer Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (Kokillenguss) – Versuche an Izod-Proben – in Abhängigkeit vom Zinngehalt (DKI 2543)

Die Prüfung auf **Kerbschlagzähigkeit** ist bei den verschiedenen Werkstoffen grundsätzlich in folgende Kategorien eingeteilt: (**Bild 21**)

- Werkstoffe der Kategorie 1 (Kurve 1): Werkstoffe mit hoher, wenig temperaturabhängiger Zähigkeit → kaltzähe Werkstoffe, z. B. reine kfz-Metalle und homogene CuSn-Legierungen.
- Werkstoffe der Kategorie 2 (Kurve 2): Werkstoffe mit einem Übergang vom zähen zum spröden Bruchverhalten, z. B. Baustähle, unlegierte und legierte Stähle mit ferritisch-perlitischer Gefügeausbildung sowie Metalle mit krz- und hex-Gitterstruktur.
- Werkstoffe der Kategorie 3 (Kurve 3): Werkstoffe mit niedriger, wenig temperaturabhängiger Zähigkeit, d. h. Werkstoffe bei denen zum Bruch unter zügiger Beanspruchung nur geringe Verformungsarbeit notwendig ist, z. B. Gusseisen mit Lamellengraphit, hochfeste Stähle, martensitisch gehärtete Werkstoffzustände, krz- β -Messing.

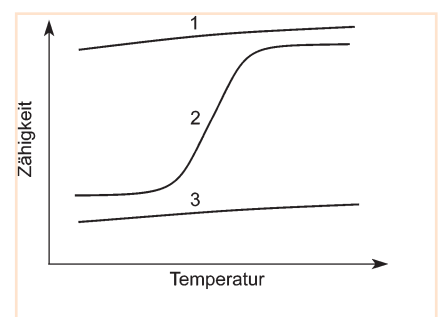


Bild 21: Temperaturabhängigkeit verschiedener Werkstoffkategorien (schematisch) (DKI 6059)

Außerdem zeigt **Bild 20** den Einfluss des Zinngehaltes auf die Kerbschlagzähigkeit von Kupfer-Zinn-Gusslegierungen, die in Abhängigkeit vom Zinngehalt sehr stark variieren. Mit zunehmendem Zinngehalt steigen die Kennwerte zunächst an (Maximum bei 5 % Zinn) und nehmen dann stark ab. Die Kerbschlagzähigkeit wird auch von Abkühlungsbedingungen beeinflusst. Eine langsame Abkühlung kann das Gefüge soweit homogenisieren, dass die Werte der Kerbschlagzähigkeit drei- bis viermal so groß sein können wie die von Kokillenguss.

Die **Spanbarkeit** (s. 3.4) wird bei diesen Legierungen vom Bleigehalt entscheidend beeinflusst. So lassen sich binäre Kupfer-Zinn-Gusslegierungen zwar besser als homogene Kupfer-Zinn-Knetlegierungen zerspanen, doch steigt mit zunehmendem Zinngehalt der Werkzeugverschleiß, dadurch wird die Schnittgeschwindigkeit herabgesetzt – auch bei heterogenen Legierungen. Die Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen sind heterogen und haben, soweit sie Blei enthalten, gute Zerspanungseigenschaften. Ähnlich gute bzw. noch bessere Zerspanungseigenschaften haben die Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen.

2.2.2 Festigkeitswerte bei tiefen Temperaturen

Bei tiefen Temperaturen besitzen die zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen, wie auch andere Kupferwerkstoffe, ausgezeichnete mechanische Eigenschaften, die für einige Legierungen in **Tab. 2** zusammengestellt sind. Diese Legierungen zeigen im Tieftemperaturbereich keinerlei Versprödung. Die Zugfestigkeit und 0,2%-Dehngrenze steigen mit abnehmender Temperatur leicht an, Bruchdehnung und Werte für Kerbschlagzähigkeit bleiben fast unverändert. Deshalb sind diese Legierungen für Anwendungen in der **Kryotechnik** sehr gut geeignet.

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften⁹⁾ zinnhaltiger Kupfer-Gusswerkstoffe bei tiefen Temperaturen

Kennzeichen nach DIN EN 1982	Nummer nach DIN EN 1982	T E M P E R A T U R i n ° C																			
		Zugfestigkeit R_m (MPa)					0,2 % Dehngrenze $R_{p0,2}$ (MPa)					Bruchdehnung A %					Kerbschlagzähigkeit a_K J/cm ²				
		-196	-100	-70	-40	20	-196	-100	-70	-40	20	-196	-100	-70	-40	20	-196	-100	-70	-40	20
Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (Bronzen)																					
CuSn12-C	CC483K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CuSn12Ni2-C	CC484K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CuSn11Pb2-C	CC482K	338	297	273	271	258	258	214	194	186	129	10	16	13	16	19	17	16	18	17	
CuSn10-C	CC480K	420	378	364	356	309	239	193	163	159	135	31	42	48	45	45	51	48	45	50	
Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Rotguss)																					
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	324	326	317	304	278	261	186	177	145	136	13	30	33	32	34	24	24	27	31	26
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	340	293	285	271	249	219	158	144	125	112	23	29	33	33	30	27	28	22	25	24
CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen (Bleibronzen)																					
CuSn10Pb10-C	CC495K	-	-	313	287	270	-	-	159	141	130	-	-	31	29	30	-	-	-	-	-
CuSn7Pb15-C	CC496K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuSn5Pb20-C	CC497K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

⁹⁾ Werkstoffeigenschaften im Probestab (Mittelwerte)

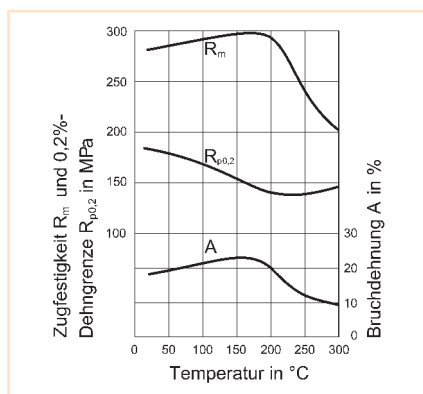


Bild 22: Festigkeitswerte von C 90700 (ähnlich wie CuSn10-C) in Abhängigkeit von der Temperatur (DKI 2454)

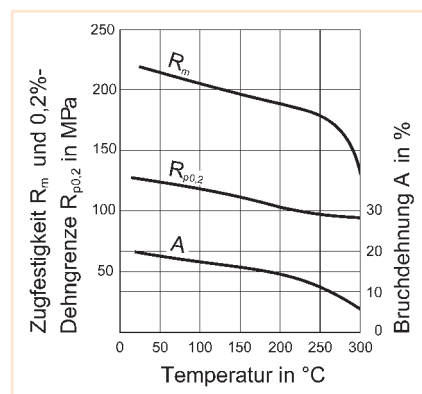


Bild 23: Festigkeitswerte von C83600 (ähnlich wie CuSn5Zn5Pb5-C) in Abhängigkeit von der Temperatur (DKI 2455)

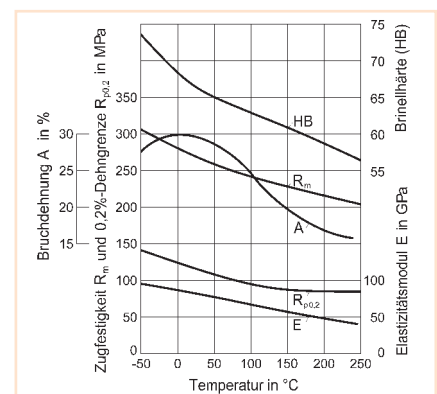


Bild 24: Festigkeitswerte von CuSn10Pb10-C in Abhängigkeit von der Temperatur (DKI 2456)

2.2.3 Festigkeitswerte bei hohen Temperaturen

Bei zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen fallen die Festigkeitswerte mit ansteigender Temperatur ab. Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen mit oder ohne Bleizusatz sind bis zu einer Temperatur von etwa 200 °C beanspruchbar.

Bilder 22 bis 24 zeigen die mechanischen Eigenschaften von CuSn12-C, CuSn5Zn5Pb5-C und CuSn10Pb10-C, hier nach nehmen die Zugfestigkeit, die 0,2%-Dehngrenze und die Bruchdehnung bei höheren Temperaturen ab.

Aus Bild 25 sind Kennwerte für die Kerbschlagzähigkeit von Kupfer-Zinn-Gusslegierungen in Abhängigkeit von Zinngehalt und Temperatur ersichtlich. Bei geringen Zinnzusätzen nimmt die Kerbschlagzähigkeit mit steigender

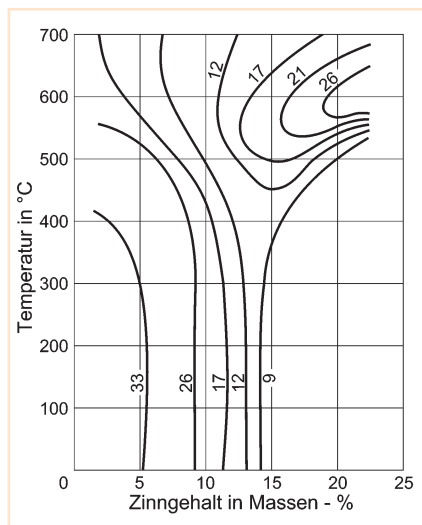


Bild 25: Kerbschlagzähigkeit von Kupfer-Zinn-Gusslegierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt und Temperatur (Linien gleicher Kerbschlagzähigkeit in J/cm², Versuche an Izod-Proben) (DKI 2544)

Temperatur ab, bei z. B. 15 % Zinngehalt dagegen nehmen die Werte zunächst mit der Temperatur zu und dann wieder ab.

Zur Beurteilung der Langzeitbeanspruchung bei erhöhten Temperaturen können Kurzzeitwerte nicht herangezogen werden, da unter dem Einfluss von Spannung und Temperatur ein

Kriechen des Werkstoffes auftritt. Für dieses Verhalten sind die im Langzeitversuch ermittelten Zeitstandwerte maßgeblich.

Bild 26 zeigt die Zeitstandfestigkeit für unterschiedliche Temperaturen von CuSn5Zn5Pb5-C. Bild 27 gibt für den gleichen Gusswerkstoff die zulässigen Beanspruchungen für eine bleibende Dehnung von 0,01% in 1000 h (Zeitdehngrenze) in Abhängigkeit von der Temperatur wieder.

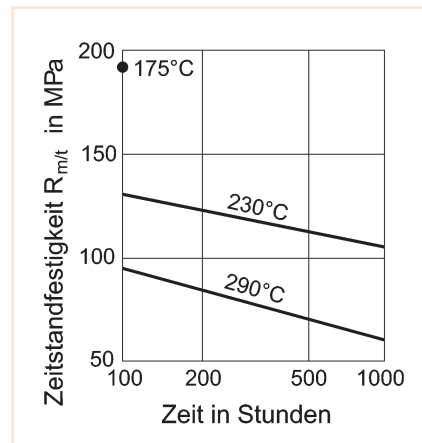


Bild 26: Zeitstandfestigkeit von CuSn5Zn5Pb5-C (DKI 2541)

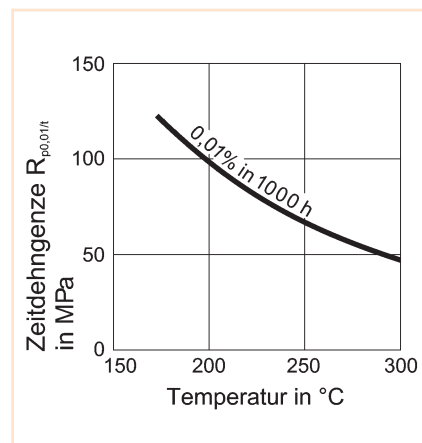


Bild 27: 0,01%-Zeitdehngrenze von CuSn5Zn5Pb5-C (Sandguss) (DKI 2542)

2.3 Gleiteigenschaften

Die heterogen aufgebauten Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zink- und Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen zeichnen sich durch vorzügliche Gleiteigenschaften aus und haben sich für die Herstellung von Gleitlagern, Gleit-

leisten, Gleitklötzen, Zahnrädern und Schneckenradkränzen gut bewährt. In der Praxis ist die auftretende Gleitbeanspruchung für den jeweiligen Einsatz entscheidend. Für die Größe und Art einer zulässigen Beanspruchung sind die Gleiteigenschaften ausschlaggebend, die in erster Linie von der Gefügeausbildung und damit von der chemischen Zusammensetzung eines Werkstoffes abhängig sind. Die Eigenschaften vieler Gleitwerkstoffe hängen jedoch nicht nur von der Zusammensetzung, sondern auch entscheidend vom Gießverfahren ab. So werden z. B. durch das Schleuder- oder Stranggießverfahren die Festigkeits-, Gleit- und Verschleißigenschaften (s. 2.2) grundlegend verbessert. Durch Verbundguss – meist auf festen Stahlstützschalen – wird die Dauerschwingfestigkeit des Gleitlagers soweit erhöht, dass Verbundgusslagerschalen sehr hohe Kräfte aufnehmen können.

Die Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen, die mit steigendem Bleigehalt dem Idealtyp eines aus einem harten Gerüst und weichen Bestandteilen bestehenden Gefüges nahe kommen, haben gute Gleit- und sehr gute Notlaufeigenschaften und sind auch für zeitweiligen Schmierstoffmangel und für Wasserschmierung geeignet. Als Maschinenguss sind diese Legierungen gegen Kantenpressungen recht unempfindlich. Die ausschließlich als Verbundguss auf Stahlstützschalen übliche Legierung CuSn5Pb20-C aus dieser Gruppe wird im Motorenbau eingesetzt. Bei den übrigen Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen handelt es sich um gute Gleitwerkstoffe, die u. a. im Verbundguss hergestellt werden können. Innerhalb dieser Legierungsgruppe kann CuSn10Pb10-C die größten Lasten aufnehmen.

Die Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen weisen einen aus weicher Grundmasse mit harten Gefügeeinlagerungen bestehenden Gefügebau auf und haben gute Gleiteigenschaften. Aus dieser Gruppe besitzt die Legierung CuSn7Zn4Pb7-C durch die Herstellung in Schleuder- und Strangguss verbesserte Eigenschaften und hat sich im Maschinenbau als ein gängiger Gleitwerkstoff bestens bewährt. Da er für viele Anwendungen den Kupfer-Zinn-

Gusslegierungen gleichwertig oder sogar überlegen (gute Notlauf Eigenschaften) und dazu kostengünstig ist, konnte er die Anwendung der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen zurückdrängen.

Der Gefügebau der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen ist gleich mit denen der Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen. Diese Legierungen werden sowohl für Gleitlager als auch zur Herstellung von Schneckenradkränzen eingesetzt. Werden diese Legierungen ausschließlich für Gleitzwecke eingesetzt, so verbessern die zulegierten Bleigehalte die Notlauf Eigenschaften und das Verhalten bei Mischreibungsverhältnissen, dagegen sollten die Schneckenradkränze zur Vermeidung der Pitting-Bildung möglichst kein Blei, aber statt dessen Nickel enthalten. Daher enthält DIN EN 1982 beide Varianten der Legierung CuSn12-C. CuSn10-C ist ein Konstruktionswerkstoff und wird heute für Gleitzwecke kaum eingesetzt.

2.4 Korrosionsbeständigkeit

Die zinnhaltigen Kupfer-Gusswerkstoffe zählen zu den korrosionsbeständigsten Kupferwerkstoffen und zeichnen sich durch hervorragende Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische Einflüsse aus, da sie sich mit einer fest

haftenden, dichten Schutzschicht überziehen. Die Beständigkeit gegen verschiedene Atmosphären nimmt mit steigendem Zinngehalt zu und erreicht ein Maximum bei etwa 40 % Zinn, der Legierung mit der intermetallischen Verbindung Cu_3Sn . Diese Legierung mit einer weißen Farbe hat ein hohes Reflexionsvermögen.

Gut bewährt haben sich Kupfer-Zinn-Gusslegierungen gegenüber kohlen säure- und salzhaltigen Grubenwässern und werden deshalb vielfach im Bergbau verwendet. Auch Gehalte an Schwefeldioxid (SO_2) und Kohlendioxid (CO_2) können das gute Korrosionsverhalten praktisch nicht beeinträchtigen. Sie sind ferner beständig gegen Sulfidlaugen, die als Abfallprodukte in der Papierindustrie und der Zuckerfabrikation auftreten. Bleigehalte von 14 bis 19 % haben eine günstige Wirkung auf die Widerstandsfähigkeit gegen Sulfidlaugen in der Zelluloseindustrie.

Bemerkenswert ist die Widerstandsfähigkeit dieser Legierungen gegen Bodenkorrosion. Sie werden von den üblichen Baustoffen nicht angegriffen. Von besonderer Bedeutung ist die Beständigkeit dieser Werkstoffe gegenüber Meerwasser, dadurch werden für diese Legierungen diverse Anwen-

dungsgebiete, z. B. im Schiffbau, eröffnet. Bleigehalte von etwa 6 bis 10 % erhöhen die Beständigkeit gegen schwache Säuren, z. B. Essig- und Phosphorsäure.

Mehr oder weniger stark angegriffen werden sie dagegen von Salz-, Schwefel- und Salpetersäure sowie von konzentrierten alkalischen Lösungen. Hohe Bleigehalte erhöhen die Beständigkeit gegen Schwefelsäure. Einige zinnhaltige Kupfer-Gusslegierungen sind durch hohe Verschleißfestigkeit gekennzeichnet, hierzu gehören alle Kupfer-Zinn-Gusslegierungen. Außerdem haben die Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen mit Bleigehalten bis zu 10 % noch gute Verschleißfestigkeit.

Die hohe Kavitationserosionsbeständigkeit (**Bild 28**) der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen wird durch größere Gehalte an Blei beeinträchtigt, denn das ungelöste Blei setzt den bei der Kavitation auftretenden Schlagbeanspruchungen in Mikrobereichen nur einen sehr geringen Widerstand entgegen. So kann durch Kavitationserosion Blei ausgewaschen werden. **Tabelle 3** enthält einige vergleichende Angaben über das Verhalten von zinnhaltigen Kupfer-Gusswerkstoffen gegenüber verschiedenen Agenzien.



Bild 28: Diverse Pumpenlaufräder mit guter Kavitationserosionsbeständigkeit (DKI 6479)

Tabelle 3: Korrosionsverhalten der Zinnbronzen gegenüber verschiedenen Agenzien

Medium	Gusslegierungen aus			Medium	Gusslegierungen aus		
	Cu-Sn	Cu-Sn-Zn	Cu-Sn-Pb		Cu-Sn	Cu-Sn-Zn	Cu-Sn-Pb
Aceton	1	1	1	Magnesiumchlorid	1	1	1
Acetylen ²⁾	3	3	3	Magnesiumhydroxid	2	2	2
Alkohol ¹⁾	1	1	1	Magnesiumsulfat	1	2	1
Aluminiumchlorid	3	3	3	Melasse ¹⁾	1	1	1
Aluminiumsulfat	2	2	2	Milch ¹⁾	1	1	1
Ameisensäure	1	1	1	Milchsäure	1	2	1
Ammoniak, trocken	1	1	1				
Ammoniak, feucht	3	3	3	Natriumbikarbonat	1	1	1
Ammoniumchlorid	3	3	3	Natriumbisulfat	3	3	3
Ammoniumhydroxid	3	3	3	Natriumchlorid	1	1	1
Ammoniumnitrat	3	3	3	Natriumcyanid	3	3	3
Ammoniumsulfat	2	2	2	Natriumhydroxid	3	3	3
Anilin	3	3	3	Natriumhypochlorid	3	3	3
Asphalt	1	1	1	Natriumkarbonat	1	1	1
Äther	1	1	1	Natriumnitrat	2	2	2
Äthylenglykol	1	1	1	Natriumperoxid	2	2	2
				Natriumphosphat	1	1	1
Bariumchlorid	1	1	1	Natriumsilikat	1	2	2
Bariumsulfid	3	3	3	Natriumsulfat	1	2	2
Baumwollsaamenöl ¹⁾	1	1	1	Natriumsulfid	3	3	3
Benzin	1	1	1	Natriumthiosulfat	3	3	3
Benzol	1	1	1	Nickelchlorid	1	1	1
Bier ¹⁾	1	2	2	Nickelsulfat	1	1	1
Borsäure	1	1	1				
Butan	1	1	1	Ölsäure	1	2	2
				Oxalsäure	1	2	2
Calciumbisulfit	1	2	2				
Calciumchlorid (sauer)	2	2	2	Phosphorsäure	1	1	1
Calciumchlorid (basisch)	3	3	3	Pikrinsäure	3	3	3
Calciumhydroxid	3	3	3	Propan	1	1	1
Calciumhypochlorit	3	2	2				
Chlor, trocken	1	1	1	Quecksilber	3	3	3
Chlor, feucht	3	2	2	Quecksilbersalze	3	3	3
Chromsäure	3	3	3				
				Rohrzuckersirup ¹⁾	1	1	1
Eisen(III)-chlorid	3	3	3				
Eisen(III)-sulfat	3	3	3	Salpetersäure	3	3	3
Eisen(II)-chlorid	3	3	3	Salzsäure	3	3	3
Eisen(II)-sulfat	3	3	3	Schwefel, fest	3	3	3
Erdgas	1	1	1	Schwefelchlorid	3	3	3
Essig ¹⁾	1	2	2	Schwefeldioxid, trocken	1	1	1
Essigsäure (20-50%) ¹⁾	3	3	3	Schwefeldioxid, feucht	1	2	2
Essigsäureester	1	2	2	Schwefeltrioxid, trocken	1	1	1
				Schwefelsäure (unter 78%)	2	2	2
Firnis	1	1	1	Schwefelsäure (über 78%)	3	3	3
Fluorkieselsäure	2	2	2	Seewasser	1	1	1
Flusssäure	2	2	2	Seifenlösung	1	1	1
Formaldehyd	1	1	1	Stearinsäure	1	1	1
Freon	1	1	1				
Furfurol	1	1	1	Terpentin	1	1	1
				Tetrachlorkohlenstoff, trocken	1	1	1
Gelatine ¹⁾	1	1	1	Tetrachlorkohlenstoff, feucht	2	2	2
Gerbsäure	1	1	1	Toluol	2	1	1
Getränke mit Kohlensäure ¹⁾	3	3	3	Trichloräthylen, trocken	1	1	1
Glukose	1	1	1	Trichloräthylen, feucht	1	1	1
Glycerin	1	1	1				
				Wasser, saures Grubenwasser	3	3	3
Heizöl	1	1	1	Wasser, Kondenswasser	1	1	1
				Wasser, Trinkwasser	1	1	1
Kaliumchlorid	1	1	1	Wasserstoff	1	1	1
Kaliumcyanid	3	3	3	Wasserstoffperoxid	3	3	3
Kaliumhydroxid	3	3	3	Weinsäure	1	1	1
Kaliumsulfat	1	1	1	Whisky	1	3	3
Kohlendioxid, trocken	1	1	1				
Kohlendioxid, feucht ¹⁾	2	2	2	Zinkchlorid	3	3	3
Kreosot	2	2	2	Zinksulfat	1	1	1
Kupfersulfat	1	1	1	Zitronensäure	1	1	1
				Zuckerrübensirup ¹⁾	1	2	2
Lack	1	1	1				
Lackverdünnung	1	1	1				
Leim	1	1	1				
Leinöl	1	1	1				

¹⁾ in der Getränke- und Lebensmittelindustrie ist eine Verzinnung der Oberfläche erforderlich.

²⁾ Wegen der Bildung von Kupferacetylid besteht Explosionsgefahr.

1 = geeignet; 2 = bedingt geeignet; 3 = ungeeignet

3. Herstellung und Bearbeitung

3.1 Schmelzen

Zur Herstellung von Gussstücken aus Zinnbronzen dienen bevorzugt fertiglegierte Blöcke, und Gießereirücklauf. Basis für diese Legierung ist nahezu 100 % Recyclingmaterial. Die Zusammensetzung der **Blockmetalle**, für die Herstellung von Gussstücken aus Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen sowie aus Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen ist in DIN EN 1982 festgelegt.

Kupfer-Zinn-Gusslegierungen können auch aus Hüttenkupfer bzw. Elektrokupfer und Reinzinn erschmolzen werden. Es ist auf die Gasfreiheit der Schmelze besonders zu achten. Das Schmelzen möglichst unter neutralen Bedingungen – oft mit nachfolgender Stickstoffspülung – setzt sich zunehmend durch.

Die einwandfreie Schmelzequalität ist die Voraussetzung für einwandfreie Gussqualität. Bei der Schmelzföhrung ist möglichst auf geringe Gasgehalte zu achten. Die Wasserstoffaufnahme kann durch Chargieren von trockenen, sauberen Einsatzmaterialien und durch oxidierendes Schmelzen weitgehend vermieden werden. Die Löslichkeit des Wasserstoffs nimmt bei Kupfer-Zinn-Legierungen mit ansteigendem Zinngehalt ab; bei 1200 °C weist reines Kupfer eine Wasserstofflöslichkeit von ca. 7 cm³/100 g Metall auf, welche bei einem Zinnzusatz von 35 % in der Größenordnung von 2 cm³/100 g Metall liegt [3]. Durch die Zugabe von Phosphor in Form einer Vorlegierung (Phosphorkupfer) ist die Sauerstoffentfernung sichergestellt. Durch diesen Prozess wird gleichzeitig auch eine Wasserstoffentfernung erreicht. Erneuter Gasaufnahme wird durch gutes Abdecken und leichten Überschuss an Desoxidationsmitteln entgegengewirkt. Nach der Desoxidation sollte allerdings so schnell wie möglich gegossen werden.

3.2 Gießen

Gussstücke aus Zinnbronzen lassen sich nach den verschiedensten Gießverfahren herstellen. Insbesondere kommen hierfür neben dem Sand-, und Maskengießverfahren auch noch die Dauerformverfahren Strang-

Schleuder- und Kokillenguss in Betracht. Entsprechende Beispiele zeigt das **Bild 29**. Für das Druckgießen kommen diese Legierungen nicht in Frage. Die Gießtemperatur hängt auch vom Gießverfahren ab und liegt etwa 50 bis 100 °C oberhalb der Liquidustemperatur (schmelzflüssiger Bereich). Ein bestimmter Phosphorüberschuss soll die einwandfreie Desoxidation der Schmelze gewährleisten.

Bei der Herstellung von Gussformen ist ein Schwindmaß von etwa 1,3 bis 1,5 % zu berücksichtigen .

Um fehlerhafte Gussstücke zu vermeiden, ist ein turbulenzarmes Gießen erforderlich. Die Formstoffe müssen eine gute Gasdurchlässigkeit gewährleisten. Reaktionen mit der Formwand sind zu vermeiden, z. B. durch das Aufbringen einer Schlichteschicht. **Strangguss** zeichnet sich wegen der raschen und gleichmäßigen Erstarrung in Graphitkokillen – durch ein dichtes Gefüge und einheitliche Verteilung der heterogenen Bestandteile aus. Bei Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen erreicht man mit dem Strangguss eine feine, gleichmäßige Bleiverteilung. Mit **Schleuderguss** wird ein dichter, gleichmäßiger Guss erreicht. Es werden Kokillen aus geschliffenem Stahl oder Kupfer eingesetzt. Bei der Herstellung von Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen mit dem Schleuderguss sollte die „Fliehkraftseigerung“ beachtet werden.

Der **Verbundguss** wird vor allem zum Verbinden von Stahl mit Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen zur Herstellung

von Gleitlagern und Gleitplatten herangezogen. Die dabei erforderliche Haftung der beiden Werkstoffe erfolgt durch Diffusion.

3.3 Wärmebehandlung

Bei Zinnbronzen mit einem α -Gefüge können durch Wärmebehandlung nur geringfügige Veränderungen der Werkstoffeigenschaften erreicht werden. Dagegen ist die Wärmebehandlung bei Legierungen mit $(\alpha+\delta)$ -Eutektoid möglich, das Gefüge durch entsprechende Glühung zu **homogenisieren**, d. h. den δ -Bestandteil aufzulösen. Die Dehnung sowie die Zugfestigkeit können bei Kupfer-Zinn-Gusslegierungen, z. B. durch eine Glühbehandlung bei ca. 650 °C, gesteigert werden. Eine δ -Auflösung ist bei Gusswerkstoffen für Reib- und Gleitbeanspruchung unerwünscht, da der geforderte Verschleißwiderstand dieser Legierungen auf dem hohen Anteil des harten und verschleißfesten $(\alpha+\delta)$ -Eutektoids beruht.

Die Eigenschaften von Zinnbronzen durch Wärmebehandlung zu beeinflussen, findet selten Anwendung. Bei aushärtbaren Kupfer-Zinn-Gusslegierungen mit höheren Nickelgehalten erschließt eine Glühbehandlung und Aushärtung infolge der erheblich verbesserten Festigkeitseigenschaften besondere Anwendungsgebiete. Bei Zinnbronzen wird gelegentlich ein **Spannungsfreiglühen** erforderlich, womit die Spannungsspitzen abgebaut werden. Ein solches „Entspannungsglühen“ kann bei Temperaturen zwischen 200 und 450 °C (vorwiegend bei 260 °C) durchgeführt werden.

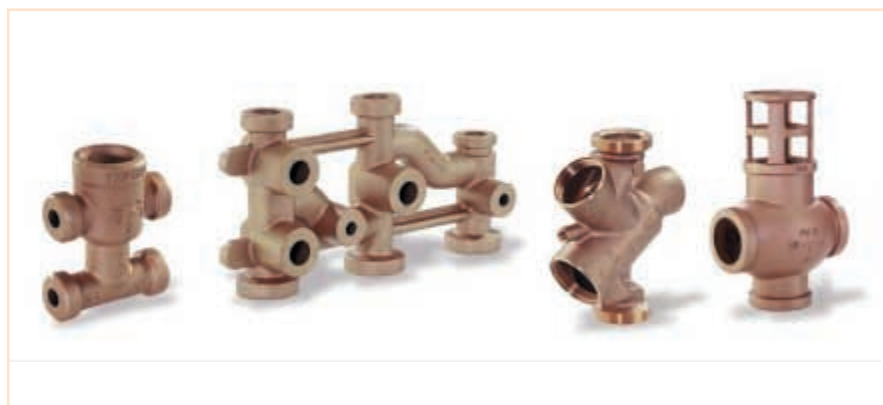


Bild 29: Anwendungen aus Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (DKI 6437 B)

3.4 Spanabhebende Bearbeitung

Kupferwerkstoffe werden hinsichtlich ihrer Spanbarkeit grob in drei Hauptgruppen unterteilt [7]. In der **Ausklapp-Tabelle** ist diese Unterteilung für die zinnhaltigen Kupfer-Gusswerkstoffe enthalten.

Die Spanbarkeit dieser Gusslegierungen werden primär durch Zulegieren von Blei günstig beeinflusst. So sind die bleihaltigen Legierungen mit Ausnahme von CuSn11Pb2-C ausgezeichnet zu spanen. Gleichfalls kurzbrechende Späne ergeben Gusswerkstoffe mit größeren ($\alpha+\delta$)-Anteilen.

3.5 Verbindungsarbeiten

3.5.1 Schweißen

Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen mit mehr als 2% Blei sind nur bedingt schweißbar

(s. **Ausklapp-Tabelle**). Kleinere Reparaturschweißungen sind unter Beachtung der Maßnahmen, die Überhitzung und Schweißspannungen vermeiden helfen, möglich [8].

Das **Gasschweißen** an Kupfer-Zinn-Gusslegierungen wird zur Ausbesserung von Gussstücken angewendet, z. B. zur Instandsetzung gesprungener Glocken. Als Schweißzusätze dienen meist artgleiche gegossene Stäbe unter Einsatz von Flussmittel.

Das **Lichtbogenhandschweißen** wird noch zum Auftragschweißen eingesetzt.

WIG-Schweißen kommt sowohl zum Ausbessern von Gussstücken als auch zum Auftragen von Lagerwerkstoffen sowie zum Ausbessern von Lagerflächen und für das Verbinden von Wellenbezügen zur Anwendung. Meist

wird hierfür SG-CuSn12 nach DIN 1733-1 als Schweißzusatz eingesetzt. Bei Werkstücken mit einer Wanddicke unter 10 mm ist ein Vorwärmen nicht erforderlich. Größere Werkstücke müssen vorgewärmt werden und bereiten trotzdem noch erhebliche Schwierigkeiten.

Das **MIG-Schweißen** wird hierfür seltener angewendet, ist aber mit siliziumdesoxidiertem Schweißzusatz möglich.

Von den Kupfer-Zinn-Gusslegierungen lässt sich die Legierung CuSn10-C nach DIN EN 1982 (1,5% Blei als zulässige Beimengung) gas- und schutzgas-schweißen, geeignete Zusatzwerkstoffe sind SG-CuSn6 oder SG-CuSn12 nach DIN 1733-1.

Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen nach DIN EN 1982 sind aufgrund ihrer

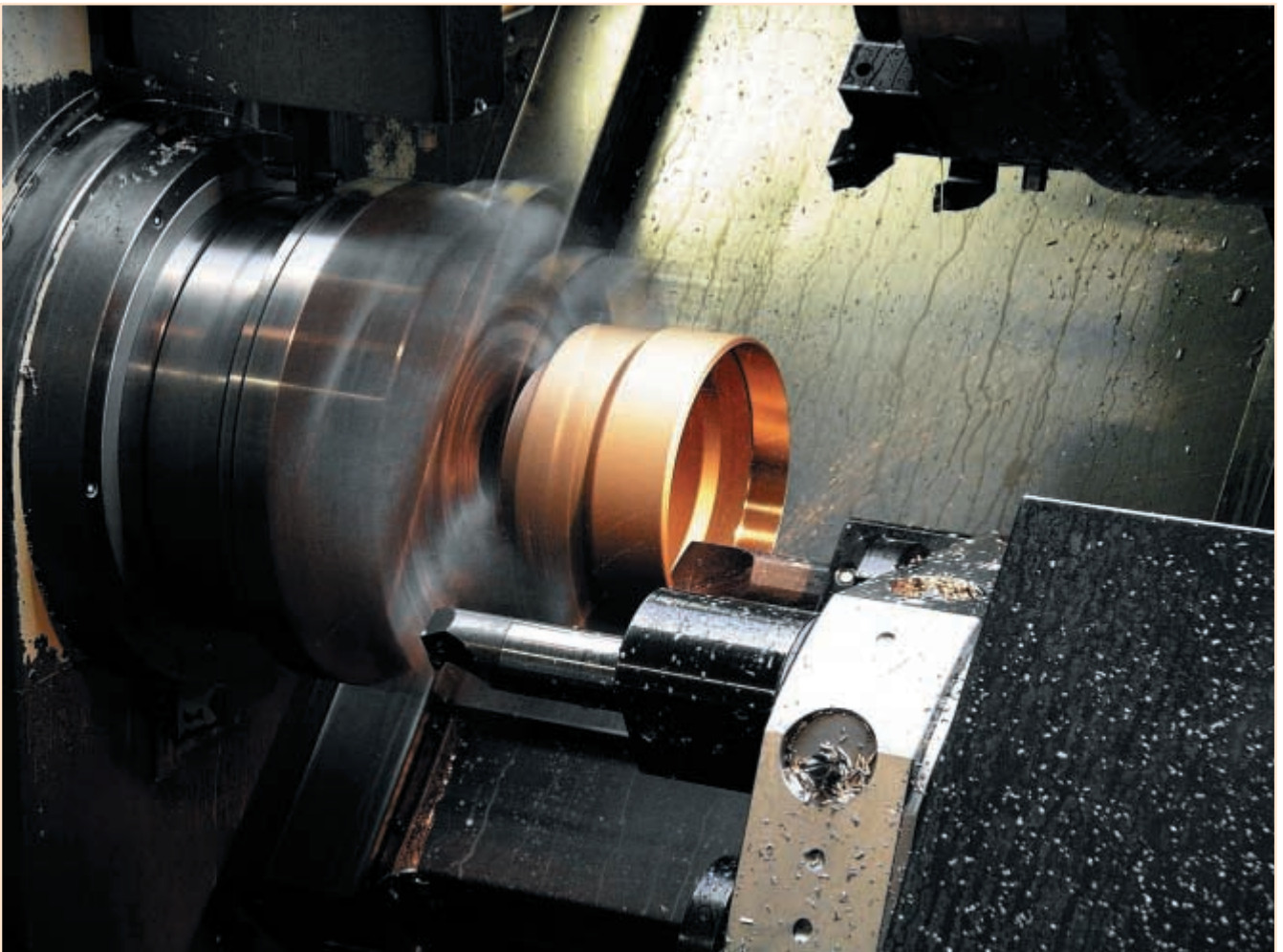


Bild 30: Spanabhebende Bearbeitung einer Buchse (DK1 6508A)

hohen Bleigehalte nicht schmelzschweißgeeignet.

3.5.2 Löten

Kupfer-Zinn, Kupfer-Zinn-Zink- und Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen lassen sich alle gut **wechlöten**, ein Beispiel hierfür sind die LötfitTINGS aus Kupfer-Zinn- oder Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen für die Kupferrohrinstallation. Die Weichlote sollen dabei mindestens 60 % Zinn enthalten. Im Lebensmittelbereich wird bevorzugt mit S-Sn97Cu3 nach DIN EN 29453 gearbeitet, als Flussmittel kommen 3.1.1. (F-SW12), 3.1.1 (F-SW21) und 3.1.2 (F-SW22) nach DIN 29454-1 in Frage. Das Eutektikum Zinn-Blei schmilzt schon bei 183 °C, daher haben die Weichlötverbindungen mit Zinn-Blei-Weichloten nur eine sehr geringe Wärmebeständigkeit. Solche Verbindungen sind ohne Festigkeitsbeeinträchtigung nur bis max. 110 °C brauchbar, bei kurzzeitiger Erwärmung bis max. 150 °C. Bei Kurzzeiterwärmung können z. B. S-Sn955b5 oder S-Sn97Cu3 – beide haben eine Solidustemperatur von 230 °C – eingesetzt werden.

Gussteile aus zinnhaltigen Kupfergusslegierungen, die weniger als 1,5 % Blei enthalten, lassen sich mit Silberhartloten (DIN EN 1044) gut hartlöten (**s. Ausklapp-Tabelle**). Bei Meerwasserbeanspruchung sollte das Hartlot mindestens 40 % Silber (besser 50 %) enthalten. Als Flussmittel werden zum Hartlöten bis zu einer Arbeitstemperatur von 800 °C das FH 10, über 800 °C das FH 21 nach DIN EN 1045 herangezogen.

3.5.3 Kleben

Gussteile aus Zinnbronzen lassen sich einwandfrei kleben. So werden z. B. vielfach Gleitlagerschalen aus Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen in die Achslager von Lokomotiven eingeklebt. Vorzugsweise werden Klebstoffe auf Epoxid- und Acrylharzbasis eingesetzt. Außerdem sind noch eine Reihe von Klebstoffen auf dem Markt, die je nach Anwendungsfall zum Einsatz kommen. Voraussetzung für eine gute Klebverbindung ist die Vorbereitung der zu verbindenden Flächen durch Entfetten, Beizen, Schmirgeln, Sandstrahlen usw. Vorteilhaft ist in manchen Fällen das Aufbringen einer Zwischenschicht, z. B. einer Chromatschicht, als Haftgrund.

Weiterführende Angaben enthalten hierzu DIN 53281-1, VDI/VDE 2251, Bl. 5, VDI 3821, VDI 2229 sowie der DKI-Informationsdruck „Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen“ [9].

3.5.4 Mechanische Verbindungen

Zinnbronzen können durch Niete oder Schrauben verbunden werden. Falls die Gussteile korrosiver Beanspruchung – z. B. durch Meerwasser – ausgesetzt sind, sollten, um eine mögliche Kontaktkorrosion auszuschließen, artähnliche Verbindungselemente eingesetzt werden. Zum **Nieten** kommen als Nietwerkstoffe CuSn4 bzw. CuNi2Si nach DIN CEN/TS 13388 in Frage.

Schrauben ist das gegebene Verbindungsverfahren, wenn die Verbindungen lösbar sein müssen. Meist ist als Schraubenwerkstoff CU4 nach DIN EN 28839, in Gebrauch, der der Legierung CuSn6 nach DIN EN 28839 entspricht. Aber es werden auch CuSn4 und CuSn8 als Schraubenwerkstoffe eingesetzt.

3.6 Oberflächenbehandlung

Die Oberflächen von Gussteilen aus zinnhaltigen Kupferlegierungen müssen meist gereinigt, behandelt und veredelt werden [10]. Dadurch können gewünschte Oberflächeneigenschaften erreicht werden, die u. a. die mechanische und chemische Belastbarkeit unter den Gebrauchsbedingungen erhöhen.

Funktionelle und dekorativ wirkende Oberflächenstrukturen sowie ein Verfestigen der Randzone werden durch **Strahlen** erzielt. Strahlmittelwerkstoff, -form und -korngröße bestimmen das Ergebnis. Egalisieren der Oberfläche, Mattieren, Seidenglanzpolieren und Verfestigen sind die überwiegenden Effekte, die durch Strahlbearbeitung auf Kupferwerkstoffen erzeugt werden. Das **Schleifen** erfolgt von Hand an Scheiben, die an Schleifböcken rotieren, und mit transportablen Schleifscheiben, die an Handmotoren oder einer biegsamen Welle laufen. Flache Teile werden bevorzugt mit Schleifband geschliffen. Freihand- und Kontaktverfahren sind übliche Techniken. Besonders große Flächen werden im Band- bzw. Pendelschleifverfahren auf Tischmaschinen bearbeitet, die bis

zum vollautomatischen Betrieb ausgerüstet sein können.

Mechanisches **Polieren** erfolgt ebenfalls von Hand an Tuchscheiben. Polierböcke und Handmaschinen sind übliche Vorrichtungen. Massenteile werden auf Polierautomaten bearbeitet. Um die Polierwirkung der Scheibe zu unterstützen und um die der Polierarbeit ausgesetzte Flächenpartie nicht zu überhitzen, werden Polierfette, -wachse und -emulsionen verwendet. Es gibt Polierhilfen mit einformulierten Inhibitoren, die ein Oxidieren und Anlaufen der frisch polierten Oberfläche über einen längeren Zeitraum verhindern. Vor allem schüttbare Massenteile aus zinnhaltigen Kupfergusslegierungen sind geeignet, durch **Trommeln** geschliffen, geglättet und poliert zu werden. Man vermischt das zu polierende Gut mit keramischen, mineralischen oder/und metallenen Schleif- oder Polierkörpern, den Chips, oder mit polierten Kugeln. Es wird außerdem eine wässrige Behandlungslösung zugegeben, die reinigende, schleifende, polierende, entoxidierende und eventuell auch noch passivierende Zusätze enthält. Heiße, wässrige Lösungen von Alkalien sind in Gebrauch, wenn in einer Verfahrensfolge nass-in-nass weitergearbeitet, z. B. galvanisiert, wird. Das elektrolytische Entfetten ist die letzte reinigende Behandlungsstufe vor dem Galvanisieren.

Durch **Beizen** wird Zunder, wie er z. B. durch Wärmebehandlung entsteht, entfernt. Aber auch Gushaut und Oxidschichten werden abgebeizt. Üblich sind Beizlösungen aus verdünnter Schwefelsäure und Beizgemische mit Gehalten an Schwefel- und Salpetersäure. Diese Lösungen enthalten außerdem Zusätze zum Inhibieren des Beizangriffs auf die Gussoberfläche, zur Glanzgebung und zum Passivieren. Schwieriger als Kupferoxide lässt sich das hellfarbene Zinnoxid entfernen. Dabei ist ein teilweises Lösen der metallischen Randzone in verdünnter Salpetersäure notwendig. Wegen der beim Applizieren von Salpetersäure aufkommenden Umwelt- und Hygieneprobleme setzt sich das Beizen mit Wasserstoffperoxid/Schwefelsäurelösungen immer mehr durch.

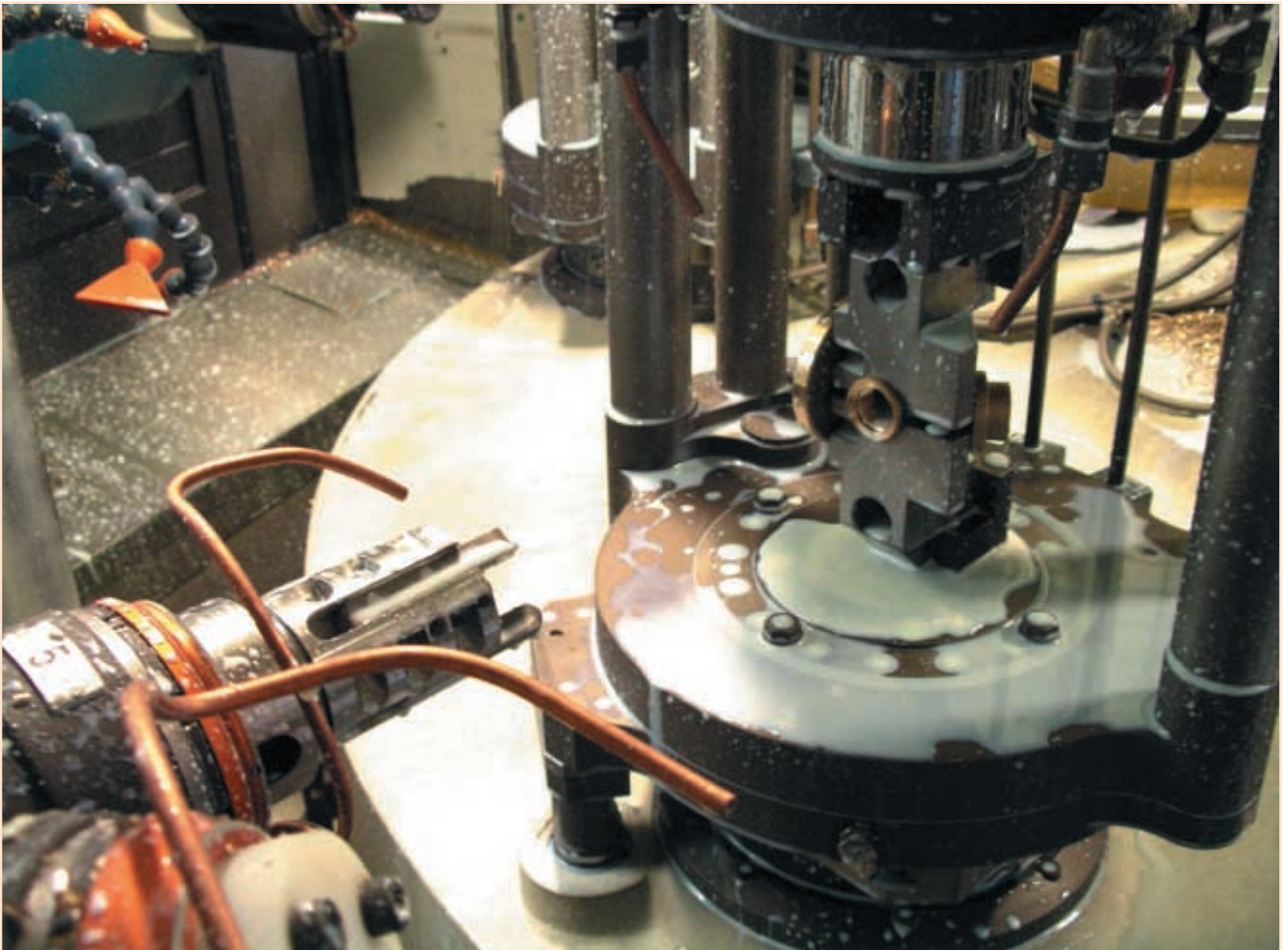


Bild 31: Bearbeitung eines Armaturengehäuses in einer Aufspannung (DKI 6338A)

Die beschichtende **Oberflächenveredelung** spielt für die Zinnbronzen eine besondere Rolle. Beim **Feuerverzinnen** werden die Gussteile in eine Zinnschmelze getaucht. Das verwendete Zinn muss hochrein sein. Zu berücksichtigen ist, dass bei bleihaltigen Gusswerkstoffen Blei in den Zinnüberzug diffundiert.

Beim **Wischverzinnen** werden die Teile auf Löttemperatur vorgewärmt und anschließend wird das bei Kontakt mit der heißen Gussoberfläche schmelzende Zinn z. B. mit einem Glaswollebündel oder einem Pinsel mit Glasfasern verwischt. Dieses Verfahren hat vor allem für Einzelstücke Bedeutung. Das **Diffusionsverzinnen** erfolgt durch Tauchen der Teile in SnCl_2 -haltige Salzschmelzen bei etwa 400°C Reaktionstemperatur.

Für Gussteile, die mit Nahrungs- und Genussmitteln in Kontakt kommen, ist normalerweise eine Verzinnung erforderlich. Durch **Flammspritzen** werden Schichten aus Metallen, Legierungen, Hart-, Super- und Sonderlegierungen, aus hochschmelzenden Werkstoffen und aus Keramik aufgebracht.

Galvanische Oberzüge bieten eine nahezu unerschöpfliche Palette von Metallen, Legierungen, Cermets und Verbundsystemen. Silber, Gold, Nickel, Chrom, Cadmium, Zinn und Zinn-Blei-Legierungen lassen sich leicht aufbringen. Auch bei nicht absolut poren-dichten Schichten sind wegen der hohen Korrosionsbeständigkeit des Trägerwerkstoffes aus zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen keine Nachteile zu befürchten. Diese gehören zu jenen Kupferwerkstoffen, die sich,

meist im Kunstgewerbe, am schwierigsten **chemisch färben** lassen [11]. Patina ist einfach zu erzeugen, auch einige braune und schwarze Nuancen sind leicht möglich.

Mit ansprechenden Effekten, auch meist im Kunstgewerbe, werden Gussteile aus zinnhaltigen Kupferlegierungen **emalliert**. Ein Schutz gegen Anlaufen ist das **Lackieren** mit Klarlack. Im Freien bieten Lackschichten auf Acrylharzbasis für Jahre einen zuverlässigen Schutz gegen atmosphärische Einflüsse. Voraussetzung für die gute Haftung des Lackfilmes ist eine sachgemäße Vorbehandlung der Metalloberfläche. Für das Lackieren können alle Applikationstechniken eingesetzt werden.

4. Anwendung

Zinnbronzen bieten eine Palette von Anwendungsmöglichkeiten an, da sie sich durch vielseitige und interessante Eigenschaften auszeichnen. Während viele korrosions- und meerwasserbeständig sind, gibt es eine ganze Reihe von Legierungen mit guten Gleit- und Notlaufeigenschaften, einige weisen daneben hohe Verschleißfestigkeit und Kavitationsbeständigkeit auf. Eine nach Legierungen geordnete Übersicht hinsichtlich der Anwendungsbeispiele gibt die **Ausklapp-Tabelle** wieder. Im **Maschinenbau** und in der allgemeinen Technik bestehen Kälte-, Sauerstoff-, Heißdampf-, Hochdruck- und -säurearmaturen, Pumpenkörper und -ventile, Gleitlager, Kolbenstangen, Schnecken-, Schrauben- und Zahnräder vielfach aus Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (**Bild 32**).

Die mengenmäßig größte Anwendungsgruppe innerhalb der Bronzen bilden die Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen. Sie werden für das **Bauwesen** zu Armaturen und Schraub-, Löt- und Pressfittingen im Bereich der **Sanitär und Heizungstechnik** (**Bild 33**) verarbeitet. Die Legierungen entsprechen in ihrer Zusammensetzung den neuesten Hygieneanforderungen der DIN 50930-6 und sind bei entsprechender Zusammensetzung im **Trink-**



Bild 33: Pressfitting aus Kupfer-Zinn-Zink-Bronze (DKI 6480)

wasser uneingeschränkt einsetzbar. Dort zeichnen sie sich außerdem durch ihre hohe Korrosionsbeständigkeit aus (**Bild 34**).

Des Weiteren finden Bauteile aus diesen Legierungen Anwendung in hydraulischen Anlagen, in der Flüssiggasproduktion und in der Antriebstechnik, dort als Gleitlager sowie Zahnräder eingesetzt (**Bild 32**). Aufgrund des **geringen Bleizusatzes erfüllt der Werk-**

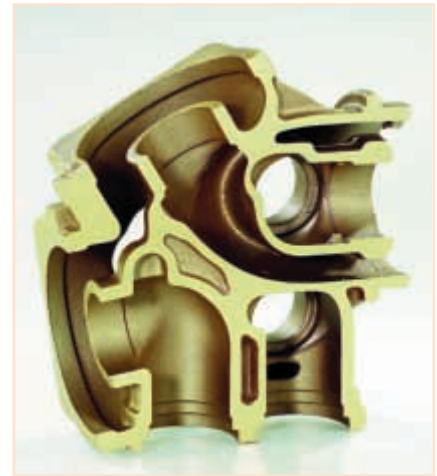


Bild 34: Mischventilgehäuse aus CuSn5Zn5Pb3-C (DKI 6329A)

stoff die Hygieneanforderungen und behält dabei dennoch seine sehr gute Bearbeitbarkeit, was für Guss-, Bohr- und Drehteile aller Art – auch zur Bearbeitung auf Automaten – eine wichtige Voraussetzung ist.

Die Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen werden u. a. als Werkstoffe für Gleitlager und für schwefelsäurebeständige Armaturen eingesetzt.

Aufgrund der Korrosionsanforderungen des Meerwassers verarbeitet der **Schiffbau** Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen für Armaturen, Pumpenkörper, Messgeräteegehäuse und andere meerwasserbeanspruchte Teile.



Bild 32: Gedrehte Buchsen aus Strangguss-Vormaterial, Werkstoff: Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (DKI 6448)

Im **Automobilbau** werden Zinnbronzen z. B. für Benzinpumpen eingesetzt. In der **chemischen Industrie** und in der **Nahrungsmittelindustrie** kommen Formteile aus Zinnbronzen für korrosions- und verschleißfeste sowie schwefelsäurebeständige Ventile, Ventilsitze, Laufräder und Pumpenkörper in Frage (**Bild 35**).



Bild 35: Pumpengehäuse aus **CuSn10-C** (DKI 6329E)

In der **Papierfabrikation**, im **Druckereiwesen** und in der **Textilindustrie** bestehen viele Rohrarmaturen, Pumpen, Ventiltile und allgemeine korrosionsfeste Gussteile sowie Druckwalzen und -platten zum Bedrucken von Textilien und Papier (Tapeten) aus Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen.

Für die **Elektrotechnik** werden Kleinbauteile aus Formguss, z. B. Anschlussklemmen, Hebel, Konsolen, Nocken, Schaltwerkteile, Lager usw. aus Kupfer-Zinn-Gusslegierungen gefertigt. Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (mit etwa 20 % Zinn) sind als „Glockenbronzen“ die gegebenen Werkstoffe für Glocken.

Auch im Kunsthandwerk finden die zinnhaltigen Kupfer-Gusslegierungen für Statuen und Denkmäler Anwendung (**Bild 36**).

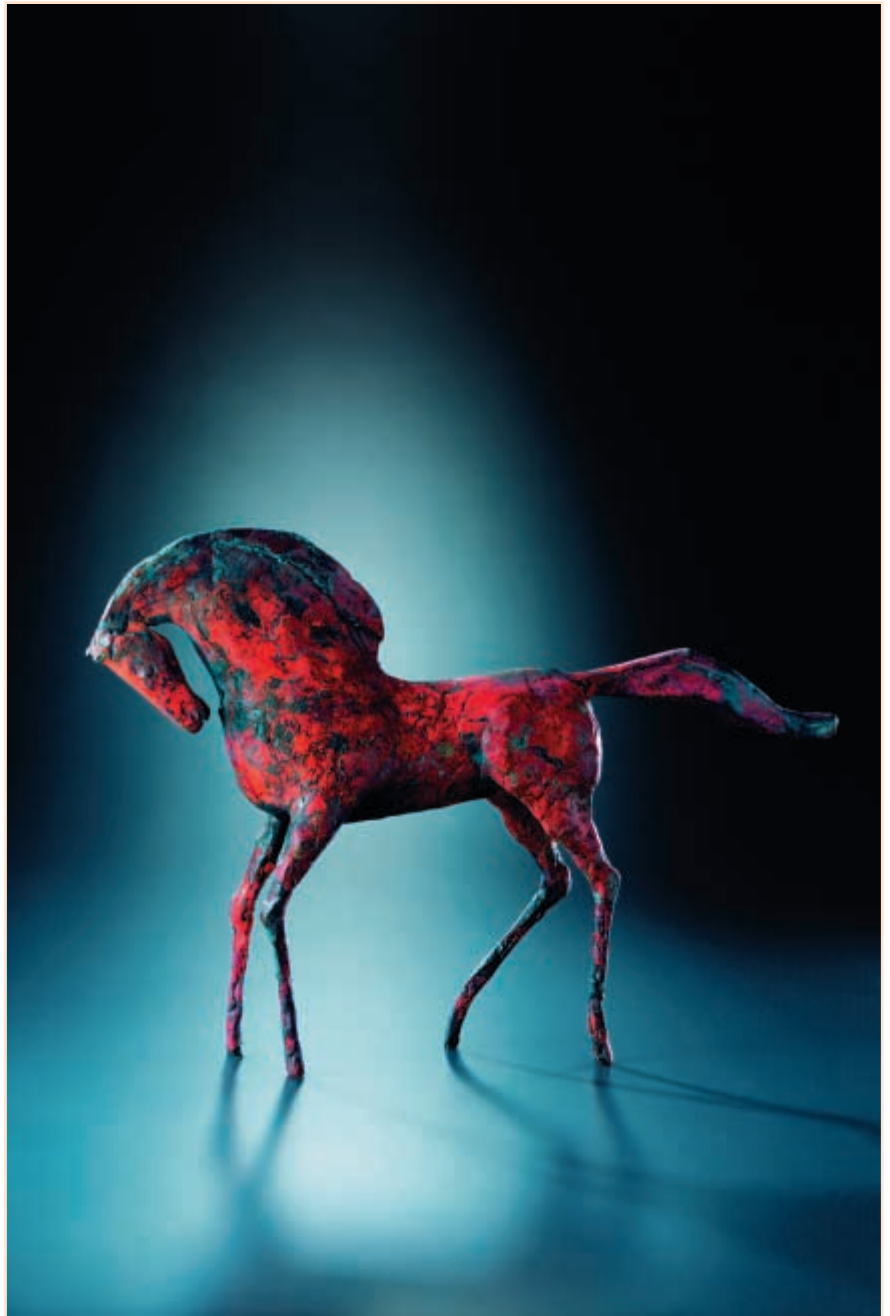


Bild 36: „Pferd“ von Hermann Schwaben. Bronzeplastik 23x34x5 cm Abmessung (DKI 6438)

Lote und Schweißzusatzwerkstoffe aus Kupfer-Zinn-Legierungen werden in großem Umfang zum Hartlöten bzw. Schweißen eingesetzt, z. B. zur Herstellung säurebeständiger Verbindungen an Kupferwerkstoffen, zum Hartlöten bzw. Schweißen von Nickel und Nickellegierungen, für Auftragshartlötungen auf Stahl oder Gusseisen, zum Plattieren von Eisenwerkstoffen

mit weicher Lagerbronze, zur korrosionssicheren Schweißung von Kunstbronzen usw.

Kupfer-Zinn-Legierungen dienen auch als Überzug auf Eisen und Nichteisenmetallen. Dabei wird der Werkstoff galvanisch oder nach dem Metallspritzverfahren aufgebracht.

Literatur

- [1] H. Wübbenhorst: Zum frühen Bronzeguss in Asien, Ägypten und Europa Gießerei 68 (1981) 25, S. 751-755.
- [2] Legierungen des Kupfers mit Zinn, Nickel, Blei und anderen Metallen (Fachbuch); Deutsches Kupferinstitut, Berlin 1970.
- [3] H.-J. Wallbaum: „Kupfer“ in: Landolt-Börnstein I, „Zahlenwerte und Funktionen“, 2. Teil, Bandteil 6, S. 639-890; Springer-Verlag, Berlin 1964.
- [4] Werkstoff-Handbuch Nichteisenmetalle, Teil 111 Cu VDI-Verlag, Düsseldorf 1960.
- [5] Guss aus Kupfer und Kupferlegierungen; Technische Richtlinien GDM, VDG und DKI, Düsseldorf, 1997.
- [6] Metals Handbook, 9th edition ASM, Metals Park, Ohio 1981.
- [7] Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen (Informationsdruck i. 18), Deutsches Kupferinstitut.
- [8] Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen (Fachbuch) Deutsches Kupferinstitut.
- [9] Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen (Informationsdruck i. 7) Deutsches Kupferinstitut.
- [10] Priv. Mitteilung H. Benninghoff, freier beratender Ingenieur, Neumünster.
- [11] Chemisches Färben von Kupfer und Kupferlegierungen (Fachbuch) Deutsches Kupferinstitut.

Normen*)

Zusammensetzung und Eigenschaften

- DIN EN 1982 Kupfer und Kupferlegierungen – Blockmetalle und Gussstücke
- DIN ISO 4382-1 Gleitlager; Kupferlegierungen; Kupfer-Gusslegierungen für Massiv- und Verbundlager
- DIN ISO 4383 Gleitlager; Metallische Verbundwerkstoffe für dünnwandige Gleitlager

DIN EN 1981 Kupfer und Kupferlegierungen – Vorlegierungen

Allgemeintoleranzen

- DIN 1687-1 Gussrohnteile aus Schwermetalllegierungen – Sandguss – Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben; Nicht für Neukonstruktionen
- DIN 1687-3 Gussrohnteile aus Schwermetalllegierungen; Kokillenguss, Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben
- DIN 1687-4 Gussrohnteile aus Schwermetalllegierungen; Druckguss, Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben

Verbindungsarbeiten

- DIN EN 29453 Weichlote; Chemische Zusammensetzung und Lieferformen
- E DIN 1707, T 100 Weichlote; Chemische Zusammensetzung und Lieferformen
- DIN EN 29454-1 Flussmittel zum Weichlöten, Einteilung und Anforderungen; Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung
- DIN EN 1044 Hartlötten; Lötzusätze
- DIN EN 1045 Hartlötten – Flussmittel zum Hartlöten – Einteilung und technische Lieferbedingungen

- DIN EN 923 Klebstoffe – Benennungen und Definitionen
- DIN EN 53281-1 Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Klebflächenvorbehandlung
- DIN EN 53281-2 Prüfung von Metallklebstoffen und Metall-

klebungen; Proben, Herstellung

- DIN EN 53281-3 Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Kenndaten des Klebvorgangs
- DIN 1733-1 Schweißzusätze für Kupfer und Kupferlegierungen; Zusammensetzung, Verwendung und Technische Lieferbedingungen
- DIN EN 28839 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben und Mutter aus Nichteisenmetallen
- VDI 2229 Metallkleben; Hinweise für Konstruktion und Fertigung
- VDI/VDE 2251 Feinwerkelemente; Verbindungen; Übersicht

Weitere Normen

- DIN 1690-10 Technische Lieferbedingungen für Gussstücke aus metallischen Werkstoffen; Ergänzende Festlegungen für Stahlguss für höher beanspruchte Armaturen
- DIN 50131 Prüfung metallischer Werkstoffe; Schwindmaßbestimmung
- VDG P 378 Gießen von Probestäben aus Kupfer-Gusslegierungen für den Zugversuch (Sandguss und Kokillenguss)

*) Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Gültig sind jeweils die neuesten Ausgaben der Normen.

Verlagsprogramm

Dach und Wand

- Verhalten von Kupferoberflächen an der Atmosphäre; Bestell-Nr. s. 131
.....
Dachdeckung und Außenwandbekleidung mit Kupfer; Bestell-Nr. i. 30
.....
Ausschreibungsunterlagen für Klempnerarbeiten an Dach und Fassade
.....
Blau-Lila-Färbungen an Kupferbauteilen

Sanitärinstallation

- Kupfer in Regenwassernutzungsanlagen; Bestell-Nr. s. 174
.....
Metallene Werkstoffe in der Trinkwasser-Installation; Bestell-Nr. i. 156
.....
Durchführungsanleitungen für die Kupferrohrverarbeitung zum Rahmenlehrplan GWI 1/92 „Unlösbare Rohrverbindung und Rohrverarbeitung“; Bestell-Nr. i. 157
.....
Die fachgerechte Kupferrohrinstallation; Bestell-Nr. i. 158
.....
Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen; Bestell-Nr. i. 160

Werkstoffe

- Schwermetall-Schleuder- und Strangguss – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten; Bestell-Nr. s. 165
.....
Zeitstandeigenschaften und Bemessungswerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau; Bestell-Nr. s. 178
.....
Ergänzende Zeitstandversuche an den beiden Apparatewerkstoffen SF-Cu und CuZn20Al2; Bestell-Nr. s. 191
.....
Einsatz CuNi10Fe1Mn plattierter Bleche für Schiffs- und Bootskörper / Use of Copper-Nickel Cladding on Ship and Boat Hulls; Bestell-Nr. s. 201
.....
Kupfer-Nickel-Bekleidung für Offshore-Plattformen / Copper-Nickel Cladding for Offshore Structures; Bestell-Nr. s. 202
.....
Werkstoffe für Seewasser-Rohrleitungssysteme Materials for Seawater Pipeline Systems; Bestell-Nr. s. 203
.....
Kupfer / Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung, Verwendung; Bestell-Nr. i. 4
.....
Niedriglegierte Kupferwerkstoffe; Bestell-Nr. i. 8
.....
Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing); Bestell-Nr. i. 5
.....
Rohre aus Kupfer-Zink-Legierungen; Bestell-Nr. i. 21
.....
Bänder, Bleche, Streifen aus Kupfer-Zink-Legierungen; Bestell-Nr. i. 22
.....
Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber); Bestell-Nr. i. 13
.....
Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen); Bestell-Nr. i. 15
.....
Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen); Bestell-Nr. i. 25
.....
Kupfer-Nickel-Legierungen; Bestell-Nr. i. 14
.....
Kupfer-Aluminium-Legierungen; Bestell-Nr. i. 6
.....
Dekorativer Innenausbau mit Kupferwerkstoffen
.....
Messing – Ein moderner Werkstoff mit langer Tradition
.....
Von Messing profitieren – Drehteile im Kostenvergleich
.....
Von Messing profitieren – Mit Messing installieren
.....
Messing ja – Spannungsrisskorrosion muss nicht sein!
.....
Messing ja – Entzinkung muss nicht sein!
.....
Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne

Verarbeitung

- Konstruktive Gestaltung von Formgussstücken aus Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. s. 133
.....
Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung von Gesenkschmiedestücken; Bestell-Nr. s. 194
.....
Löten von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 3
.....
Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 7
.....
Schweißen von Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 12
.....
Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 18

Elektrotechnik

- Drehstrom, Gleichstrom, Supraleitung – Energie-Übertragung heute und morgen; Bestell-Nr. s. 180
.....
Brandsichere Kabel und Leitungen; Bestell-Nr. s. 181
.....
Energiesparen mit Spartransformatoren; Bestell-Nr. s. 183
.....
Fehlauslösungen von Fehlerstrom-Schutteinrichtungen; Bestell-Nr. s. 184
.....
Wechselwirkungen von Blindstrom-Kompensationsanlagen mit Oberschwingungen; Bestell-Nr. s. 185
.....
Sparen mit dem Sparmotor; Bestell-Nr. s. 192
.....
Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren; Bestell-Nr. s. 193
.....
Energiesparpotentiale bei Motoren und Transformatoren; Bestell-Nr. i. 1
.....
Kupferwerkstoffe in der Elektrotechnik und Elektronik; Bestell-Nr. i. 10
.....
Kupfer in der Elektrotechnik – Kabel und Leitungen
.....
Kupfer spart Energie
.....
Geld sparen mit Hochwirkungsgrad-Motoren

Umwelt / Gesundheit

- Versickerung von Dachablaufwasser; Bestell-Nr. s. 195
.....
Kupfer in kommunalen Abwässern und Klärschlammern; Bestell-Nr. s. 197
.....
Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung; Bestell-Nr. s. 198
.....
Sachbilanz zur Kupfererzeugung unter Berücksichtigung der Endenergien; Bestell-Nr. s. 199
.....
Untersuchung zur Bleiabgabe der Messinglegierung CuZn39PB3 an Trinkwasser – Testverfahren nach British Standards BS 7766 and NSF Standard 61; Bestell-Nr. s. 200
.....
Kupfer – Lebensmittel – Gesundheit; Bestell-Nr. i. 19
.....
Recycling von Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. i. 27
.....
Kupfer und Kupferwerkstoffe ein Beitrag zur öffentlichen Gesundheitsvorsorge; Bestell-Nr. i. 28
.....
Kupfer – der Nachhaltigkeit verpflichtet
.....
Kupfer in unserer Umwelt
.....
Natürlich Kupfer – Kupfer ökologisch gesehen
.....
Doorknobs: a source of nosocomial infection?
.....
Wieviel Blei gelangt ins Trinkwasser?

Spezielle Themen

- Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau; Bestell-Nr. s. 160
.....
Kupfer – Naturwissenschaften im Unterricht Chemie; Bestell-Nr. s. 166
.....
Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?; Bestell-Nr. s. 210
.....
Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen; Bestell-Nr. s. 211
.....
Kupfer – Ein Metall mit Zukunft; Bestell-Nr. i. 75
.....
Kupferrohre in der Kälte-Klimatechnik, für technische und medizinische Gase; Bestell-Nr. i. 164
.....
DKI-Fachbücher* je EUR 4,35
.....
Kupfer
.....
Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen
.....
Chemische Färbungen von Kupfer und Kupferlegierungen
.....
Kupfer als Werkstoff für Wasserleitungen
.....
Kupferrohre in der Heizungstechnik
.....
Kupfer in der Landwirtschaft
.....
Guss aus Kupfer und Kupferlegierungen – Technische Richtlinien
.....
Kupfer im Hochbau EUR 24,00****
.....
Planungsleitfaden Kupfer – Messing – Bronze EUR 17,90****
.....
Architektur und Solarthermie
Dokumentation zum Architekturpreis EUR 25,00
.....
CD-ROM des Deutschen Kupferinstituts
.....
Werkstoff-Datenblätter EUR 10,00
.....
Kupferschlüssel EUR 10,00
.....
Solares Heizen EUR 10,00
.....
Was heißt hier schon „harmonisch“? EUR 10,00
.....
Faltpattern für Falzarbeiten mit Kupfer
Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempnertechnik EUR 10,00
.....
Lehrhilfe
Werkstoffstechnik – Herstellungsverfahren EUR 10,00

Lernprogramm

- Die fachgerechte Kupferrohr-Installation EUR 20,00****

Filmdienst des DKl

- Das Deutsche Kupferinstitut verleiht kostenlos die nachstehend aufgeführten Filme und Videos:
.....
„Kupfer in unserem Leben“
Videokassette, 20 Min.; Schutzgebühr EUR 21,50. Verleih kostenlos
.....
„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren“
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.; Schutzgebühr EUR 10,00. Verleih kostenlos
.....
„Kupfer in der Klempnertechnik“
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.; Schutzgebühr EUR 10,00. Verleih kostenlos
.....

- * Fachbücher des DKl sind über den Fachbuchhandel zu beziehen oder ebenso wie Sonderdrucke, Informationsdrucke und Informationsbroschüren direkt vom Deutschen Kupferinstitut, Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf.
** Dozenten im Fach Werkstofftechnik an Hochschulen erhalten die Mappen kostenlos
*** Sonderkonditionen für Berufsschulen
**** Sonderkonditionen für Dozenten und Studenten

Fordern Sie bitte unverbindlich das Dienstleistungs- und Verlagsverzeichnis des DKl an.

Ausklapp-Tabelle: Genormte gegossene Zinnbronzen

Für die Anwendung maßgebend ist die Norm in der jeweils gültigen Fassung													
1. Normbezeichnung				2. Chemische Zusammensetzung in Gew. %									
Kennzeichnung nach DIN EN 1982	Werkstoff-Nummer nach DIN EN 1982	Alte Kennzeichen n. DIN 1705 bzw. DIN 1716	Alte Werkstoff-Nr.	Kupfer	Nickel	Phosphor	Blei	Zinn	Alu-minium Al	Eisen	Mangan	Schwefel	Antimon
				Cu	Ni	P	Pb	Sn	Al	Fe	Mn	S	Sb
				Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %	Gew. %
Kupfer-Zinn-Gusslegierungen (Bronzen)													
CuSn12-C - GS	CC483K	G-CuSn12	2.1052.01	85,0-88,5	< 2,0	< 0,6	< 0,7	11,0-13,0	< 0,01	< 0,2	< 0,2	< 0,05	< 0,15
CuSn12-C - GM		GM-CuSn12	2.1052.02										
CuSn12-C - GZ		GZ-CuSn12	2.1052.03										
CuSn12-C - GC		GC-CuSn12	2.1052.04										
CuSn12Ni2-C - GS	CC484K	G-CuSn12Ni	2.1060.01	84,5-87,5	1,5-2,5	0,05-0,40	< 0,3	11,0-13,0	< 0,01	< 0,2	< 0,2	< 0,05	< 0,1
CuSn12Ni2-C - GZ		GZ-CuSn12Ni	2.1060.03										
CuSn12Ni2-C - GC		GC-CuSn12Ni	2.1060.04										
CuSn11Pb2-C - GS	CC482K	G-CuSn12Pb	2.1061.01	83,5-87,0	< 2,0	< 4,0	0,7-2,5	10,5-12,5	< 0,01	< 0,20	< 0,2	< 0,08	< 0,2
CuSn11Pb2-C - GZ		GZ-CuSn12Pb	2.1061.03										
CuSn11Pb2-C - GC	CC481K	GC-CuSn12Pb	2.1061.04	87,0-89,5	< 0,1	0,5-1,0	< 0,25	10,0-11,5	< 0,01	< 0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05
CuSn11P-C - GS		-	-										
CuSn11P-C - GM		-	-										
CuSn11P-C - GZ		-	-										
CuSn11P-C - GC	CC480K	G-CuSn10	2.1050.01	88,0-90,0	< 2,0	< 0,2	< 1,0	9,0-11,0	< 0,01	< 0,2	< 0,10	< 0,05	< 0,2
CuSn10-C - GS		GM-CuSn10	2.1050.02										
CuSn10-C - GM		GZ-CuSn10	2.1050.03										
CuSn10-C - GZ		GC-CuSn10	2.1050.04										
CuSn10-C - GC		GC-CuSn10	2.1050.04										
Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Rotguss)													
CuSn7Zn4Pb7-C - GS	CC493K	G-CuSn7ZnPb	2.1090.01	81,0-85,0 ¹⁾	< 2,0	< 0,10	5,0-8,0	6,0-8,0	< 0,01	< 0,2		< 0,10	< 0,3
CuSn7Zn4Pb7-C - GM		GM-CuSn7ZnPb	2.1090.02										
CuSn7Zn4Pb7-C - GZ		GZ-CuSn7ZnPb	2.1090.03										
CuSn7Zn4Pb7-C - GC		GC-CuSn7ZnPb	2.1090.04										
CuSn7Zn2Pb3-C - GS	CC492K	G-CuSn6ZnNi	2.1093.01	85,0-89,0 ¹⁾	< 0,2	< 0,10	2,5-3,5	6,0-8,0	< 0,01	< 0,2		< 0,10	< 0,25
CuSn7Zn2Pb3-C - GM		GM-CuSn6ZnNi	2.1093.02										
CuSn7Zn2Pb3-C - GZ		GZ-CuSn6ZnNi	2.1093.03										
CuSn7Zn2Pb3-C - GC		GC-CuSn6ZnNi	2.1093.04										
CuSn5Zn5Pb5-C - GS	CC491K	G-CuSn5ZnPb	2.1096.01	83,0-87,0 ¹⁾	< 2,0	< 0,10	4,0-6,0	4,0-6,0	< 0,01	< 0,3		< 0,10	< 0,25
CuSn5Zn5Pb5-C - GM		GM-CuSn5ZnPb	2.1096.02										
CuSn5Zn5Pb5-C - GZ		GZ-CuSn5ZnPb	2.1096.03										
CuSn5Zn5Pb5-C - GC		GC-CuSn5ZnPb	2.1096.04										
CuSn3Zn8Pb5-C - GS	CC490K	G-CuSn2ZnPb	2.1098.01	81,0-86,0 ¹⁾	< 2,0	< 0,05	3,0-6,0	2,0-3,5	< 0,01	< 0,5		< 0,10	< 0,30
CuSn3Zn8Pb5-C - GZ		GZ-CuSn2ZnPb	2.1098.03										
CuSn3Zn8Pb5-C - GC		GC-CuSn2ZnPb	2.1098.04										
Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen (Bleibronzen)													
CuSn5Pb9-C - GS	CC494K	-	-	80,0-87,0 ¹⁾	< 2,0	< 0,10	8,0-10,0	4,0-6,0	< 0,01	< 0,25	< 0,2	< 0,10	< 0,5
CuSn5Pb9-C - GM		-	-										
CuSn5Pb9-C - GZ		-	-										
CuSn5Pb9-C - GC		-	-										
CuSn6Zn4Pb2-C - GS	CC498K	-	-	86,0-90,0 ¹⁾	< 1,0	< 0,05	< 2,0	5,5-6,5	< 0,01	< 0,25		< 0,10	< 0,25
CuSn6Zn4Pb2-C - GM		-	-										
CuSn6Zn4Pb2-C - GZ		-	-										
CuSn6Zn4Pb2-C - GC		-	-										
CuSn10Pb10-C - GS	CC495K	G-CuPb10Sn	2.1176.01	78,0-82,0 ¹⁾	< 2,0	< 0,10	8,0-11,0	9,0-11,0	< 0,1	< 0,25	< 0,2	< 0,10	< 0,5
CuSn10Pb10-C - GM		GM-CuPb10Sn	2.1176.02										
CuSn10Pb10-C - GZ		GZ-CuPb10Sn	2.1176.03										
CuSn10Pb10-C - GC		GC-CuPb10Sn	2.1176.04										
CuSn7Pb15-C - GS	CC496K	G-CuPb15Sn	2.1182.01	74,0-80,0 ¹⁾	0,5-2,0	< 0,10	13,0-17,0	6,0-8,0	< 0,01	< 0,25	< 0,20	< 0,10	< 0,5
CuSn7Pb15-C - GZ		GZ-CuPb15Sn	2.1182.03										
CuSn7Pb15-C - GC		GC-CuPb15Sn	2.1182.04										
CuSn5Pb20-C - GS	CC497K	G-CuPb20Sn	2.1188.01	70,0-78,0 ¹⁾	0,5-2,5	< 0,10	18,0-23,0	4,0-6,0	< 0,01	< 0,25	< 0,20	< 0,10	< 0,75
CuSn5Pb20-C - GZ		GZ-CuPb20Sn	2.1188.03										
CuSn5Pb20-C - GC		GC-CuPb20Sn	2.1188.04										

¹⁾ einschließlich Nickel

Hinweis: GS=Sandguss, GM=Kokillenguss, GZ=Schleuderguss, GC=Strangguss

Hinweis auf die Spanbarkeit: 1 = sehr gut, 2 = gut bis mäßig, 3 = mäßig bis schwer

3. Physikalische Eigenschaften															
3. Physikalische Eigenschaften			4. Mechanische Eigenschaften						5. Technologische Eigenschaften			6. Span-			
Si	Zn	Dichte	Schmelz-	Schwind-	elektr. Leit-	Wärme-	Längen-	Zug-	0,2 %-	Bruch-	Brinell-	Elasti-	Biege-	Scher-	Span-
Gew. %	Gew. %	g/cm ²	bereich	maß	fähigkeit bei 20 °C	leitfähigkeit bei 20 °C	ausdehnungs-	festigkeit	Dehn-	dehnung	härte HB10	zitäts-	wechsel-	festigkeit	barkeit
			°C	%	MS/m	W/(m*K)	koeffizient 10 ⁻⁶ /K	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)		GPa	MPa	MPa	
< 0,01	< 0,5	8,6	830-1000	1,5	6,2	54	18,5	260	140	7	80	90-110	90	195-210	3
								270	150	5	80				
								280	150	5	90				
								300	150	6	90				
< 0,01	< 0,4	8,6	830-1010	1,5	6,2	54	17,5	280	160	12	85	90-110	140	210-225	3
								300	180	8	95				
								300	180	10	95				
< 0,01	< 2,0	8,7	830-1000	1,5	6,2	54	18,5	260	130	5	80	90-110	130	195-210	2
								280	150	5	90				
< 0,01	< 0,05	8,6	830-1010	1,5	6,0	52	18,0	250	130	5	60	90-110	100	195-210	3
								310	170	2	85				
								330	170	4	85				
								350	170	5	85				
								250	130	18	70				
< 0,02	< 0,5	8,7	830-1020	1,5	7,0	59	18,5	270	160	10	80	90-110	100	200-215	3
								280	160	10	80				
								280	170	10	80				
								280	170	10	80				
< 0,01	2,0-5,0	8,8	860-1020	1,3-1,5	7,5	64	18,5	230	120	15	60	98-115	110	180-190	1
								230	120	12	60				
								260	120	12	70				
								260	120	12	70				
< 0,01	1,5-3,0	8,7	830-1030	1,3-1,5	7,9	69	18,5	230	130	14	65	90-96	80	200-215	1
								230	130	12	70				
								260	130	12	70				
								270	130	12	70				
< 0,01	4,0-6,0	8,7	860-1030	1,3-1,5	8,5	71	18,2	200	90	13	60	65-105	75	165-175	1
								220	110	6	65				
								250	110	13	65				
								250	110	13	65				
< 0,01	7,0-9,5	8,7	830-1040	1,3-1,5	8,5	71	18,0	180	85	15	60	90-95	110	155-170	1
								220	100	12	70				
								220	100	12	70				
								220	100	12	70				
< 0,01	< 2,0	9,0	850-1030	1,4	6,0	54	18,7	160	60	7	55	75-83	70-85	110-135	1
								200	80	5	60				
								200	90	6	60				
								200	90	9	60				
< 0,01	3,0-5,0	8,7	830-1030	1,3-1,5	7,9	69	18,5	200	110	15	65	90-96	80	200-215	1
								220	110	12	70				
								240	110	12	70				
								240	110	12	70				
< 0,01	< 2,0	9,0	850-1000	1,4	6,0	54	18,7	180	80	8	60	75-83	70-85	110-135	1
								220	110	3	65				
								220	110	6	70				
								220	110	8	70				
< 0,01	< 2,0	9,1	880-1030	1,4	7,0	63	18,8	170	80	8	60	75-80	-	110-135	1
								200	90	7	65				
								200	90	8	65				
0,01	< 2,0	9,3	900-950	1,5	8,5	71	19,3	150	70	5	45	74-78	-	95-120	1
								170	80	6	50				
								180	90	7	50				

artlöt und Schweißbarkeit					
Hartlöten	Gas-schweißen	Schutz-gas-schweißen	Bemerkungen	Hinweise für die Verwendung	Kennzeichnung nach DIN EN 1982
gut	mittel	mittel	Werkstoff mit guter Verschleißfestigkeit, korrosions- und meerwasserbeständig. Aus dieser Legierung wurden die Werkstoffe CuSn12Ni2-C - GS und CuSn11Pb2 - GS entwickelt, die sich durch eine erhöhte Festigkeit und Verschleißfestigkeit bzw. verbesserte Notlaufeigenschaften auszeichnen. Siehe CuSn12-C - GS Eigenschaften, jedoch gleichmäßiger, 0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit und Härte höher.	Kuppelsteine und Kuppelstücke, unter Last bewegte Spindelmutter, Schnecken- und Schraubenräder. Ring- und rohrförmige Konstruktionsteile sowie Längsprofile, z. B. Schneckenradkränze, Zylindereinsätze, hochbelastete Stell- und Gleitleisten.	CuSn12-C - GS CuSn12-C - GM CuSn12-C - GZ CuSn12-C - GC
gut	mittel	mittel	Konstruktionswerkstoff mit sehr guter Verschleißfestigkeit, korrosions- und meerwasserbeständig, widerstandsfähig gegen Kavitationsbeanspruchungen. Siehe CuSn12Ni2-C - GS - Eigenschaften, jedoch gleichmäßiger, 0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit und Härte höher.	Hochbelastete Kuppelsteine und Kuppelstücke, unter Last bewegte Spindelmutter, höher beanspruchte schnellaufende Schnecken- und Schraubenradkränze. Hochbeanspruchte Armaturen- und Pumpengehäuse, Leit-, Lauf- und Schaufelräder für Pumpen- und Wasserturbinen. Belastungskennwerte für Schneckenräder bei Dauerlauf je nach Leitgeschwindigkeit p=1,5 bis 8 MPa, bei kurzzeitiger Belastung p=20 bis 25 MPa. Ring- und rohrförmige Konstruktionsteile, unter Last bewegte Mutter, höchstbeanspruchte, schnellaufende Schnecken- und Schraubenradkränze. Belastungskennwerte für Schneckenräder bei Dauerlauf je nach Leitgeschwindigkeit p=2 bis 12,5 MPa, bei kurzzeitiger Belastung p=20 bis 25 MPa.	CuSn12Ni2-C - GS CuSn12Ni2-C - GZ CuSn12Ni2-C - GC CuSn11Pb2-C - GS
mittel	schlecht	mittel	Lagerwerkstoff mit guter Notlaufeigenschaft und Verschleißfestigkeit; korrosions- und meerwasserbeständig. Siehe G-CuSn11Pb2-C Eigenschaften, jedoch gleichmäßiger, 0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit und Härte höher.	Gleitlager mit hohen Lastspitzen (Stoßbelastungen bis 60 MPa) hochbeanspruchte Gleitplatten und Leisten. Gleitlager mit hohen Lastspitzen für p bis 120 MPa, z. B. Kurbel- und Kniebellager, Kolbenbolzenbuchsen, Buchsen für Kranlaufräder, unter Last mit hoher Geschwindigkeit bewegte Spindelmutter, sehr hoch belastete Gleitleisten.	CuSn11Pb2-C - GZ CuSn11Pb2-C - GC
mittel	schlecht	mittel	Legierung aus Großbritannien. Neigt aufgrund des hohen Phosphorgehaltes zu Formstoffreaktionen. Phosphor steigert die Härte und Festigkeit auf Kosten der Dehnung.	Einsatzmöglichkeiten wie CC482K und CC483K.	CuSn11P - GS CuSn11P - GM CuSn11P - GZ CuSn11P - GC
gut	mittel	gut	Konstruktionswerkstoff mit hoher Dehnung, korrosions- und meerwasserbeständig.	Armaturen- und Pumpengehäuse, Leit-, Lauf- und Schaufelräder für Pumpen- und Wasserturbinen.	CuSn10-C - GS CuSn10-C - GM CuSn10-C - GZ CuSn10-C - GC
mittel	schlecht	schlecht	Mittelharter Gleitlagerwerkstoff mit guten Notlaufeigenschaften; meerwasserbeständig.		CuSn7Zn4Pb7-C - GS CuSn7Zn4Pb7-C - GM CuSn7Zn4Pb7-C - GZ CuSn7Zn4Pb7-C - GC
gut	mittel	schlecht	Konstruktionswerkstoff mit guter Festigkeit und Dehnung, gut gießbar, meerwasserbeständig.	Wird bereits vielfach als Konstruktionswerkstoff verwendet.	CuSn7Zn2Pb3-C - GS CuSn7Zn2Pb3-C - GM CuSn7Zn2Pb3-C - GZ CuSn7Zn2Pb3-C - GC
mittel	schlecht	schlecht	Konstruktionswerkstoff, gut gießbar, weich- und bedingt hartlötbar, meerwasserbeständig.	Wasser- und Dampfarmaturengehäuse bis 226 °C, normal beanspruchte Pumpengehäuse und dünnwandige verwickelte Gussstücke.	CuSn5Zn5Pb5-C - GS CuSn5Zn5Pb5-C - GM CuSn5Zn5Pb5-C - GZ CuSn5Zn5Pb5-C - GC
mittel	schlecht	schlecht	Mittelharter Konstruktionswerkstoff, gut gießbar, korrosionsbeständig, gegenüber Gebrauchswässern, auch bei erhöhten Temperaturen.	Die Legierung wird speziell für dünnwandige Armaturen (bis 12 mm Wanddicke) verwendet, geeignet bis 225 °C.	CuSn3Zn8Pb5-C - GS CuSn3Zn8Pb5-C - GZ CuSn3Zn8Pb5-C - GC
schlecht	schlecht	-	Gleitwerkstoff „weicher“ Werkstoff ähnlich CC495K mit höheren Kupfer- und niedrigeren Zink-Gehalten.	Lagerbuchsen, Gleitlager.	CuSn5Pb9-C - GS CuSn5Pb9-C - GM CuSn5Pb9-C - GZ CuSn5Pb9-C - GC
gut	mittel	schlecht	Konstruktionswerkstoff mit brauchbaren mechanischen Eigenschaften und Dehnung, gut gießbar, ähnlich CC492K, jedoch mit niedrigeren Blei- und Zink-Gehalten, meerwasserbeständig.	Pumpengehäuse, dünnwandig verwickelte Gussstücke.	CuSn6Zn4Pb2-C - GS CuSn6Zn4Pb2-C - GM CuSn6Zn4Pb2-C - GZ CuSn6Zn4Pb2-C - GC
schlecht	schlecht	-	Lagerwerkstoff mit guten Gleiteigenschaften und guter Verschleißfestigkeit, als Verbundgusswerkstoff geeignet, gute Korrosionsbeständigkeit.	Gleitlager mit hohen Flächendrücken, bei denen Kantenpressungen auftreten können, z. B. Kalenderwalzen, Fahrzeuglager, Lager für Warmwalzwerke, Spitzenbeanspruchungen bei guter Schmierung bis p=60 MPa. Bei Verbundlagern in Verbrennungsmotoren, Beanspruchung bis 100 MPa, z. B. Kolbenbolzen und Getriebebuchsen, Anlaufscheiben.	CuSn10Pb10-C - GS CuSn10Pb10-C - GM CuSn10Pb10-C - GZ CuSn10Pb10-C - GC
schlecht	schlecht	-	Lagerwerkstoff mit guten Gleit- und Notlaufeigenschaften bei zeitweiligem Schmierstoffmangel und bei Wasserschmierung, als Verbundgusswerkstoff geeignet, gut beständig gegen Schwefelsäure.	Lager mit hohen Flächendrücken, bei denen starke Kantenpressungen auftreten können. Lager ohne Weißmetallaussug, auch mit eingegossenen Kupferkühlrohren für Kaltwalzwerke. Spitzenbeanspruchung bei guter Schmierung bis p=50 MPa. Verbundlager für Verbrennungsmotoren, bevorzugt Kolbenbolzenbuchsen mit einer max. Beanspruchung bis 70 MPa, säurebeständige Armaturen und Gussstücke.	CuSn7Pb15-C - GS CuSn7Pb15-C - GZ CuSn7Pb15-C - GC
schlecht	schlecht	-	Lagerwerkstoff mit besten Gleiteigenschaften, besonders gute Notlaufeigenschaften bei zeitweiligem Schmierstoffmangel und bei Wasserschmierung. Als Verbundgusswerkstoff geeignet. Gut beständig gegen Schwefelsäure. Gieß-technisch schlechtere Eigenschaften als G-CuPb15Sn, der deshalb zu bevorzugen ist.	Lager auch mit hohen Gleitgeschwindigkeiten; Lager für Mahlmaschinen, Wasserpumpen, Kalt- und Folienwalzwerke, Spitzenbeanspruchung bei guter Schmierung bis p=40 MPa. Korrosionsbeständige Armaturen und Gussstücke. Hochbeanspruchte Verbundlager in Verbrennungsmotoren, z. B. Kolbenbolzenbuchsen mit Beanspruchungen bis p=70 MPa.	CuSn5Pb20-C - GS CuSn5Pb20-C - GZ CuSn5Pb20-C - GC

**Auskunfts- und Beratungsstelle
für die Verwendung von
Kupfer und Kupferlegierungen**

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf
Telefon: (0211) 4 79 63 00
Telefax: (0211) 4 79 63 10
info@kupferinstitut.de

www.kupferinstitut.de

