



Kupfer-Zinn- Knetlegierungen (Zinnbronzen)

Herausgeber:

Deutsches Kupferinstitut
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

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 07/2004

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen)

Inhalt

1. Allgemeines zu den Kupfer-Zinn-Knetlegierungen	4
1.1 Das Zustandsschaubild Kupfer-Zinn	4
1.2 Kupfer-Zinn-Knetlegierungen mit weiteren Legierungselementen	5
1.3 Einfluss von Beimengungen	6
1.4 Einfluss von Verunreinigungen	6
1.5 Werkstoffe	6
1.6 Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in den Europäischen Normen	6
1.7 Legierungsvergleich zwischen Europa (DIN EN), USA und Japan	8
2. Eigenschaften der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen	9
2.1 Physikalische Eigenschaften	9
2.2 Mechanische Eigenschaften	10
2.3 Federeigenschaften	12
2.4 Gleiteigenschaften	13
2.5 Korrosionsbeständigkeit	13
3. Herstellung und Verarbeitung	15
3.1 Schmelzen	15
3.2 Gießen	16
3.3 Warmumformung	16
3.4 Kaltumformung	16
3.5 Wärmebehandlung	16
3.6 Spanabhebende Bearbeitung	16
3.7 Verbindungsarbeiten	16
3.8 Oberflächenbehandlung	19
4. Verwendung von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen	20
5. Literatur	22
6. Normen	22
7. Verlagsprogramm	22

1. Allgemeines zu den Kupfer-Zinn-Knetlegierungen

Der Begriff umfasst Legierungen des Kupfers mit Zinn als Hauptlegierungselement. Die gebräuchlichen Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind in DIN V 17900* genormt und enthalten demnach neben Kupfer bis 8,5 % Sn. Die Schweißzusätze für Kupfer und Kupferlegierungen (DIN 1733, Teil 1) sowie Hartlote auf Kupferbasis (DIN EN 1044) aus Kupfer-Zinn-Legierungen können bis zu 13 % Sn enthalten. Zum Desoxidieren wird den o.g. Knetlegierungen Phosphor zugegeben (→ 1.2.1), der im Einzelfall auch als Legierungsbestandteil (0,1 bis 0,4 % P) mit in die Werkstoffbezeichnung aufgenommen wird (s. hierzu DIN ISO 4382, Teil 2).

Einige Legierungen enthalten neben Zinn auch Zink, was vorwiegend auf wirtschaftliche Gründe zurückzuführen ist.

Für die Kupfer-Zinn-Legierungen ist auch heute der alte Begriff „Zinnbronzen“ allgemein üblich.

1.1 Das Zustandsschaubild Kupfer-Zinn

Kupfer-Zinn-Legierungen gehören zwar zu den ältesten technisch verwerteten Kupferlegierungen, der Aufbau der kupferreichen Zweistofflegierungen war jedoch lange Zeit nur in groben Zügen klar, da diese Legierungen wegen des breiten Erstarrungsintervalls zu starken **Seigerungen** neigen und die Einstellung der Phasengleichgewichte sehr träge verläuft. Weiterhin erschwert die kristallographische Ähnlichkeit der entstehenden Phasen deren eindeutige Identifizierung.

Bild 1 zeigt das Phasendiagramm des Zweistoffsystems Kupfer-Zinn. Im flüssigen Zustand sind Kupfer und Zinn vollständig mischbar. Im festen Zustand bei 520 °C beträgt die Löslichkeit von Zinn in Kupfer 15,8 %. Die bei sinkender Temperatur abnehmende Löslichkeit von Zinn, wie sie im Bild 1 angegeben ist, lässt eine Ausscheidungs-

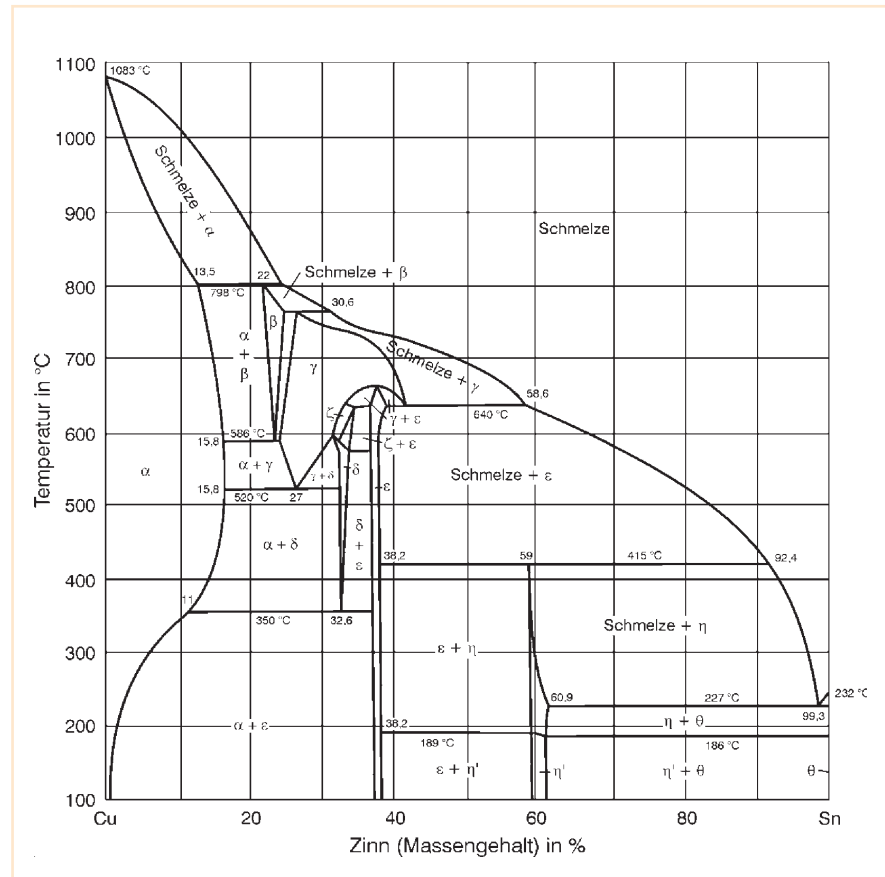


Bild 1: Zustandsschaubild Kupfer-Zinn. (DKI 1531 B) [1]

fähigkeit der Kupfer-Zinn-Legierungen erwarten. Diese hat jedoch unter 525 °C fast nur theoretische Bedeutung, weil zur Einstellung des Gleichgewichts infolge der Diffusionsträgheit des Zinns Kaltumformungen und extrem lange Glühzeiten von 1000 bis 2000 h erforderlich wären. Die Löslichkeit von Zinn bleibt unterhalb von 520 °C mit etwa 15,8 % Sn nahezu konstant, so dass die handelsüblichen Kupfer-Zinn-Knetlegierungen von bis 9 % Sn in Form von α -Mischkristallen vorliegen. Wegen der durch den Erstarrungsablauf verursachten Störungen der Phasengleichgewichte wird in der Praxis für die technisch knotbaren Kupfer-Zinn-Legierungen der Zinngehalt in der Regel auf max. 9 % begrenzt. Bei der Erstarrung führt das breite Erstarrungsintervall zur Bildung von Zonenkristallen, deren Konzentrationsunterschied zwischen Kern und Außenzone ≥ 10 % betragen kann. Es werden also zunächst kupferreiche Mischkristalle ausgeschieden. Die Rest-

schmelze erstarrt dann erheblich zinnreicher als es dem Durchschnittsgehalt der Legierung entspricht. Der zu hohe Zinngehalt der zuletzt erstarrten Mischkristalle kann nur durch Diffusion ausgeglichen werden. Aufgrund der Diffusionsträgheit des Zinns verläuft dieser Vorgang so langsam, dass für die technischen Belange ein technisches Zweistoff-Diagramm herangezogen wird (Bild 2). Danach weisen die höherlegierten Kupfer-Zinn-Legierungen (> 6 % Sn) nach dem Erstarren neben der α -Phase auch $\alpha + \delta$ -Eutektoid auf.

Die Kupfer-Zinn-Legierungen zeigen aber nicht nur eine massive „Kornseigerung“, sondern auch die Erscheinung der „umgekehrten Blockseigerung“. Durch eine Homogenisierungsglühung können die Kornseigerungen über die Platzwechselfvorgänge beseitigt werden, umgekehrte Blockseigerung jedoch nur durch thermomechanische Behandlung.

* Die Europäischen Normen sind Produktnormen in denen u. a. auch die chemische Zusammensetzung enthalten ist. Eine Zusammenfassung aller in DIN EN genormten Werkstoffe enthält DIN V 17900

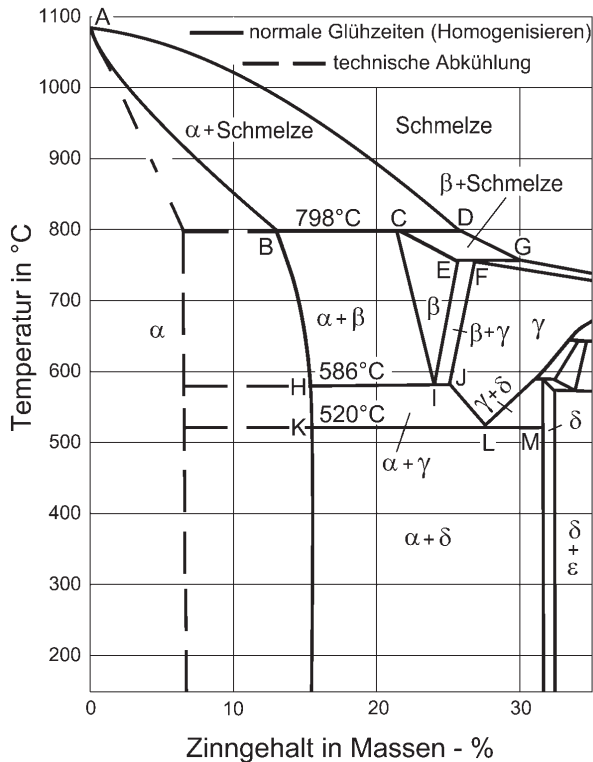


Bild 2: Kupferseite des praktischen Zustandsschaubildes Kupfer-Zinn. (DKI 1536) [2]

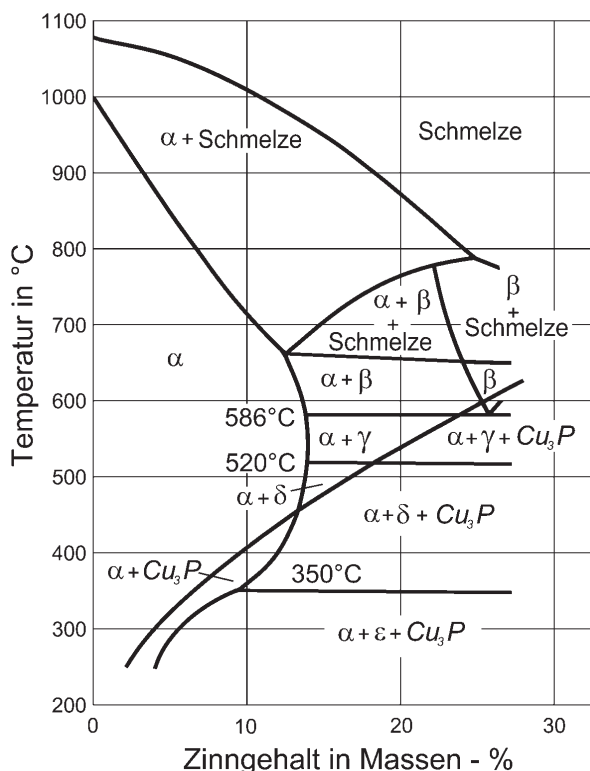


Bild 3: Schnitt durch das Zustandsschaubild Kupfer-Zinn-Phosphor für 0,2% P. (DKI 1543) [3]

Ein sehr feines, homogenes und seigerungsarmes Gefüge kann erreicht werden, wenn nicht gegossen wird, sondern der Werkstoff durch Sprühkompaktieren erzeugt wird. So können industriell verarbeitbare Zinn-Bronzen bis ca. 17% Zinn hergestellt werden.

1.2 Kupfer-Zinn-Knetlegierungen mit weiteren Legierungselementen

Als Zusätze sind für die Kupfer-Zinn-Knetlegierungen Phosphor und Zink von Bedeutung.

1.2.1 Kupfer-Zinn-Phosphor

Phosphor wird in kleinen Mengen, jedoch im Überschuss, zugegeben, um die Desoxidation der Kupfer-Zinn-Schmelze zu erreichen und die Bildung von Zinnoxid (SnO_2), das die Eigenschaften der Legierungen ungünstig beeinflussen würde, zu verhindern. Hierbei entsteht als Reaktionsprodukt Phosphorpentoxid, das entweder verdampft oder verschlackt. Durch einen geringeren Restgehalt von mehr als 0,01% P wird eine einwandfreie Desoxidation sichergestellt. Darüber hinaus ist Phosphor aber auch ein Legierungselement. Phosphor ermöglicht eine bessere Schmelzföhrung und eine bessere Gießbarkeit, erweitert das Erstarrungsintervall erheblich und (Bild 3) beeinflusst verschiedene physikalische Eigenschaften. Mit steigendem Phosphorgehalt wird die Verfestigungsfähigkeit der Knetlegierungen erhöht, gleichzeitig aber wird die elektrische Leitfähigkeit und Warmverformbarkeit herabgesetzt.

Höhere Phosphorgehalte wirken sich auch positiv auf die Gleiteigenschaft von CuSn-Legierungen aus.

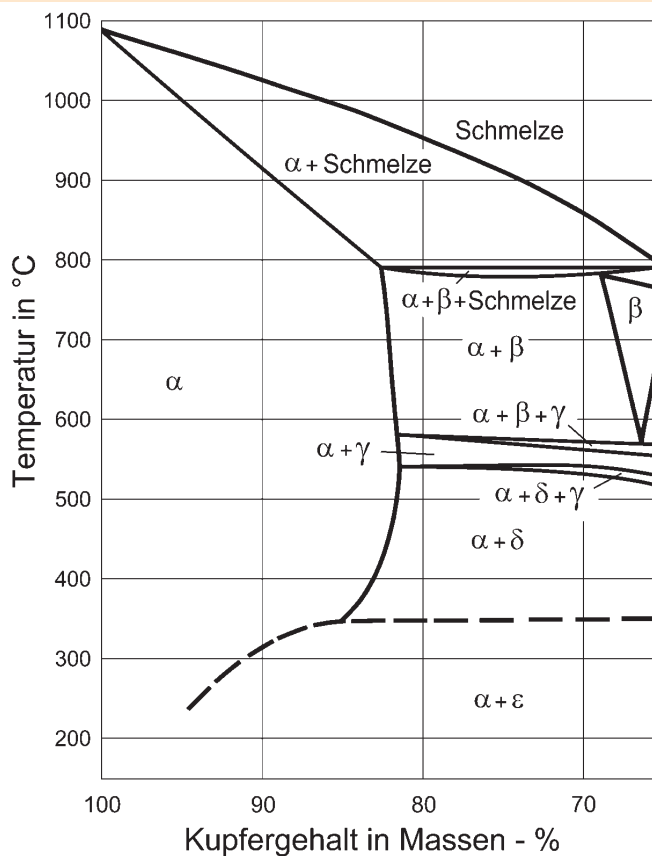


Bild 4: Zustandsschaubild Kupfer-Zinn-Zink; Schnitt durch die Kupferecke bei einem Verhältnis Zinn zu Zink 1:1. (DKI 1548) [3]

1.2.2 Kupfer-Zinn-Zink

Zusätze von Zink haben insbesondere für Kupfer-Zinn-Gusslegierungen eine große Bedeutung, doch enthalten bisweilen auch Kupfer-Zinn-Knetlegierungen als drittes Legierungselement Zink.

Zinkzusätze verschieben die Phasengrenze des α -Gebietes zu niedrigeren Zinngehalten (Bild 4). Sie bewirken eine Desoxidation der Schmelze, so dass Zusätze von Phosphor hier nicht notwendig sind, und erhöhen die Verformbarkeit der Knetlegierungen. Darüber hinaus bieten Zinkzusätze keine weiteren technologischen Vorteile. Zink wird vielmehr aus wirtschaftlichen Gründen zugegeben.

1.3 Einfluss von Beimengungen

Eisen, das in Kupfer-Zinn-Knetlegierungen bis zu 0,1% enthalten sein kann, erhöht bereits in diesen geringen Mengen die Verfestigungsfähigkeiten und kann auch eine Kornfeinung bewirken. In Gehalten über 0,2%

würde es in freier Form auftreten und die magnetischen Eigenschaften verändern. Schmelzen und Gießen wird durch Eisen erschwert, weil es eine zähe Schlackenhaut bildet.

Nickel erhöht die Schmelztemperaturen und verschiebt die Grenze der homogenen festen Lösung zu niedrigen Gehalten. Es verbessert die Festigkeitskennwerte, durch eine Kaltverformung zwischen der Lösungsglühung und der Warmaushärtung kann die Härte auch weiter gesteigert werden. Die in DIN V 17900 genormten Kupfer-Zinn-Knetlegierungen können bis zu 0,3% Ni enthalten.

Blei verbessert die Spanbarkeit, ist jedoch in Knetlegierungen, die durch einen Warmknetvorgang verarbeitet werden, schon in geringen Mengen schädlich, da diese Legierungen dann zu Warmbrüchigkeit neigen. Die Gehalte in den genormten Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind deshalb auf 0,02%

begrenzt. Bei einigen speziellen Anwendungen werden die Bleigehalte gegenüber der Norm unterschritten. Ausnahmen stellen die Werkstoffe dar, die über Strang-, Band- und Drahtguss hergestellt werden. Hier können Bleigehalte bis 4,5% realisiert werden (zerspanbare Kupfer-Zinn-Knetlegierungen).

1.4 Einfluss von Verunreinigungen

Arsen in höheren Gehalten verschlechtert die mechanischen Eigenschaften, da es durch die Herabsetzung der Zinnlöslichkeit den Eutektoidanteil erhöht. Das gleiche gilt auch für **Antimon**.

Aluminium, Silizium und Mangan

haben eine desoxidierende Wirkung auf die Schmelze. Störend wirken insbesondere bei Aluminium und Silizium die sich bildenden sehr dichten Oxidhäute, die schwer zu beseitigen sind, da sie aus der Schmelze nicht in die Schlacke aufsteigen.

Wismut scheidet sich meist an den Korngrenzen ab und beeinträchtigt die Warm- und Kaltformbarkeit.

Schwefel kann gelegentlich mit den Brenngasen in die Schmelze gelangen und erhöht deren Viskosität und verschlechtert damit die Gießeigenschaften.

1.5 Werkstoffe

Den technisch verwendeten Kupfer-Zinn-Knetlegierungen wird, wie bereits erwähnt, üblicherweise etwas Phosphor zugegeben, der die Kristallisations- und Umwandlungsvorgänge beeinflusst. In Gebrauch sind ferner Knetlegierungen, die außer Zinn noch Zink enthalten. Der Zinngehalt der Schweißzusätze und der Hartlote (> 8,5% Sn) aus Kupfer-Zinn-Legierungen liegt weit über den der Knetlegierungen (\rightarrow 3.7).

1.6 Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in den Europäischen Normen

Die Europäischen Normen sind Produktnormen, in denen sowohl die chemische Zusammensetzung als auch die mechanischen Kennwerte geregelt sind. Bänder sind genormt in DIN EN 1652 und 1654, Stangen in DIN EN 12163 und DIN EN 12164, Drähte in DIN EN 12166

Tabelle 1: Werkstoffzusammensetzung von Kupfer-Zinn-Legierungen aus DIN V 17900 [4]

Werkstoffbezeichnung		Zusammensetzung in % (Massenanteile)										Dichte ¹⁾
		Element	Cu	Fe	Ni	P	Pb	Sn	Te	Zn	Sonstige insgesamt	ungefähr
CuSn4	CW450K	min.	Rest	–	–	0,01	–	3,5	–	–	–	8,9
		max.	–	0,1	0,2	0,4	0,02	4,5	–	0,2	0,2	
CuSn5	CW451K	min.	Rest	–	–	0,01	–	4,5	–	–	–	8,9
		max.	–	0,1	0,2	0,4	0,02	5,5	–	0,2	0,2	
CuSn6	CW452K	min.	Rest	–	–	0,01	–	5,5	–	–	–	8,8
		max.	–	0,1	0,2	0,4	0,02	7,0	–	0,2	0,2	
CuSn8	CW453K	min.	Rest	–	–	0,01	–	7,5	–	–	–	8,8
		max.	–	0,1	0,2	0,4	0,02	8,5	–	0,2	0,2	
CuSn3Zn9	CW454K	min.	Rest	–	–	–	–	1,5	–	7,5	–	8,5
		max.	–	0,1	0,2	0,2	0,1	3,5	–	10,0	0,2	
CuSn4Pb2P	CW455K	min.	Rest	–	–	0,2	1,5	3,5	–	–	–	8,9
		max.	–	0,1	0,2	0,4	2,5	4,5	–	0,3	0,2	
CuSn4Pb4Zn4	CW456K	min.	Rest	–	–	0,01	3,5	3,5	–	3,5	–	8,9
		max.	–	0,1	0,2	0,4	4,5	4,5	0,2	4,5	0,2	
CuSn4Te1P	CW457K	min.	Rest	–	–	0,1	–	4,0	0,5	–	–	8,9
		max.	–	0,1	0,2	0,4	–	5,0	1,0	0,3	0,2	
CuSn5Pb1	CW458K	min.	Rest	–	–	0,01	0,5	3,5	–	–	–	8,8
		max.	–	0,1	0,2	0,4	1,5	5,5	–	0,3	0,2	
CuSn8P	CW459K	min.	Rest	–	–	0,2	–	7,5	–	–	–	8,8
		max.	–	0,1	0,3	0,4	0,05	8,5	–	0,3	0,2	
CuSn8PbP	CW460K	min.	Rest	–	–	0,2	0,1	7,5	–	–	–	8,8
		max.	–	0,1	0,3	0,4	0,5	9,0	–	0,3	0,2	

¹⁾ Nur zur Information

und Profile in DIN EN 12167. Zur Vereinfachung enthält DIN V 17900 eine Zusammenfassung aller in DIN EN genormten Werkstoffe. Auf die Tabellen in DIN V 17900 ist hier zurückgegriffen.

Neben dem Werkstoffkurzzeichen z. B. CuSn6 – der Werkstoff enthält im Mittel 6 % Zinn und 94 % Kupfer – wird in der Norm auch eine Werkstoff-Nummer vergeben z. B. CW452K. (siehe Tabelle 1).

Tabelle 2 zeigt, in welchen Halbzeugnormen diese Werkstoffe enthalten sind.

Tabelle 2: Halbzeugnormen zu Werkstoffen. Auszug aus DIN V 17900 [4]

Werkstoffbezeichnung		Produktformen und verfügbare Werkstoffe																																															
		Walzflacherzeugnisse						Rohre					Stangen, Profile, Drähte					Schmiedevormaterial und Schmiedestücke																															
Kurzzeichen	Nummer	DIN EN 1172	DIN EN 1652	DIN EN 1653	DIN EN 1654	DIN EN 1758	prEN 13148	WI: 00133106*)	WI: 00133022*)	DIN EN 1057	prEN 12449	prEN 12450	prEN 12451	prEN 12452	prEN 12735-1	prEN 12735-2	prEN 13348	prEN 13349	WI: 00133023*)	DIN EN 1977	DIN EN 12163	DIN EN 12164	DIN EN 12166	DIN EN 12167	DIN EN 12168	WI: 00133024*)	WI: 00133025*)	WI: 00133056*)	DIN EN 12165	prEN 12420	WI: 00133049*)																		
Kupfer-Zinn-Legierungen																																																	
CuSn4	CW450K	X	X	X	X																	X																											
CuSn5	CW451K	X	X	X	X																X	X																											
CuSn6	CW452K	X	X	X	X				X												X	X	X																										
CuSn8	CW453K	X	X	X	X				X												X	X	X																										
CuSn3Zn9	CW454K	X	X	X	X																																												
CuSn4Pb2P	CW455K									X												X																											
CuSn4Pb4Zn4	CW456K																					X																											
CuSn4Te1P	CW457K																					X																											
CuSn5Pb1	CW458K																					X																											
CuSn8P	CW459K									X												X																											
CuSn8PbP	CW460K									X																																							

Durch Kaltumformung werden die Knetlegierungen verfestigt (→ 3.4). Bestimmte Abstufungen des Verfestigungsgrades unter Einbeziehung des nicht verfestigten Zustandes werden in den **Halbzeug-Normen** dadurch gekennzeichnet, dass man dem Legierungskurzzeichen ein **R** mit der Zahl der Mindestzugfestigkeit der einzelnen Stufen dreistellig als Wert der Zugfestigkeit in MPa* anhängt, z. B. CuSn6 R560 mit etwa 6 % Sn und 94 % Cu sowie einer Mindestzugfestigkeit von 560 MPa. Es kann bei Bestellungen auch anstelle der Mindestzugfestigkeit die Härte des Werkstoffes vorgeschrieben werden. Der Werkstoffbezeichnung wird in diesem Fall eine **H-Zahl** angefügt. So besitzt z. B. ein CuSn6H200 eine Vickershärte von mind. 200. Bei Anforderungen an die Mindeststreckgrenze $R_{p0,2}$ kann nach **Y** bestellt werden. Die früher üblichen Bezeichnungen weich, halbhart, hart usw. geben den Werkstoffzustand nicht eindeutig wieder und sollten deshalb auch für Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nicht mehr verwendet werden. Für Bänder im angelassenen Zustand ist der Buchstabe **B** mit dem Wert der Mindestfederbiegegrenze zugeordnet, CuSn6B370 mit einer Federbiegegrenze von mindestens 370 MPa im angelassenen Zustand. Runde **Federdrähte** aus **CuSn6** und **CuSn8** sind in DIN EN 12166 genormt. Hier wird nur das Kurzzeichen R mit einer nachfolgenden Zahl, die die Zugfestigkeit in MPa für verschiedene Durchmesserbereiche angibt, verwendet. CuSn6 und CuSn8 werden für Federn aller Art verwendet, besonders bei Gefahr von Spannungsrissskorrosion.

*1 MPa = 1N/mm²

Außerdem finden sie für stromführende Federn nach DIN 43 801, Teil 1, bevorzugte Verwendung. Die **DIN ISO 4382** (Werkstoffe für **Gleitlager**) enthält im Teil 2 (Kupfer-Knetlegierungen für Massivgleitlager) mit **CuSn8P** eine Legierung, in der der Phosphorgehalt von 0,1 bis 0,4 % im Kurzzeichen durch ein angehängtes **P** Berücksichtigung findet. **DIN 1733**, Teil 1 (**Schweißzusätze**) (→ Tab. 13) führt mit **SG-CuSn**, **SG-CuSn6** und **SG-CuSn12** drei Kupfer-Zinn-Legierungen, von denen SG-CuSn im Allgemeinen nur zum Schweißen von Kupfer eingesetzt wird. Die beiden letztgenannten Legierungen sind Schweißzusätze für Grundwerkstoffe aus Kupfer-Zinn-Legierungen. Außerdem sind in dieser Norm zwei weitere Schweißzusätze (**EL-CuSn7** und **EL-CuSn13**) zum Schweißen von verschiedenen Kupferlegierungen enthalten. DIN EN 1044 (**Hartlote**, Kupferbasislote) weist zum Hartlöten von Eisen- und Nickelwerkstoffen die Lote **L-CuSn6** und **L-CuSn12** aus.

In **DIN 283**, Teil 18 (Mechanische **Verbindungselemente**), ist mit **CU4** ein **Schraubenwerkstoff** genormt, der CuSn6 nach DIN EN 12163 entspricht. Außer den in DIN EN genormten Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind noch einige Werkstoffe zu erwähnen, die ebenfalls angewendet werden, z. B. hochzinnhaltige Bronzen, sog. Hyperzinn-Bronzen, die auf dem Wege des Sprühkompaktierens hergestellt werden und aufgrund Ihrer ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften eine zunehmende Rolle in industriellen Anwendungen spielen.

1.7 Legierungsvergleich zwischen Europa, USA und Japan

In Tab. 3 sind die in DIN EN genormten Kupfer-Zinn-Knetlegierungen entsprechenden Normbezeichnungen in den USA und Japan gegenübergestellt. Die jeweiligen Legierungszusammensetzungen sind nicht in allen Fällen genau gleich, sondern bisweilen nur ähnlich.

Tabelle 3: Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nach DIN EN im Vergleich mit USA und Japan

DIN EN-Kurzzeichen	DIN EN-Nummer	UNS (USA)	JIS (Japan)
CuSn4	CW450K	C51100	C5101*
CuSn5	CW451K	C51000	C5101*
CuSn6	CW452K	C51900	C5191
CuSn8	CW453K	C52100	C5212
CuSn3Zn9	CW454K	C42500	-
CuSn4Pb2P	CW455K	-	-
CuSn4Pb4Zn4	CW456K	C54400	C5441
CuSn4Te1P	CW457K	-	-
CuSn5Pb1	CW458K	C53400	C5341
CuSn8P	CW459K	C52100	C5210
CuSn8PbP	CW460K	-	-

Beim Vergleich sind die teilweise unterschiedlichen Legierungsob- und -untergrenzen zu berücksichtigen

* JIS 3110 H deckt aufgrund der großen Toleranzbereiche mehrere Legierungen ab.

2. Eigenschaften der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen

Die Eigenschaften der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen werden vornehmlich vom Zinngehalt und erst in zweiter Linie vom Gehalt der weiteren Legierungselemente bestimmt. Sie sind den mannigfaltigsten Verarbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten anpassbar. Hieraus leiten sich große Chancen für den industriellen Einsatz ab. Besonders vorteilhaft für die Kupfer-Zinn-Knetlegierungen ist die Verknüpfung zwischen guter Dauerschwingfestigkeit und hoher Korrosionsbeständigkeit.

2.1 Physikalische Eigenschaften

Einige wichtige physikalische Eigenschaften der genormten Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind in Tab. 4 angegeben. Die lachsrote **Farbe** des Kupfers ändert sich mit steigendem Zinngehalt über braunrot und gelbrot bis zu rötlich-gelben und gelben Tönen, den typischen Bronzefarben. Die **Dichte** der binären Legierungen wird durch den Zinngehalt nur wenig beeinflusst. Das Gleiche gilt auch für Zink-Zusätze. Die in Kupfer-Zinn-Knetlegierungen üblichen Phosphorgehalte von höchstens 0,4 % bewirken ebenfalls keine Änderung der Dichte. Den Einfluss des Zinngehaltes auf die **Dämpfung** zeigt Bild 5. Wegen der starken Streuung der Messwerte hat die Darstellung nur orientierenden Charakter.

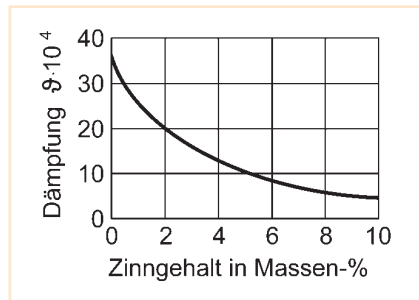


Bild 5: Dämpfung der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt. (DKI 3436) [3]

2.1.1 Elektrische Eigenschaften

Der Einfluss des Zinngehaltes auf die **elektrische Leitfähigkeit** ist aus Bild 6 am Beispiel von Kupfer-Zinn-Legierungen mit 0,05 % P bei 20 und 200 °C ersichtlich. Die Kurve der Kupfer-Zinn-Legierung mit 0,40 % P bei 20 °C im gleichen Bild zeigt, dass **Phosphor** die elektrische Leitfähigkeit stark vermindert. **Zink** setzt die elektrische Leitfähigkeit ebenfalls, jedoch nicht so stark wie Phosphor, herab. Der mittlere **Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes** der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen liegt zwischen 0,0007 und 0,0008 K⁻¹.

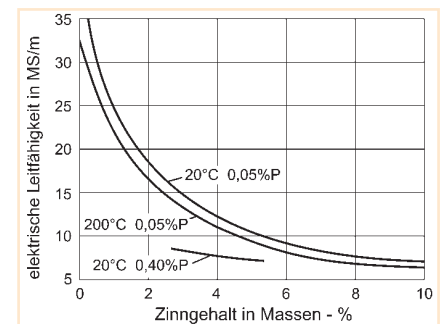


Bild 6: Elektrische Leitfähigkeit binärer Kupfer-Zinn-Legierungen mit verschiedenen Phosphorgehalten. (DKI 2548) [3]

2.1.2 Thermische Eigenschaften

Die **Wärmeleitfähigkeit** in Abhängigkeit vom Zinngehalt ist für 20 und 200 °C in Bild 7 dargestellt. Während die Wärmeleitfähigkeit des reinen Kupfers nahezu unabhängig ist von der Temperatur, steigt sie bei den Kupfer-Zinn-Knetlegierungen – wie bei anderen Legierungen auch – mit der Temperatur an [3]. Der **Längenausdehnungskoeffizient** steigt mit dem Zinngehalt etwas an (→ Tab. 4). Die **Schmelzwärmen** von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen liegen bei etwa 184–195 J/g. Diese Legierungen haben eine **spezifische Wärmekapazität** von ca. 0,377 J/(g·K).

Tabelle 4: Kupfer-Zinn-Knetlegierungen, physikalische Eigenschaften (Richtwerte)

DIN EN-Kurzzeichen	Elastizitätsmodul GPa	Dichte g/cm ³	Schmelzbereich °C	El. Leitfähigkeit MS/m*	Temp. Koeff. des el. Widerstandes K ⁻¹	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Längenausdehnungskoeffizient (20–200 °C) 16 ⁻⁶ /K	spezifische Wärmekapazität J/(g·K)	Permeabilität μ_r bei H=80A/cm
CuSn4	110	8,9	950–1070	11,5	0,001	84	18,2	0,377	<1,001
CuSn5	115	8,9	930–1060	10	0,001	82	18,2	0,377	<1,001
CuSn6	115	8,8	910–1040	9	0,001	75	18,5	0,377	<1,001
CuSn8	115	8,8	875–1025	7,5	0,001	62	18,5	0,377	<1,001
CuSn3Zn9	120	8,8	1010–1032	12	–	119,4	18,4	0,377	–
CuSn4Pb4Zn4	115	8,9	930–1000	11,1	–	86,5	17,3	0,377	–
CuSn5Pb1	115	8,8	954–1049	8,7	–	69,28	17,1	–	–

* 58 MS/m entspricht 100 % IACS

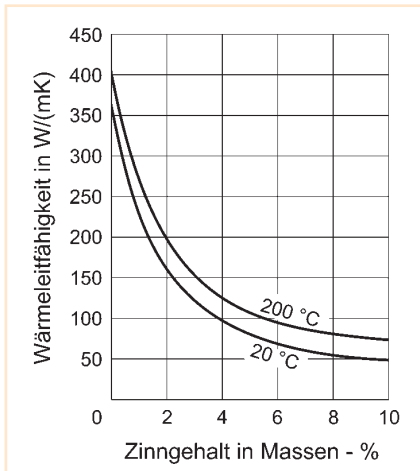


Bild 7: Wärmeleitfähigkeit von binären Kupfer-Zinn-Legierungen bei 20° und 200°C in Abhängigkeit vom Zinngehalt. (DKI 2583) [3]

2.1.3 Magnetische Eigenschaften

Die Suszeptibilität der Kupfer-Zinn-Legierungen liegt in der Größenordnung von $-0,1 \cdot 10^{-6}$ (bei $H=80$ A/cm). Sie ist in Bild 8 in Abhängigkeit vom Zinngehalt dargestellt. Eisenfreie Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind schwach diamagnetisch. Mit zunehmendem Eisengehalt werden sie paramagnetisch. Bei höheren Eisengehalten (ab etwa 0,1% Fe) kann sich das Eisen ausscheiden und der Werkstoff wird ferromagnetisch. Dieser „Ferromagnetismus“ lässt sich durch Homogenisieren und Abschrecken nicht mehr herabsetzen.

In Kupfer-Zinn-Knetlegierungen mit weiteren Legierungselementen, die mit Eisen Verbindungen eingehen, scheidet der abgebundene Eisengehalt ebenfalls als ferromagnetischer Anteil aus. Das gilt z. B. für Phosphor und Zink.

2.2 Mechanische Eigenschaften

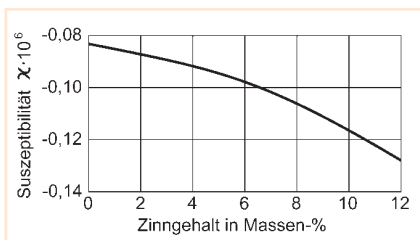


Bild 8: Suszeptibilität von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt. (DKI 3437) [3]

Die handelsüblichen Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind nicht aushärtbar. Eine Steigerung von Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Härte ist deshalb nur durch **Kaltumformung** möglich. Die Festigkeiten von Bändern und Blechen sind in DIN EN 1652 und 1654, die von Drähten in DIN EN 12166 genormt.

2.2.1 Festigkeiten bei Raumtemperatur

Aus Tab. 5 (Bleche, Bänder und Drähte) ist zu erkennen, dass bei den binären Kupfer-Zinn-Knetlegierungen die Festigkeitswerte allgemein mit dem Zinngehalt ansteigen.

In den Tabellen sind die Mindestfestigkeiten nach Norm angegeben. Auf Grund der unterschiedlichen Fertigungsverfahren können bei Drähten höhere Festigkeiten erzielt werden.

In Bild 9 sind die mechanischen Eigenschaften von geglühten und abgewalzten (50%) Blechen aus Kupfer-

Zinn-Knetlegierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt aufgetragen.

Die **Zugfestigkeit**, die **0,2%-Dehngrenze** und die Härte nehmen mit zunehmendem Zinngehalt zu. Bei der Bruchdehnung ist ein Anstieg erst ab etwa 3% Sn zu sehen. Der dem Bild 9 zu entnehmende Einfluss der **Kaltumformung** auf die mechanischen Eigenschaften, wird noch einmal in Bild 10 am Beispiel der Legierung CuSn8 dargestellt. Während Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Brinellhärte mit zunehmendem Kaltumformungsgrad ansteigen, nimmt die Bruchdehnung ab. **Phosphorgehalte** erhöht die Verfestigungsfähigkeit der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen. Dies zeigt Bild 11 am Beispiel der Legierung CuSn4.

Der **Elastizitätsmodul** steigt mit zunehmendem Zinngehalt zunächst an, erreicht ein Maximum bei ca. 1,5% Sn (Bild 12) und fällt bei weiter ansteigenden Zinngehalten wieder ab. Die E-Module, der in DIN EN genormten

Tabelle 5: Kupfer-Zinn-Knetlegierungen, Mechanische Eigenschaften

DIN EN-Kurzzeichen	Zugfestigkeit Rm (MPa)	0,2 % Dehngrenze R _{p0,2} (MPa)	Bruchdehnung A (%)	Härte HV
Bänder und Bleche nach DIN EN 1652				
CuSn4	530-620	500-620	3-15	170-200
CuSn5	570-660	520-640	3-16	175-205
CuSn6	630-720	580-700	3-17	195-225
CuSn8	680-770	620-740	3-18	205-235
CuSn3Zn9	570-660	515-635	3-19	175-205
Stangen nach DIN EN 12164				
CuSn4Pb4Zn4	450-720	350-680	5-10	150-210
CuSn5Pb1	450-720	350-680	5-10	150-210
Drähte nach DIN EN 12166				
CuSn4	360-930	140-920	6-55	75-230
CuSn5	360-930	140-920	6-55	75-230
CuSn6	380-980	150-960	5-65	80-250
CuSn8	390-1000	170-1000	6-65	85-270

(Richtwerte)

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen, sind in Tab. 4 angegeben. Vom Kaltwalzgrad ist der E-Modul verhältnismäßig unabhängig.
Die Kenntnis der **Dauerschwingfestigkeit** ist insbesondere zur Auslegung von Federn von entscheidender Bedeutung. In Bild 13 ist die **Biege-**

wechselfestigkeit in Abhängigkeit vom Zinngehalt dargestellt. Sie nimmt mit dem Zinngehalt bis ca. 5 % Sn und mit dem Kaltumformungsgrad bis 40 % zu. Kaltumformungen über 40 % führen zu keiner wesentlichen Erhöhung der Biege-wechselfestigkeit.

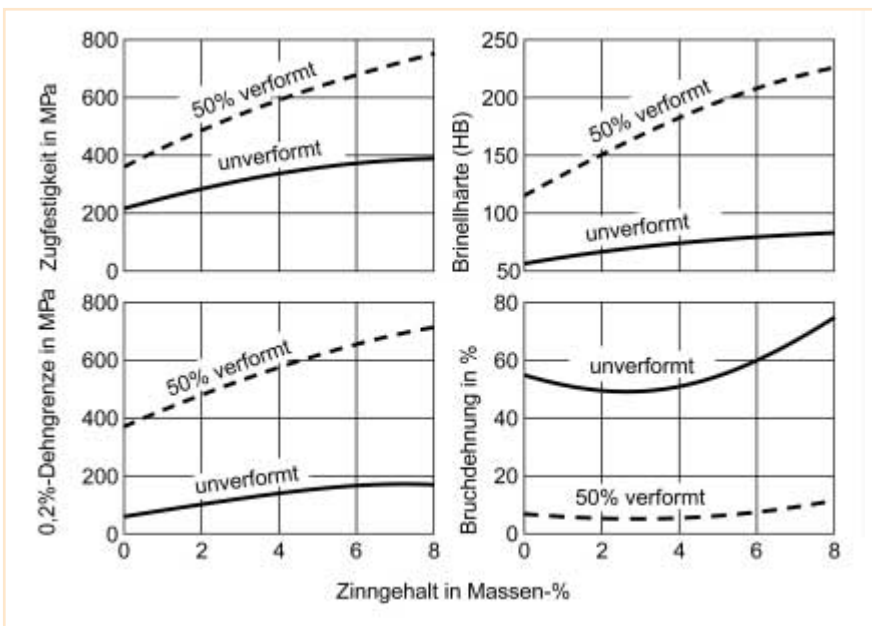


Bild 9: Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt. (DKI 1557) [3]

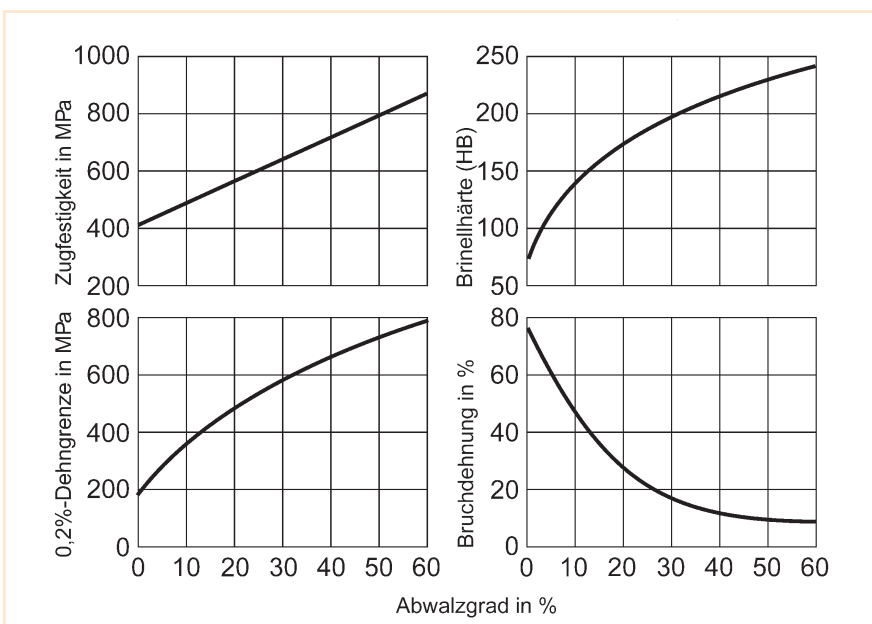


Bild 10: Verfestigung von CuSn8 durch Kaltwalzen. (DKI 1555) [3]

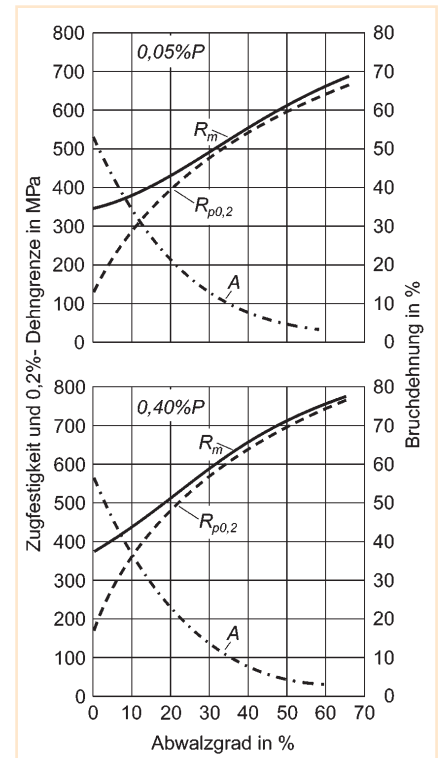


Bild 11: Einfluss des Phosphorgehaltes auf die mechanischen Eigenschaften einer Kupfer-Zinn-Knetlegierung mit 4,5 % Sn (Ausgangsdicke des Bandes 1 mm, Ausgangskorngröße 0,035 mm). (DKI 1720) [3]

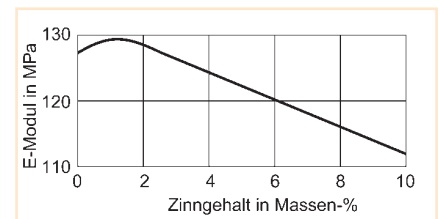


Bild 12: Elastizitätsmodul von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt. (DKI 1558) [3]

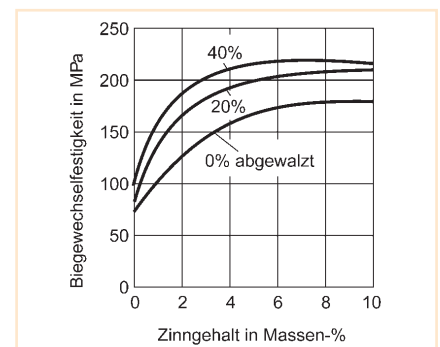


Bild 13: Biegefestigkeit bei 10^8 Lastspielen ... (DKI 2535) [3]

Die **Kerbschlagzähigkeit** der Kupfer-Zinn-Legierungen steigt mit dem Zinngehalt an und liegt bei 5 % Sn bei etwa 97 Nm/cm^2 [5]. Eine weitere Steigerung des Zinngehaltes über 5 % hat nur einen geringen Einfluss. Da es sich bei CuSn-Bronzen um Metalle mit kubisch flächenzentriertem Gitter handelt, ist die Prüfung der Kerbschlagzähigkeit über die Temperatur ohne Relevanz.

2.2.2 Festigkeiten bei erhöhten Temperaturen

In Bild 14 ist die Abhängigkeit mechanischen Eigenschaften von CuSn8 (weichgeglühter Zustand) von Raumtemperatur bis 800°C angegeben. Die

0,001 % in je 1000 Stunden in Abhängigkeit von der Temperatur angegeben.

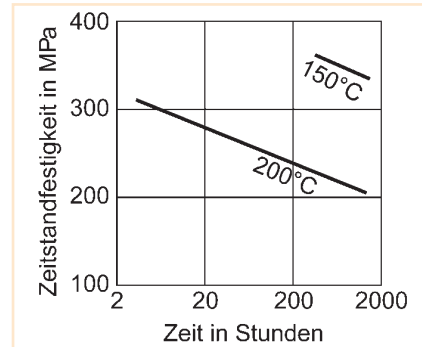


Bild 15: Zeitstandverhalten von geglähter CuSn6 bei 150 und 200°C . (DKI 1561) [3]

Die Festigkeitseigenschaften der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen mit einer bestimmten Kaltverformung verschlechtern sich mit zunehmender Einsatztemperatur sehr stark.

2.2.3 Festigkeiten bei tiefen Temperaturen

Zugfestigkeit und 0,2 %-Dehngrenze steigen mit abnehmenden Temperaturen merklich an. Die Bruchdehnung steigt bis -150°C leicht an, und fällt dann bei weiter abnehmenden Temperaturen etwas ab, bei -250°C liegt sie jedoch noch deutlich über dem Ausgangswert bei Raumtemperatur. Dies wird in Bild 17 am Beispiel der Kupfer-Zinn-Knetlegierung CuSn8 gezeigt. Demnach haben die Kupfer-

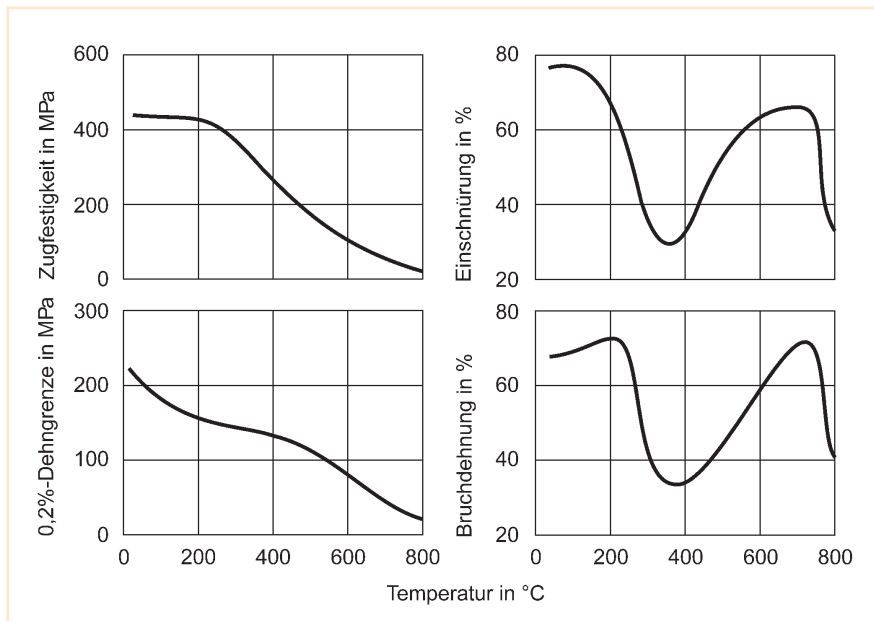


Bild 14: Zugfestigkeit, 0,2 %-Dehngrenze, Bruchdehnung und Brucheinschnürung von geglähter CuSn8 zwischen Raumtemperatur und 800°C . (DKI 1559) [3]

Kurvenverläufe für Bruchdehnung und Einschnürung zeigen bei mittleren Temperaturen einen Sprödigkeitsbereich, der z. B. bei der Warmumformung zu beachten ist.

Die **Zeitstandfestigkeit** von CuSn6 ist in Bild 15 aufgetragen. Nach 1000 h führt bei 150°C eine Belastung von ca. 340 MPa und bei 200°C eine von ca. 205 MPa zum Bruch des Werkstoffs. In Bild 16 sind die für den Konstrukteur wichtigen Kriechgeschwindigkeitsgrenzen für eine Dehnungszunahme von 0,01 % bzw.

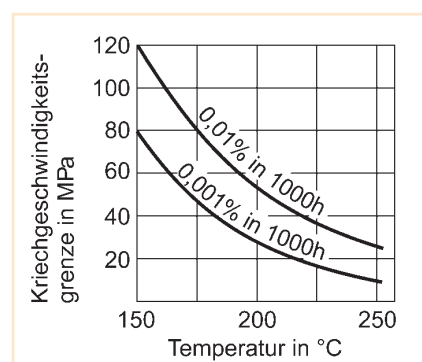


Bild 16: Kriechgeschwindigkeitsgrenzen von geglähter CuSn6 in Abhängigkeit von der Temperatur. (DKI 1562) [3]

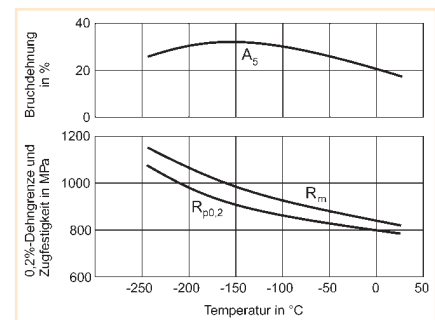


Bild 17: Zugfestigkeit, 0,2 %-Dehngrenze und Bruchdehnung von harter CuSn8 zwischen Raumtemperatur und -250°C . (DKI 1560) [3]

Zinn-Knetlegierungen ein ausgezeichnetes Tieftemperaturverhalten. Da die Werkstoffe aus diesen Legierungen bei tiefen Temperaturen nicht verspröden, können sie auch in der **Tieftemperaturtechnik** eingesetzt werden.

2.3 Federeigenschaften

Das hohe Kaltverfestigungsvermögen ermöglicht die breite Anwendung von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen für federnde Konstruktionselemente. Eine Verbesserung der Federeigenschaften bewirkt der Härtungseffekt des Phosphors. Von den Kupfer-Zinn-Legierungen werden in Deutschland als Federbänder (DIN EN 1654) neben CuSn4 hauptsächlich CuSn6 und CuSn8 verwendet (Tab. 6). Die beiden letztgenannten Legierungen finden außerdem als Federdrähte (DIN EN 12166)

Tabelle 6: Federbänder aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nach DIN EN 1654 technologische Eigenschaften [6]

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	HV nicht angelassen	Feder-Biegegrenze angelassen FB (MPa)	Elastizitätsmodul E (GPa)
CuSn6	CW452K	160-190	min. 350	115
		180-210	min. 370	
CuSn8	CW453K	190-220	min. 410	115

Tabelle 7: Drähte aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nach DIN EN 12166 technologische Eigenschaften [7]

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	HV	Zugfestigkeit (MPa) Zustand „federhart“	Elastizitätsmodul E (GPa)
CuSn6	CW452K	245	900-980	115
CuSn8	CW453K	265	900-1000	115

Tabelle 8: Eigenschaften des Gleitlagerwerkstoffes CuSn8P nach DIN EN 12449

Chemische Zusammensetzung (Massenanteile in %)		Cu Rest Sn 7,5 – 8,5 % P 0,2 – 0,4 %
DIN EN-Kurzzeichen/Werkstoff-Nr.		CW459K
Brinellhärte HB2,5/62,5		80 – 160
Zugfestigkeit R _m	MPa	400 – 580
Dehnung A	%	55 – 10
0,2%-Dehngrenze R _{p0,2}	MPa	200 – 480
Elastizitätsmodul E	GPa	115
Längenausdehnungskoeff. α	10 ⁻⁶ /K	17
Wärmeleitfähigkeit λ bei 20° C	W/m*K	59
Dichte ρ	g/cm ³	8,8

Verwendung (Tab. 7). Kennzeichnend für diese Federwerkstoffe sind ihre gut definierbaren Federbiegegrenzen, die geringe Justierarbeiten und hohe Konstanz der Federeigenschaften bei mittlerer Anwendungstemperatur gewährleisten.

Federbänder aus CuSn6 und CuSn8 sind in DIN EN 1654 in jeweils drei Qualitäten – im nicht angelassenen

Zustand – genormt. Während die Federn im unteren Härtebereich (HV160 bzw. HV170) eine größere Biegezahl aufweisen und vorwiegend in der *Schwachstromtechnik* eingesetzt werden, finden Federn im oberen Härtebereich (HV180 bzw. HV190) mit der niedrigen Biegezahl hauptsächlich für hochbeanspruchte Teile Verwendung.

2.4 Gleiteigenschaften

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen kommen auch im Bereich verschleißfester, mechanisch hochbeanspruchbarer Lagerwerkstoffe zum Einsatz. Für Gleitlagerzwecke hat sich CuSn8P nach DIN ISO 4382 T.2 hervorragend bewährt (Tab. 8). Obwohl diese Legierung nur aus α-Mischkristall besteht, besitzt sie gute Gleiteigenschaften. Es wird angenommen, dass die durch die Umformung verursachte Gleitlinienbildung in den Kristallkörnern (Bild 18) eine Rolle spielt, weil diese die Ölbenetzbarkeit steigert. Der Phosphorgehalt der Legierung (max. 0,4 %) scheint die Gleiteigenschaften ebenfalls günstig zu beeinflussen. CuSn8P besitzt als Gleitlagerwerkstoff (Bild 19) außer einer hervorragenden Gleitfähigkeit eine hohe Verschleiß- und Warmfestigkeit.

2.5 Korrosionsbeständigkeit

Kupfer-Zinn-Legierungen gehören zusammen mit den Kupfer-Aluminium- und Kupfer-Nickel-Legierungen zu den korrosionsbeständigsten Kupferlegierungen. Tab. 9 enthält einige vergleichende Angaben über das Verhalten der Kupfer-Zinn-Legierungen gegenüber verschiedenen Agenzien. Die Angaben sind nur bedingt gültig, weil Verunreinigungen der angreifenden Stoffe, ungünstige Konzentrationen, Temperatur, Belüftung, gleichzeitige Verwendung verschiedener Legierungen, Löt- und Schweißnähte usw. das Verhalten beeinflussen können. Hervorzuheben ist die ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit in wässrigen, schwach sauren bis schwach alkalischen Medien. Bei Anwendungen in der *Getränke- und Nahrungsmittelindustrie* können durch Kupferionen Verfärbungen oder geschmackliche Beeinflussungen auftreten. Muss dies vermieden werden, empfiehlt sich eine Verzinnung. Kupfer-Zinn-Legierungen sind besonders beständig gegen Spannungsrisskorrosion. Es empfiehlt sich, vor dem Gebrauch Korrosionsuntersuchungen durchzuführen.

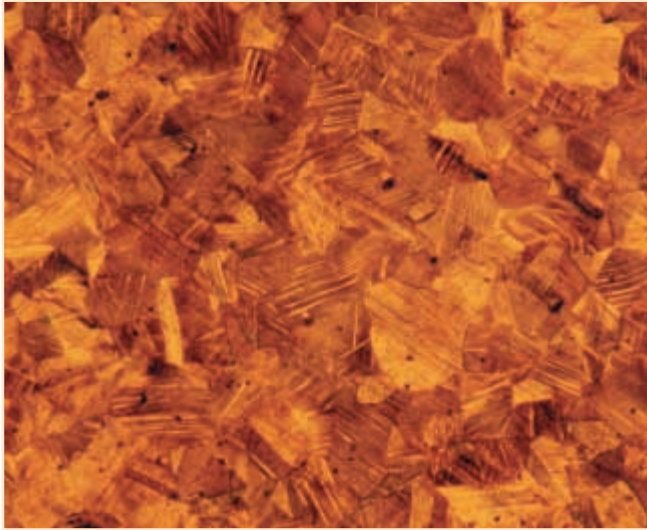


Bild 18: Gefüge von CuSn8P nach mehrmaligem Kaltziehen und Zwischenglühungen (feinkörniges Gefüge mit Gleitlinien). (DKI 6055)



Bild 19: Gedrehte Gleitlagerbuchsen aus CuSn8P-Rohr gefertigt. (DKI 6525)

Tabelle 9: Korrosionsverhalten der zinnhaltigen Kupferlegierungen gegenüber verschiedenen Agenzien [9]

Aceton	geeignet	Gelatine	geeignet ¹⁾	Phosphorsäure	geeignet
Alkohol	geeignet ²⁾	Gerbsäure	geeignet	Pikrinsäure	ungeeignet
Aluminiumchlorid	ungeeignet	Getränke mit Kohlensäure	geeignet ¹⁾	Propan	geeignet
Aluminiumsulfat	bedingt geeignet	Glukose	geeignet	Quecksilber	ungeeignet
Ameisensäure	geeignet	Glycerin	geeignet	Quecksilbersalze	ungeeignet
Ammoniak trocken	geeignet	Heizöl	geeignet	Rohrzuckersyrup	geeignet*)
Ammoniak feucht	ungeeignet	Kaliumchlorid	geeignet	Salpetersäure	ungeeignet
Ammoniumchlorid	ungeeignet	Kaliumcyanid	ungeeignet	Salzsäure	ungeeignet
Ammoniumhydroxid	ungeeignet	Kaliumhydroxid	ungeeignet	Schwefel fest	ungeeignet
Ammoniumnitrat	ungeeignet	Kaliumsulfat	geeignet	Schwefelchlorid feucht	ungeeignet
Ammoniumsulfat	bedingt geeignet	Kohlendioxid trocken	geeignet	Schwefeldioxid trocken	geeignet
Anilin	ungeeignet	Kohlendioxid feucht	bedingt geeignet ¹⁾ ,	Schwefeldioxid feucht	geeignet
Asphalt	geeignet		verzinkt geeignet	Schwefelsäure unter 80 %	bedingt geeignet
Äther	geeignet	Kreosot	bedingt geeignet	Schwefelsäure über 80 %	ungeeignet, hochbleihaltige Legierungen bedingt geeignet
Äthylenglykol	geeignet	Kupfersulfat	geeignet	Schwefeltrioxid trocken	geeignet
Azetylen	ungeeignet ²⁾	Lack	geeignet	Schwefelwasserstoff trocken	ungeeignet
Bariumchlorid	bedingt geeignet	Lackverdünnung	geeignet	Schwefelwasserstoff feucht	ungeeignet
Bariumsulfid	ungeeignet	Leim	geeignet	Seewasser	geeignet
Baumwollsaamenöl	geeignet ¹⁾	Leinöl	geeignet	Seifenlösung	geeignet
Benzin	geeignet	Magnesiumchlorid	geeignet	Stearinsäure	geeignet
Benzol	geeignet	Magnesiumhydroxid	bedingt geeignet	Terpentin	geeignet
Bier	geeignet ¹⁾	Magnesiumsulfat	geeignet	Tetrachlorkohlenstoff trocken	geeignet
Borsäure	geeignet	Melasse	geeignet ¹⁾	Tetrachlorkohlenstoff feucht	bedingt geeignet
Butan	geeignet	Milch	geeignet ¹⁾	Toluol	geeignet
Calciumbisulfid	bedingt geeignet	Milchsäure	geeignet	Trichloräthylen trocken	geeignet
Calciumchlorid	bedingt geeignet	Natriumbikarbonat	geeignet	Trichloräthylen feucht	geeignet
Calciumhydroxid	ungeeignet	Natriumbisulfat	ungeeignet	Wasser, saures Grubenwasser	bedingt geeignet
Calciumhypochlorid	bedingt geeignet	Natriumchlorid	geeignet	Wasser, Trinkwasser	geeignet ¹⁾
Chlor trocken	geeignet	Natriumcyanid	ungeeignet	Wasserstoff	geeignet
Chlor feucht	ungeeignet	Natriumhydroxid	ungeeignet	Wasserstoffperoxid	ungeeignet
Chromsäure	ungeeignet	Natriumhypochlorit	ungeeignet	Weinsäure	geeignet
Eisen(III)-chlorid	ungeeignet	Natriumkarbonat	geeignet	Zinkchlorid	ungeeignet
Eisen(III)-sulfat	ungeeignet	Natriumnitrat	bedingt geeignet	Zinksulfat	geeignet
Eisen(II)-chlorid	ungeeignet	Natriumperoxid	bedingt geeignet	Zitronensäure	geeignet
Eisen(II)-sulfat	ungeeignet	Natriumphosphat	geeignet	Zuckerrübensyrup	geeignet ¹⁾
Erdgas	geeignet	Natriumsilikat	geeignet, bleihaltige Legierungen bedingt geeignet		
Essig	geeignet ¹⁾ , bleihaltige Legierungen bedingt geeignet ²⁾	Natriumsulfat	geeignet, bleihaltige Legierungen bedingt geeignet		
Essigsäure	bedingt geeignet, bleihaltige Legierungen ungeeignet	Natriumsulfid	ungeeignet		
Essigsäureester	geeignet	Natriumthiosulfat	ungeeignet		
Firniss	geeignet	Nickelchlorid	bedingt geeignet		
Fluorkieselsäure	geeignet	Nickelsulfat	bedingt geeignet		
Flußsäure	bedingt geeignet	ölsäure	geeignet, bleihaltige Legierungen bedingt geeignet		
Formaldehyd	geeignet	Oxalsäure	geeignet, bleihaltige Legierungen bedingt geeignet		
Fraon	geeignet				
Furturol	geeignet				

¹⁾ In der Getränke- und Lebensmittelindustrie ist Verzinnung notwendig

²⁾ Wegen der Bildung von Kupferazetylid Explosionsgefahr

3. Herstellung und Verarbeitung

Von besonderer technologischer Bedeutung ist das hohe Kaltverfestigungsvermögen der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen, insbesondere der Legierungen mit Phosphorgehalten bis 0,4 %. Verbindungsarbeiten wie Löten und Schweißen bereiten keine besonderen Schwierigkeiten.

Aus Tab. 2 sind die Halbzeugarten ersichtlich, die aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen hergestellt werden. Tab. 10 gibt allgemeine Hinweise auf die Verarbeitung einiger in Tab. 1 enthaltenen Kupfer-Zinn-Knetlegierungen.

3.1 Schmelzen

Wie bereits erwähnt, neigen die Kupfer-Zinn-Legierungen wegen ihres breiten Erstarrungsintervalls besonders stark zu Seigerungserscheinungen. Die Schmelzföhrung ist bei brennstoffbe-

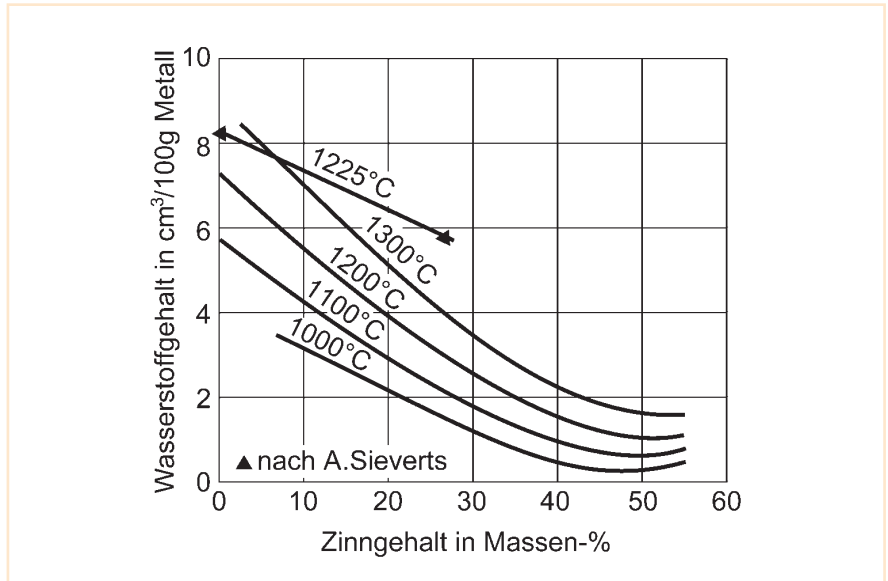


Bild 20: Wasserstofflöslichkeit bei $P_{H_2} = 1013 \text{ hPa}$ in flüssigen Kupfer-Zinn-Legierungen in Abhängigkeit vom Zinngehalt. (DKI 1723) [10]

Tabelle 10: Kupfer-Zinn-Knetlegierungen – Verarbeitungseigenschaften

Kurzzeichen	Umformung			Verbindungsarbeiten							Oberflächenbearbeitung	
	Kalt	Warm	Spanend	Löten		Schweißen					Galvanisieren	Tauchverzinnen
				Weichlöten	Hartlöten	Gas-schweißen	WIG-Schweißen	MIG Schweißen	Widerstands-schweißen	Laser-schweißen		
CuSn4	1	3	4	1	2	2	2	2	2	1	1	1
CuSn5	1	3	4	1	2	2	2	2	2	1	1	1
CuSn6	1	4	4	1	2	2	2	2	2	1	1	1
CuSn8	1	4	4	1	2	2	2	2	2	1	1	1
CuSn3Zn9	1	3	4	1	2	2	2	2	2	1	1	1
CuSn4Pb4Zn4	2	4	1	1	3	4	3	3	3	4	-	-

Hinweise auf die Weiterverarbeitung

1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, 4 = schlecht

heizten Öfen meist noch oxidierend. Dies geschieht z. B. in oxidierenden Schlacken. Das Schmelzen in **Elektroöfen** gewinnt immer mehr an Bedeutung. In diesen Öfen wird unter neutralen oder leicht reduzierenden Bedingungen erschmolzen. Durch eine

nachfolgende Spülung mit Stickstoff oder Argon können gashaltige Schmelzen entgast werden. Die Schmelze wird fast immer mit **Phosphorkupfer** in der Pfanne **desoxidiert**. Ferner ist ein **Entgasen** notwendig, wenn durch die Schmelzbedingungen Gasaufnahme

nicht vermieden werden kann. Bild 20 zeigt die Wasserstofflöslichkeit in Abhängigkeit vom Zinngehalt bei verschiedenen Temperaturen. Wegen der zu vermeidenden Gasaufnahme kommen meist elektrisch beheizte Öfen in Frage.

3.2 Gießen

Infolge ihres großen Erstarrungsintervalls neigen Kupfer-Zinn-Legierungen außerdem zu Warmbrüchen und zur Ausbildung von Feinlunkern. Die Gießtemperaturen liegen jeweils etwa 100°C über der Liquidustemperatur (Tab. 11). Der in den genormten Legierungen übliche Restphosphorgehalt soll eine einwandfreie Desoxidation gewährleisten.

Das Sprühkompaktierverfahren nimmt eine Mittelstellung zwischen konventionellen Gießverfahren und der Pulvermetallurgie ein. Dabei wird ein Schmelzestrahler in einen feinen Tropfennebel zerstäubt und auf einem Substrat abgeschieden. Das Endprodukt stellt einen warmumformfähigen Bolzen mit feinem Korn und homogenem Gefüge dar. Auf diesem Wege lassen sich Bronzen mit Zinngehalten bis 17% herstellen.

der δ -Bestandteil, der sehr spröde ist, aufgelöst wird (\rightarrow Bild 1 und Bild 2). Die Temperaturen der Warmumformung müssen so liegen, dass der Prozess sicher im $(\alpha+\beta)$ -, im β - oder im γ -Gebiet erfolgt. Zu beachten ist weiterhin ein Bereich verminderten Formänderungsvermögens zwischen 200 und 400°C (Warmbrüchigkeit).

3.4 Kaltumformung

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen lassen sich durch die üblichen Verfahren wie Walzen, Ziehen, Bördeln, Biegen, Kannten, Tiefziehen usw. gut kaltumformen. Die hohe Kaltverfestigung dieser Werkstoffe ist der Grund für die verbreitete Verwendung als Werkstoffe für *federnde Konstruktionselemente* (\rightarrow Tab. 6 und 7) und für verschleißfeste Gleitlager (\rightarrow Bild 19).

Die vom Gießen herrührenden Zonenkristalle verschwinden hierbei und man erhält Kristalle einheitlicher Zusammensetzung. Die durch die Seigerung entstandene δ -Phase wird aufgelöst und der Gleichgewichtszustand des Gefüges hergestellt.

Ihre ausgezeichneten Federeigenschaften erhalten die Kupfer-Zinn-Knetlegierungen durch geeignete Kaltumformung und Wärmebehandlung.

3.6 Spanabhebende Bearbeitung

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind schwer spanbar [20]. Eine Ausnahme stellt die bleihaltige Legierung CuSn4Pb4Zn4 dar (Tab. 10). Bei den binären CuSn-Legierungen bilden sich beim Drehen am Drehmeißel, wie z. B. bei Kupfer auch lange **Bandspäne** und sogenannte **Aufbauschneiden**. Durch geeignete Wahl des Vorschubs oder der Schnittgeschwindigkeit können diese verhindert werden. Die *Schnittgeschwindigkeit* beeinflusst die Standzeit des Werkzeugs. Die Schnittgeschwindigkeit kann in vielen Fällen durch den Einsatz von *Kühl- und Schmiermittel* – meistens Emulsionen – gesteigert werden. Bei deren Auswahl ist auf die Werkstoffverträglichkeit zu achten.

Ähnliches Verhalten wie beim Drehen zeigen die Kupfer-Zinn-Knetlegierungen auch beim Hobeln, Bohren und Räumen. An Blechen aus Kupfer-Zinn-Legierungen sind häufig Trennarbeiten mit Schnittwerkzeugen auszuführen. Durch Aufbringen einer dünnen Schicht von Feststoffschmiermitteln, wie Graphit oder Molybdänsulfid, auf den Werkstoff kann die Standzeit solcher Werkzeuge erheblich verbessert werden.

3.7 Verbindungsarbeiten

Schweißen von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen bereitet im Allgemeinen keine größeren Schwierigkeiten, wenn das zu Seigerungen führende große Erstarrungsintervall beachtet wird, die Schweißstelle also nicht überhitzt und vor allem zur Vermeidung von Erstarrungslunkern, Heißrissen und Sprödphasen im Schweißgut nicht schroff abgekühlt wird. Löten ist problemlos durchzuführen (\rightarrow Tab. 10). Diese Legierungen werden auch durch Kleben und mechanische Verfahren verbunden.

Tabelle 11: Gießtemperatur für Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Auswahl aus Tabelle 1).

Kurzzeichen	Gießtemperatur °C
CuSn4	1130 bis 1200
CuSn6	1110 bis 1180
CuSn8	1100 bis 1170
CuSn3Zn9	1130 bis 1200
CuSn4Pb4Zn4	930 bis 1000

3.3 Warmumformung

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen bis etwa 5% Sn lassen sich bei Temperaturen zwischen 700 bis 800°C warmumformen. Bei phosphorhaltigen Legierungen erschwert der niedrighaltige Gefügebestandteil Cu₃P die Warmumformung. Deshalb erfolgt die Umformung vorzugsweise im kalten Zustand. Bei den hochzinnhaltigen Legierungen ist eine Warmumformung durch Schmieden nur unter exakter Einhaltung eng begrenzter Arbeitsbedingungen möglich. Wegen der häufig vorliegenden Seigerungserscheinungen werden diese Werkstoffe zwecks Homogenisierung bei etwa 700°C geglüht und dadurch in einen für die Umformung vorteilhaften Zustand gebracht. Bei der Glühung ist besonders darauf zu achten, dass vor allem

3.5 Wärmebehandlung

Die durch Kaltumformung erzielte Verfestigung der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen kann durch Wärmebehandlungen (Glühungen) teilweise oder völlig abgebaut werden. Je nach Kaltumformungsgrad und Zusammensetzung liegen die **Weichglühtemperaturen** der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen zwischen 475 und 675°C. Gelegentlich ist nach Kaltumformungen ein **Spannungsfreiglühen** erforderlich, das am besten zwischen 200 und 300°C vorgenommen wird. Kupfer-Zinn-Knetlegierungen mit Seigerungserscheinungen (ab 6% Sn mit zunehmendem Zinngehalt steigend) können vor der Kaltumformung durch eine **Homogenisierungsglühung** (bei etwa 700°C) in einen günstigen Ausgangszustand (homogenes Gefüge) gebracht werden.

3.7.1 Schweißen

Zum Schweißen von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind das Schutzgas-schweißverfahren **WIG** und **Widerstandsschweißen** am besten geeignet [11]. Als Schweißzusätze werden SG-CuSn6 oder SG-CuSn12 nach DIN 1733-1 verwendet (Tab. 12). Dünne Bleche bis etwa 2 mm Dicke können ohne Schweißzusatz aneinandergefügt werden. Das **Gasschweißen** hat sich wegen Porenbildung in den Nähten durch Gasaufnahme nicht durchsetzen können. Bei Legierungen mit geringeren Zinngehalten wird für Verbindungsarbeiten nur gelegentlich auch gasgeschweißt. Die Flammeneinstellung ist meistens neutral oder schwach oxidierend. Als Flussmittel werden Borsäure, Natriumtetraborat, Alkalichloride und -fluoride, Alkaliphosphate – fast immer in Form von Gemischen, pulver- oder pastenförmig – verwendet.

Das **Metall-Lichtbogenschweißen** (Lichtbogenhandschweißen) wird für Kupfer-Zinn-Knetlegierungen kaum noch angewendet. Als Zusätze dienen EL-CuSn7 oder EL-CuSn13 nach DIN 1733-1. Geschweißt wird mit Gleichstrom und der Elektrode am Pluspol. Um der Porenbildung in den Schweißnähten entgegenzuwirken, wird der Grundwerkstoff auf etwa 200°C vorgewärmt.

Das **Schweißen** hat sich für Kupfer-Zinn-Knetlegierungen allgemein durchgesetzt. Es wird mit Gleichstrom und der Elektrode am Minuspol geschweißt. Die Stromstärke ist nicht zu hoch einzustellen und der Lichtbogen kurz zu halten. Als Schweißzusatz kommt meist SG-CuSn6 zur Anwendung. Vorwärmen ist wegen der relativ geringen Wärmeleitfähigkeit der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen bei Werkstücken unter 10 mm Dicke nicht notwendig.

MIG-geschweißt wird ebenfalls über-

wiegend mit SG-CuSn6 nach DIN 1733-1 als Schweißzusatz. Um porenarme Schweißnähte zu erhalten, sollten die Phosphorgehalte der Schweißzusätze unter 0,02 %, vorzugsweise bei 0,01 % P liegen. Für CuSn6Zn6 ist wegen der Zinkausdampfung als Folge der hohen Wärmeeinbringung des Lichtbogens das MIG-Schweißen nicht geeignet. Das **Widerstands-Punkt- und Nahtschweißen** von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen wird vornehmlich an Blechen angewendet. Das **Widerstands-Stumpfschweißen** hat besonders für Drähte und dünne Stangen große Bedeutung. Auch für die **neueren Schweißverfahren** wie z. B. das Kaltpress-, Ultraschall-, Reib-, Hochfrequenz-, Diffusions- und das Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen haben die Kupfer-Zinn-Knetlegierungen ihre Schweißbeignung bewiesen.

Tabelle 12: Schweißzusätze aus Kupfer-Zinn-Legierungen nach DIN 1733-1. [12]

Kurzzeichen	Werkstoffnummer	mittlere Zusammensetzung (Massenanteile) %	Eigenschaften (Richtwerte)				Verwendung					
			Dichte ρ g/cm ³	Schmelzbereich °C	Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C λ W/m · K	elek. Leitfähigkeit bei 20 °C κ MS/m	Anwendung für Grundwerkstoff aus	zum Gas-schweißen	zum Lichtbogenhandschweißen	zum WIG-Schweißen	zum MIG-Schweißen	
Schweißstäbe, Schweißdrähte und Drahtelektroden												
SG-CuSn	2.1006	>96Cu; 0,75Sn; 0,3Si; 0,3 Mn	8,9	1020 bis 1050	120 bis 145	15 bis 20	sauerstoffreies Kupfer	geeignet	–	empfohlen	empfohlen	
SG-CuSn6	2.1022	6,5Sn; 0,2P; Rest Cu	8,7	910 bis 1040	75	7 bis 9	Kupfer-Zinn-Legierungen	geeignet	–	empfohlen	empfohlen	
SG-CuSn12	2.1066	12Sn; 0,2P; Rest Cu	8,6	825 bis 990	55	5 bis 6	Kupfer-Zinn-Knet- und Gusslegierungen	geeignet	–	empfohlen	empfohlen	
Schweißgut von Stabelektroden												
EL-CuSn7	2.1025	>89Cu; 7Sn	8,7	910 bis 1040	75	7	Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Blei-Legierungen	–	empfohlen	–	–	
EL-CuSn13	2.1027	>65Cu; 12Sn	8,6	825 bis 990	40 bis 50	3 bis 5	Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Blei-Legierungen mit Sn > 8%	–	empfohlen	–	–	

3.7.2 Löten

Zum **Hartlöten** von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen werden vorzugsweise silberhaltige Hartlote nach DIN EN 1044 (alte Bezeichnungen nach vormaliger DIN 8513 T1-3 nachfolgend in Klammern) eingesetzt [13]. Bei Verwendung der Ag-Cu-Cd-Zn-Hartlote ist die BGV D1 (Unfallverhütungsvorschriften – Vorschriften der Berufsgenossenschaft) zu berücksichtigen. Im Lebensmittelbereich werden cadmiumfreie Silber- oder Ag-Cu-Zn-(Sn)-Sonderhartlote eingesetzt. Für Kapillarlötungen sind auch CP203 (L-CuP6), CP202 (L-CuP7) oder CP201 (L-CuP8) ebenfalls nach DIN EN 1044 geeignet.

Flammlöten, Ofenlöten, Ofenlöten mit Schutzgas, Induktionslöten und Widerstandslöten nach DIN 8505 Teil 3 werden als Lötverfahren angewendet. Die zum Einsatz kommenden Lote müssen jedoch immer mit **Flussmittel** nach DIN EN 1045 (alte Bezeichnungen nach vormaliger DIN 8511 T1 nachfolgend in Klammern) verwendet werden. Dies gilt auch für phosphorhaltige Hartlote. Bei Lötungen bis zu einer Arbeitstemperatur von 800°C benutzt man den Typ FH10 (F-SH2), oberhalb 800°C den Typ FH21 (F-SH2) [14]. Nach dem Löten müssen die Flussmittelreste von den gelöteten Bauteilen sorgfältig entfernt werden.

Ferner werden zum Hartlöten von Blechteilen, insbesondere beim Ofenlöten, in größerem Umfang CU201 (L-CuSn6) -Hartlote häufig als „Lotringe“ verwendet.

Zum **Weichlöten** werden für Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nach DIN V 17900 Weichlote mit 40 bis 60 % Sn sowie Sonderweichlote nach DIN EN 29453 (alte Bezeichnungen nach vormaliger DIN 1707 nachfolgend in Klammern) sowie DIN 1707-100 eingesetzt. Als Flussmittel kommen für allgemeine Lötungen 3.1.1, 3.1.2 und 3.2.1 (F-SW12, F-SW13, F-SW21 und F-SW22), für Feinlötungen 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.2.2 und 2.2.3 (F-SW24 und F-SW25) sowie für Lötungen in der Elektrotechnik und Elektronik 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.2.2, 1.2.3 sowie 2.2.3 (F-SW26, F-SW27, S-SW28, F-SW31, F-SW32, F-SW33 und F-SW34) nach DIN EN 29454-1 (alte Bezeichnungen nach vormaliger DIN 8511 T2 in Klammern) in Frage [15].

Da Weichlötverbindungen mit Zinn-Blei-Loten nur eine sehr geringe Wärmebeständigkeit ohne Festigkeitsbeeinträchtigung aufweisen, verwendet man zunehmend bleifreie Weichlote, wie z. B. S-Sn96Ag4 (L-SnAg5; 221–240°C) und S-Sn97Cu3 (L-SnCu3; 230–250°C), die eine Wärmebeständigkeit von 110°C aufweisen.

Bei Temperaturen über 110°C werden bevorzugt hochbleihaltige Lote, z. B. S-Pb98Ag2 (L-PbAg3; 304–305°C), eingesetzt; diese weisen jedoch keine große Festigkeit auf. In der Regel kann man dann noch Legierungen verwenden, die Cadmium enthalten, wie z. B. L-CdZnAg2 (270–280°C) oder L-CdAg5 (340–395°C; beide Lote nach DIN 1707-100, nur in Deutschland genormt). Bei der Verarbeitung von cadmiumhaltigen Weichloten ist wieder die Arbeitssicherheitsbestimmung BGV D1 zu beachten!

Als Lötverfahren werden Kolbenlöten, Flammlöten, Induktionslöten sowie Ofenlöten entsprechend DIN 8505, Teil 3 bevorzugt angewendet. Voraussetzung für eine einwandfreie Lötverbindung ist eine metallisch reine und fettfreie Oberfläche. Hierzu wird ein geeignetes Weichlotflussmittel verwendet. Das Korrosionsverhalten der Flussmittelrückstände kann sehr unterschiedlich sein und soll von Fall zu Fall geprüft werden (DIN EN 12224-1). Bei den Flussmitteln 1.1.2, 1.1.3, 1.2.2, 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.2.2, 2.2.3, 3.1.1, 3.1.2 und 3.2.1 (F-SW12, F-SW13, F-SW21, F-SW22 und F-SW24 bis F-SW28) sollten die **Rückstände** sofort beseitigt werden. Bei den ausschließlich in der Elektrotechnik und Elektronik eingesetzten Typen 1.1.1, 1.1.3, 1.2.3 sowie 2.2.3 (F-SW31 bis F-SW34) bereiten die an der Lötstelle verbleibenden Rückstände keine Probleme, sollten jedoch bei Feinlötungen entfernt werden.

3.7.2 Kleben

Zum Kleben von Teilen aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind eine Reihe von Klebstoffen auf dem Markt, die je nach Anwendungsfall zum Einsatz kommen. Es sind die vorwiegend **Zweikomponenten-Klebstoffe**, vorzugsweise auf der Basis von Epoxidharzen, aber auch lösungsmittelhaltige Klebstoffe und Schmelzklebstoffe. Die zu verbindenden Flächen müssen vor

dem Kleben durch Entfetten, Schmirgeln oder Sandstrahlen vorbehandelt werden, um eine gute Haftung zu erhalten. In speziellen Fällen ist auch das Aufbringen einer Zwischenschicht, als Haftschiicht vorteilhaft.

Hierzu enthalten DIN 53 281 Blatt 1, VDI/VDE 2251 Blatt5, VDI 3821, VDI 2229 sowie der DKI-Informationsdruck „Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen“ [16] weitere Angaben.

3.7.3 Mechanische Verbindungen

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen werden vielfach durch Nieten oder Schrauben verbunden. Falls die Teile korrosiven Medien ausgesetzt sind, ist die Verwendung artähnlicher Verbindungselemente zu empfehlen, um Kontaktkorrosion auszuschließen.

Zum **Nieten**, z. B. im Apparatebau, kommen als Nietwerkstoffe CuSn4, CuSn6 oder CuNi2Si (aushärtbare Legierung) zur Anwendung.

Schrauben ist das gegebene Verbindungsverfahren, wenn die Verbindungen lösbar sein müssen. Meist wird als Schraubenwerkstoff CU4 (CuSn6) nach DIN EN 28839 verwendet, aber auch CuSn4 und CuSn8 sind in Gebrauch.

3.8 Oberflächenbehandlung

Durch **Strahlen** werden funktionelle und dekorativ wirkende Oberflächenstrukturen bei gleichzeitigem Verfestigen der Oberfläche erzielt. Die Qualität wird durch Strahlmittelwerkstoff, -form und -korngröße bestimmt. Egalisieren der Oberfläche, Mattieren, Seidenglanzpolieren und Verfestigen sind die überwiegenden Effekte, die durch Strahlbearbeitung auf Kupfer-Zinn-Knetlegierungen erzeugt werden.

Das **Schleifen** erfolgt von Hand durch Scheiben, die an Schleifböcken rotieren. Es handelt sich hierbei um transportable Schleifscheiben, die von Handmotoren getrieben werden. Blech wird bevorzugt mit Schleifband im Freihand- und Kontaktverfahren geschliffen. Größere Flächen werden im Band- bzw. Pendelschleifverfahren auf Tischmaschinen bearbeitet, die auch vollautomatisiert sein können.

Mechanisches **Polieren** wird ebenfalls von Hand an Tuchscheiben durchgeführt. Übliche Vorrichtungen sind Polierböcke und Handmaschinen. Massenteile werden auf Polierautomaten bearbeitet. Um eine bessere Polierwirkung der Scheiben zu erreichen 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 Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind geeignet, durch **Trommeln** geschliffen, poliert und geglättet zu werden. Man vermennt das Poliergut mit keramischen oder mineralischen Schleif- oder Polierkörpern, den Chips. Es wird außerdem eine wässrige Behandlungslösung zugegeben, die reinigende, schleifende, polierende, entoxidierende und evtl. auch noch passivierende Agenzien enthält.

Entfettet wurde bisher mit organischen Lösemitteln, bevorzugt den Chlorkohlenwasserstoffen Tri- und Perchloräthylen sowie dem 1,1,1-Trichloräthan. Aus Umweltgründen werden in jüngster Zeit vermehrt auch heiße wässrige Lösungen von Alkalien eingesetzt, wenn in einer Verfahrensfolge nass-in-nass weitergearbeitet, z. B. galvanisiert wird. Das elektrolytische Entfetten ist die letzte reinigende Behandlungsstufe vor dem Galvanisieren.

Beizen dient zum Entfernen von Zunder – wie er z. B. durch Glühen entsteht – sowie von Oxidschichten anderen Ursprungs. Allgemein sind Beizlösungen aus verdünnter Schwefelsäure sowie Beizgemische mit Gehalten an Schwefel- und Salpetersäure eingeführt. Diese Lösungen enthalten außerdem Zusätze zum Inhibieren des Beizangriffs auf die metallische Oberfläche sowie zur Glanzgebung und zum Passivieren. Schwieriger als Kupferoxid lässt sich das hellfarbene Zinnoxid entfernen. Dabei ist ein teilweises Lösen der metallischen Randzone in verdünnter Salpetersäure notwendig. Wegen der beim Anwenden von Salpetersäure aufkommenden Umwelt- und Hygieneprobleme setzt sich das Beizen mit Wasserstoffoxid/Schwefelsäure-Lösungen immer mehr durch [17].

Die beschichtende **Oberflächenveredlung** spielt für Kupfer-Zinn-Knetlegierungen eine besondere Rolle. Beim **Feuerverzinnen** werden Bänder, Drähte oder Teile in eine Zinnschmelze getaucht.

Das **Diffusionsverzinnen** erfolgt durch Tauchen der Teile in SnCl₂-haltige Salzschmelzen bei etwa 400°C (Reaktionstemperatur).

Durch **Flammspritzen** werden Schichten aus Metallen, Legierungen, Hart-, Super- und Sonderlegierungen sowie aus hochschmelzenden Werkstoffen und aus Keramik aufgebracht.

Galvanische Überzüge aus Silber, Gold, Nickel, Chrom, Cadmium oder Zinn-Legierungen lassen sich leicht aufbringen. Im Allgemeinen wird vorher eine Nickelschicht als sogenannte *Diffusionssperre* aufgebracht, die als Träger weiterer Schichten dient. Wegen der hohen Korrosionsbeständigkeit des Trägerwerkstoffes sind dann auch bei nicht absolut poredichten Schichten keine Nachteile zu befürchten.

Als Schutz gegen Anlaufen ist **Lackieren** mit Klarlack üblich. Im Freien bieten Lackschichten auf Acrylharzbasis für Jahre einen zuverlässigen Schutz gegen atmosphärische Einflüsse. Voraussetzung für die gute Haftung des Lackfilms ist eine sachgemäße Vorbehandlung der Metalloberfläche [18].

4. Verwendung von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen zeichnen sich durch gute Festigkeitseigenschaften, häufig noch ausreichende Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität sowie durch hohe Korrosionsbeständigkeit aus. Aufgrund ihrer interessanten Eigenschaften haben diese Legierungen sehr viele Anwendungsgebiete, eine nach Legierungen geordnete Übersicht gibt die Tab. 13.

Bänder aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen werden im technischen Bereich zunehmend eingesetzt. Hochwertige

Federbänder, kaltgewalzt mit engen Maßtoleranzen und mit garantierter Federbiegegrenze, sind das Vormaterial für die Fertigung der federnden Funktionsstelle der **Elektroindustrie** (Bild 21). Hierbei werden von Verarbeitern neben den Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften in vielen Fällen sehr gute Lötbarkeit, geringe **Spannungsrelaxation** auch bei erhöhten Temperaturen sowie Beständigkeit gegen Anlaufen und Korrosion verlangt. Die Kupfer-Zinn-Knetlegierun-

gen CuSn4, CuSn6 und CuSn8 besitzen gute bis sehr gute Federeigenschaften und haben eine ausreichende elektrische und thermische Belastbarkeit. Ein hervorragendes Merkmal ist die gute Biegsamkeit auch bei hoher Festigkeit (Tab. 13). Teile aus diesen Werkstoffen werden in der **lötfreien Anschlussstechnik**, z. B. für Schneid-Klemm-Verbindungen eingesetzt. Stanzteile aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen werden in sehr großen Stückzahlen in hochwertigen Steckverbindern, Reihenklemmen, Stecksockeln für **Elektronikbaugruppen** und Drucktastenschaltfeldern in nahezu allen Anwendungsgebieten der **Schwachstromtechnik** der Elektronik verwendet. **CuSn6** findet vorwiegend in der Relais- und Steuertechnik Verwendung (Bild 22). Das gleiche Anwendungsgebiet haben auch Federbänder aus **CuSn8**, die wegen ihrer besseren Federeigenschaften auch für hochbeanspruchte, verschleißfeste Federn, z. B. Telefonschalter sowie im Maschinen- und Uhrenbau Verwendung finden.

Bauteile für die Halbleitertechnik werden auch „Systemträger“ bezeichnet. In Europa und den USA werden **Bänder für Systemträger** neben anderen Kupferwerkstoffen auch aus **CuSn4** und **CuSn6** hergestellt. Hauptanwendungsgebiete für Bronzen sind der Reihenfolge nach Datentechnik, Nachrichtentechnik, Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Unterhaltungselektronik sowie Kfz-Elektronik. Der Anteil der Kfz-Elektronik wird in den nächsten Jahren sicherlich wachsen, denn die Autoindustrie rüstet die Fahrzeuge neuer Modellreihen mehr und mehr mit Bordcomputern und elektronischen Geräten zur Motorsteuerung, Abgaskontrolle, Geschwindigkeitsregelung oder für Antiblockier-Bremssysteme aus.

Tabelle 13: Kupfer-Zinn-Knetlegierungen nach DIN V17900; Hinweise auf die Verwendung aufgrund ihrer typischen Eigenschaften.

Werkstoff-Kurzzeichen	Werkstoffeigenschaft	Anwendung
CuSn4	mittlere Festigkeit, korrosionsbeständig	Steckverbinder, Federn, Schrauben
CuSn6	gute Festigkeit, gut korrosionsbeständig	Steckverbinder, Federn, Stanzteile, Kontakte, Manometerfederrohre, Metallschläuche
CuSn8	Hohe Festigkeit, gute Federeigenschaften, gut kaltumformbar, erhöht korrosionsbeständig, sehr gute Gleiteigenschaften, stoß- und schlagunempfindlich	Steckverbinder, Feder- und Kontaktmaterial, Gleitelemente, Drahtgewebe und Apparateile in der chem. Industrie, Getriebekomponenten
CuSn3Zn9	Gute Festigkeit, korrosionsbeständig,	Steckverbinder, Federn, Membranen, Kontakte
CuSn4Pb4Zn4	gute Festigkeit, gut zerspanbar, korrosionsbeständig	Federnde Steck- und Schraubverbinder, Gleitlager

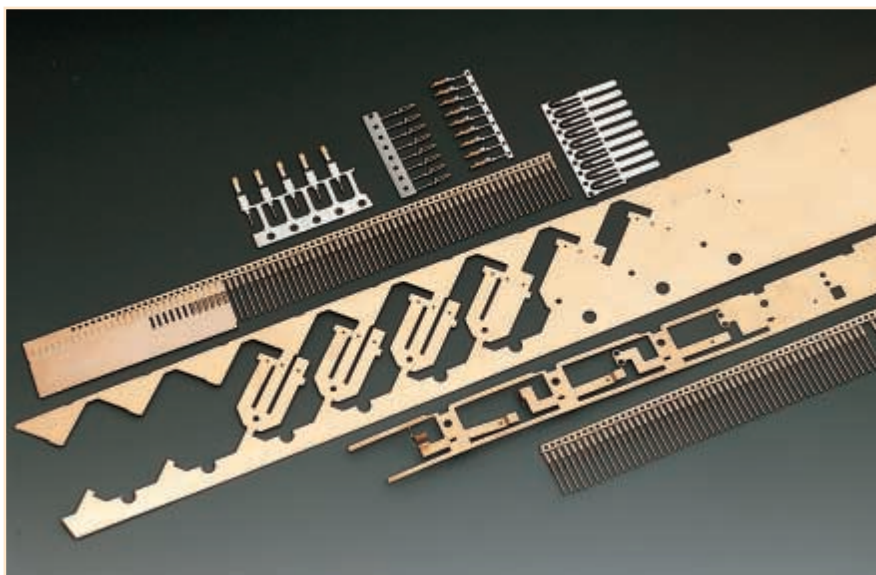


Bild 21: Federnde Bauteile aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen. (DKI 6038)

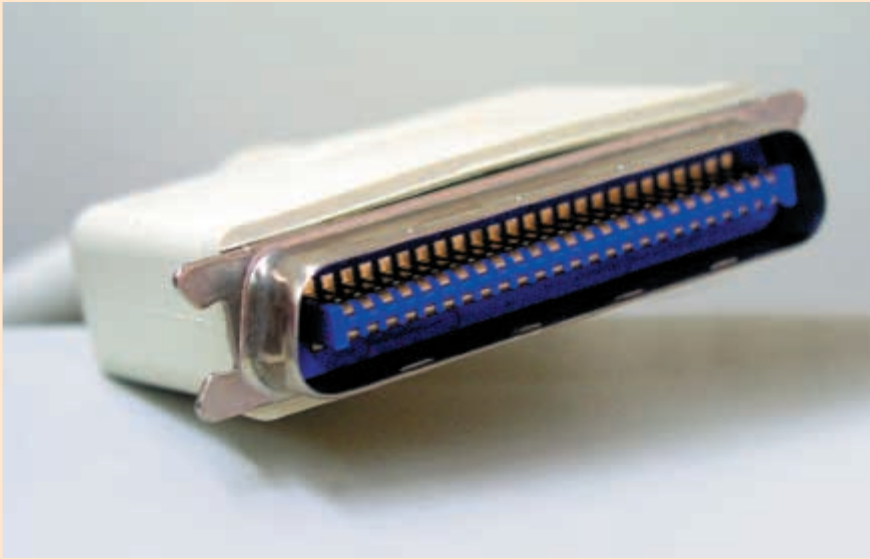


Bild 22: Stanzstreifen aus CuSn6 im Druckeranschluss. (DKI 6041)

Die Hauptanwendungsbereiche der **Drähte** aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind hauptsächlich Kontakte für die industrielle Massenfertigung, insbesondere für elektronische Geräte. So liefert bei der **Wickelverbindung (Wire-Wrap)** ein blanker Kupferdraht, der unter hohem Zug um einen Vierkantstab aus z. B. CuSn6 gewickelt wird, aufgrund der Kantenpressungen (Kaltschweißung) den eigentlichen Kontakt. Bei der **Klemmverbindung (Thermi-Point)** werden an rechteckigen Pfosten aus z. B. CuSn6 mit Hilfe einer Klammer (ebenfalls aus CuSn6) Litze oder Draht angeklemt. Die **Quetschverbindung (Crimp)** wird meist für Litzen aus blanken Kupferdrähten, die von einem Blech (z. B. CuSn6) umschlossen und zur Kontaktierung verformt werden, verwendet. Der Anschluss vierpoliger Leitungen, insbesondere in Steckerleisten, wird mit



Bild 23: Buchse (DKI 6039)

Hilfe der **Schneidklemmtechnik** realisiert. Federdrähte aus CuSn2 und CuSn8 werden als stromführende Federn in der Elektrotechnik eingesetzt. Für sonstige Federn wird Federdraht aus **CuSn6** bevorzugt. Federdrähte finden auch in der Metallgewerbeherstellung (Foudriniersiebe für Papierfabrikation, Druckereiwesen und Textilindustrie) sowie in Schweißstäben und Hartloten Anwendung.

CuSn8P ist ein hochwertiger **Lagerwerkstoff** (→ Tab. 8) mit hervorragenden Gleiteigenschaften (hohe Verschleißfestigkeit, geringe Verschleißneigung, Warmfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Dauerschwingfestigkeit). Deshalb wird CuSn8P eingesetzt für Lager aller Art bis zu höchsten Belastungen und Drehzahlen im Motoren- und Fahrzeugbau sowie im allgemeinen Maschinenbau, ferner für kleine Schneckenräder und Schneckenradkränze. Aufgrund der guten Kaltformbarkeit werden aus **CuSn8** im großen Umfang auch gerollte Buchsen für Gleitzwecke gefertigt. Insbesondere haben sich diese Buchsen für fettgeschmierte Lager im Mischreibungsbereich bewährt.

Der **Schiffbau** benötigt Kupfer-Zinn-Knetlegierungen für Bolzen, Schrauben und Muttern, Ketten und Haken, Rohre, Armaturen und andere meerwasserbeanspruchte Teile sowie für Wasserstandsanzeiger.

Im **Automobilbau** werden Kupfer-Zinn-Knetlegierungen ebenfalls als Federwerkstoffe eingesetzt.

In der **chemischen Industrie** und in der **Nahrungsmittelindustrie** kommen Kupfer-Zinn-Knetlegierungen für Destillationsapparate, Bottiche, Kessel, Autoklaven, Rührer und Rührwerkswellen, Metallschläuche, Kompensatoren und für viele Blechteile sowie für allgemeine Schmiedeteile in Frage.

Im **Kraftwerksbau** haben sich in einigen Ländern (z. B. in Japan [19]) Kondensatorrohre aus den Kupfer-Zinn-Knetlegierungen CuSn6 und CuSn8 mit jeweils etwa 1% Al gut bewährt.

Hartlote (z. B. L-CuSn6 und L-CuSn12 nach DIN EN 1044) dienen zum Hartlöten von Nickel- und Eisenwerkstoffen.

Schweißzusätze aus Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (→ Tab. 12) werden zum Schweißen von Kupfer und Kupfer-Zinn-Legierungen eingesetzt, z. B. auch zur Herstellung säurebeständiger Verbindungen an Kupferwerkstoffen, für Auftragshartlötungen und -schweißungen auf Stahl oder Gusseisen, zur korrosionssicheren Schweißung von Kunstbronzes usw.

Zusätzliche Informationen finden Sie in der Broschüre „Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne“ und im Informationsdruck i. 25: „Kupfer-Zinn-Gusslegierungen“.

5. Literatur / 6. Normen / 7. Verlagsprogramm

Literatur

1. M. Hansen, K. Anderko: Constitution of binary alloys, McGraw Hill Book Co., New York, Toronto, Tokio, 1958
2. M. Cook, W. G. Tallis: The physical properties and annealing characteristics of standard phosphor-bronze alloys, J. Inst. Met. 67 (1941), S.49-65
3. Deutsches Kupferinstitut: Legierungen des Kupfers mit Zinn, Nickel, Blei und anderen Metallen, Berlin 1970
4. DIN V 17900: Kupfer und Kupferlegierungen –Europäische Werkstoffe – Übersicht über Zusammensetzungen und Produkte (CR 13388: 1998)
5. Kurt Dies: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Springer Verlag, Berlin 1967
6. DIN EN 1654: Kupfer und Kupferlegierungen –Bänder für Federn und Steckverbinder
7. DIN EN 12166: Kupfer und Kupferlegierungen – Drähte zur allgemeinen Verwendung
8. DIN EN 12449: Kupfer und Kupferlegierungen – Nahtlose Rundrohre zur allgemeinen Verwendung
9. Metals Handbooks. ASM Cleveland/Ohio, 1979
10. H.-J. Wallbaum: Kupfer in Landbolt-Bornstein „Zahlenwerke und Funktionen“ 2. Teil, Bandteil b, S. 639-890
11. Deutsches Kupferinstitut: Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen (Fachbuch)
12. DIN 1733-1: Schweißzusätze für Kupfer und Kupferlegierungen; Zusammensetzung, Verwendung und technische Lieferbedingungen
13. W. Mahler, K. F. Zimmermann: Hartlöten von Kupfer und Kupferlegierungen, Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS), Düsseldorf 1966
14. Deutsches Kupferinstitut: Löten und Kupfer und Kupferlegierungen –i.13-

15. A.van't Hoen: Die Entwicklung der neueren Flussmittel zum Weichlöten und die damit verbundene Problematik, Metall 21 (1967), S. 795-798
16. Deutsches Kupferinstitut: Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen –i.7-
17. Deutsches Kupferinstitut: Chemische Färbung von Kupfer und Kupferlegierungen (Fachbuch)
18. H. Benninghoff: Mechanische, chemische und elektrolytische Oberflächenbehandlung von Kupfer und Kupferlegierungen, Finish Digest (1974), H. 10
19. S. Sato: Development of copper alloy condenser tubes resistant to polluted seawater „AP BRONZE“, Sumitomo Light Metal. Rep. 14 (1973), Jan. S. 7-14
20. Deutsches Kupferinstitut: Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen –i.18-

Normen

Zusammensetzung

DIN V 17900

Halbzeug

Walzflacherzeugnisse: Bleche, Bänder, etc.

- DIN EN 1652 Kupfer und Kupferlegierungen –Platten, Bleche, Bänder, Streifen und Ronden zur allgemeinen Verwendung
- DIN EN 1654 Kupfer und Kupferlegierungen –Bänder für Feder und Steckverbinder

Rohre

- DIN EN 12449 Kupfer und Kupferlegierungen – Nahtlose Rundrohre zur allgemeinen Verwendung

Stangen, Profile, Drähte

- DIN EN 12163 Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen zur allgemeinen Verwendung

- DIN EN 12164 Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen für die spanende Bearbeitung
- DIN EN 12166 Kupfer und Kupferlegierungen – Drähte zur allgemeinen Verwendung
- DIN EN 12167 Kupfer und Kupferlegierungen –Profile und Rechteckstangen zur allgemeinen Verwendung

Verbindungsarbeiten

Löten

- DIN EN 29453** Weichlote; Chemische Zusammensetzung und Lieferformen
- E DIN 1707, T 100** Weichlote; Chemische Zusammensetzung und Lieferformen
- DIN EN 29453-1** Flussmittel zum Weichlöten, Einteilung und Anforderungen; Teil1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung
- DIN EN 10444** Hartlöten; Lötzusätze
- DIN EN 10445** Schweißen; Flussmittel zum Hartlöten; Einteilung

Kleben

- DIN EN 923** Klebstoffe – Benennungen und Definitionen
- DIN 53281-1** Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Klebflächenvorbehandlung
- DIN 53281-2** Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Herstellung
- DIN 53281-3** Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Kenndaten des Klebvorgangs

Schweißen

- DIN 1733-1** Schweißzusätze für Kupfer und Kupferlegierungen; Zusammensetzung, Verwendung und Technische Lieferbedingungen

Mechanische

- Verbindung **DIN EN 28839** Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben und Muttern aus Nichteisenmetallen

Weitere Normen

- DIN 51215 Wickelversuch an Drähten
- VDI 2229 Metallkleben
- VDI/VDE 2251 Feinwerkelemente; Verbindungen
- VDI 3821 Kunststoffkleben

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-Gusslegierungen; 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 – Spannungsrissskorrosion 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-Schutzeinrichtungen; 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 Klärschlamm; 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
.....
Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer
Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempnertechnik EUR 10,00

Lernprogramm

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

Lehrhilfen

- Werkstofftechnik – Herstellungsverfahren
2 Sammelmappen mit farbigen Klarsichtfolien und Texterläuterungen Band I EUR 125,00**
Band II EUR 100,00**

Filmdienst des DKI

- 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 DKI sind über den Fachbuchhandel zu beziehen oder ebenso wie Sonderdrucke, Informationsdrucke und Informationsbroschüren direkt vom Deutschen Kupferinstitut, Am Bonnhof 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 DKI an.

**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

┌

┐

└

┘