



**BRONZE –
unverzichtbarer
Werkstoff der
Moderne**

BRONZE – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne

| | |
|---|----------|
| Bronze – Wegbegleiter des technischen Fortschritts | 1 |
| Bronzen – Legierungen aus Kupfer und Zinn | 2 |
| Herstellung, Verarbeitung und Anwendung | 4 |
| <i>Knetlegierungen</i> | 4 |
| • Das Schmelzen und Gießen | 4 |
| • Die Warm- und Kaltumformung | 4 |
| • Das Walzen, Strangpressen | 4 |
| • Das Ziehen | 5 |
| • Die Wärmebehandlung | 5 |
| • Die Anwendungen | 5 |
| <i>Gusslegierungen</i> | 7 |
| • Das Schmelzen und Gießen | 7 |
| • Die Gießverfahren | 7 |
| • Die Wärmebehandlung | 8 |
| • Die Anwendungen | 8 |
| Die Bearbeitung von Knet- und Gusslegierungen | 10 |
| Bronze – Kreislaufwerkstoff mit langer Tradition | 11 |
| Bronze im Wandel der Zeit | 12 |

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

Layout und Umsetzung:

Solarpraxis AG; © 2003

Alle Rechte, auch die des aus-
zugsweisen 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.

BRONZE – Wegbegleiter des technischen Fortschritts

Wenige Metalle können auf eine Erfolgsgeschichte zurückblicken wie Kupfer und seine Legierungen. Gerade Bronze hat schon früh einen großen Einfluss auf den Gang der Menschheitsgeschichte ausgeübt und den technischen Fortschritt gefördert. Die bereits vor 5.000 Jahren entwickelte Fähigkeit, Bronze herzustellen und zu verarbeiten, kann auf eine Stufe mit den Errungenschaften des Maschinenzeitalters oder der Mikroelektronik gestellt werden.

Auch heute im Zeitalter der Bits und Bytes nimmt Bronze eine herausragende Stellung unter den Werkstoffen ein. Dies gilt in besonderer Weise überall dort, wo elektronische Bauteile und Steuerungsprozesse gefragt sind. Gerade in der Daten- und Nachrichtenübertragung, Mess- und Regeltechnik, Automobil-, Unterhaltungs- und Haushaltselektronik spielt Bronze eine zentrale Rolle.

Während reines Kupfer relativ weich ist, weist Bronze durch die Legierungskomponente Zinn eine hohe Festigkeit und Härte auf. Außerdem ist Bronze sehr korrosions- und verschleißfest sowie meerwasserbeständig. Die Leitfähigkeit für Elektrizität und Wärme ist bei niedrigen Zinngehalten gut, wenn auch nicht so hoch wie die von reinem Kupfer. Mit steigendem Zinngehalt sinkt die Leitfähigkeit, während Festigkeit und Härte zunehmen. Bronze bietet zudem gute Feder- und Gleiteigenschaften und verfügt über eine hervorragende Dauerschwingfestigkeit.

Alle diese Eigenschaften tragen dazu bei, dass Bronze auf vielfältige Weise genutzt werden kann und in nahezu allen Industriezweigen eingesetzt wird: im Maschinen- und Apparatebau, im Schiff- und Kraftwerksbau, in der Chemischen und Nahrungsmittelindustrie, in der Papierfabrikation, dem Druckereiwesen und der Textilbranche.

Bronze findet zum Beispiel Verwendung in Getrieben und Pumpen, für Gleitlager, hochbeanspruchte Zahnräder und Schneckengetriebe, für Federn, Schrauben, Bolzen und Muttern, für Rohre und Behälter. In der Elektronik wird sie unter anderem für Steckverbinder, Kontaktstreifen, Relaisfedern und Kabelklemmen genutzt und dient als Systemträger für Halbleiter.

Bronze zeichnet sich aber nicht nur durch ihre Funktionalität aus. Sie ist dank ihres warmen Farbtons ein Werkstoff mit Ausstrahlung. Das macht sie interessant für das Kunsthandwerk und die bildende Kunst. Das Farbspektrum ist breit gefächert: Bei niedrigem Zinngehalt ähnelt Bronze der lachsroten Farbe des Kupfers, mit steigendem Zinngehalt nimmt sie dagegen braun-rote bis rötlich- und grünlich-gelbe Schattierungen an.

Bronzeanwendungen im Wandel der Zeit

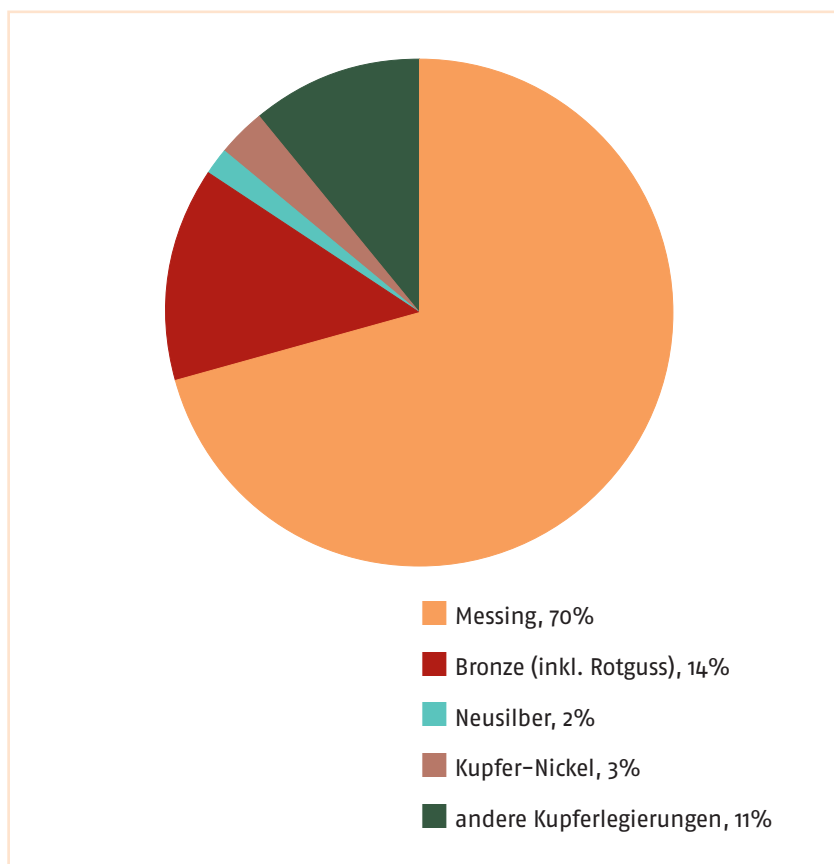
Von der historischen Glocke über Gleitlagerbuchsen und Trinkwasserarmaturen zur Elektronik im Handy



BRONZEN – Legierungen aus Kupfer und Zinn

Bronze ist eine Legierung aus den Metallen Kupfer (Cu) und Zinn (Sn). Je nach Art ihrer Verarbeitung lassen sich Knet- und Gusslegierungen unterscheiden. Knetlegierungen eignen sich zur Warm- und Kaltumformung durch Walz-, Press- und Ziehverfahren; sie enthalten neben Kupfer bis zu 8,5 Prozent Zinn. Gusslegierungen weisen in der Regel einen Zinnanteil zwischen neun und zwölf Prozent auf. Von Hyperzinnbronzen spricht man bei Knetlegierungen mit Zinnanteilen bis 17 Prozent, die durch Sprühkompaktieren hergestellt werden. Bronzen mit Zinnanteilen von 20 Prozent sind als Glockenbronze bekannt.

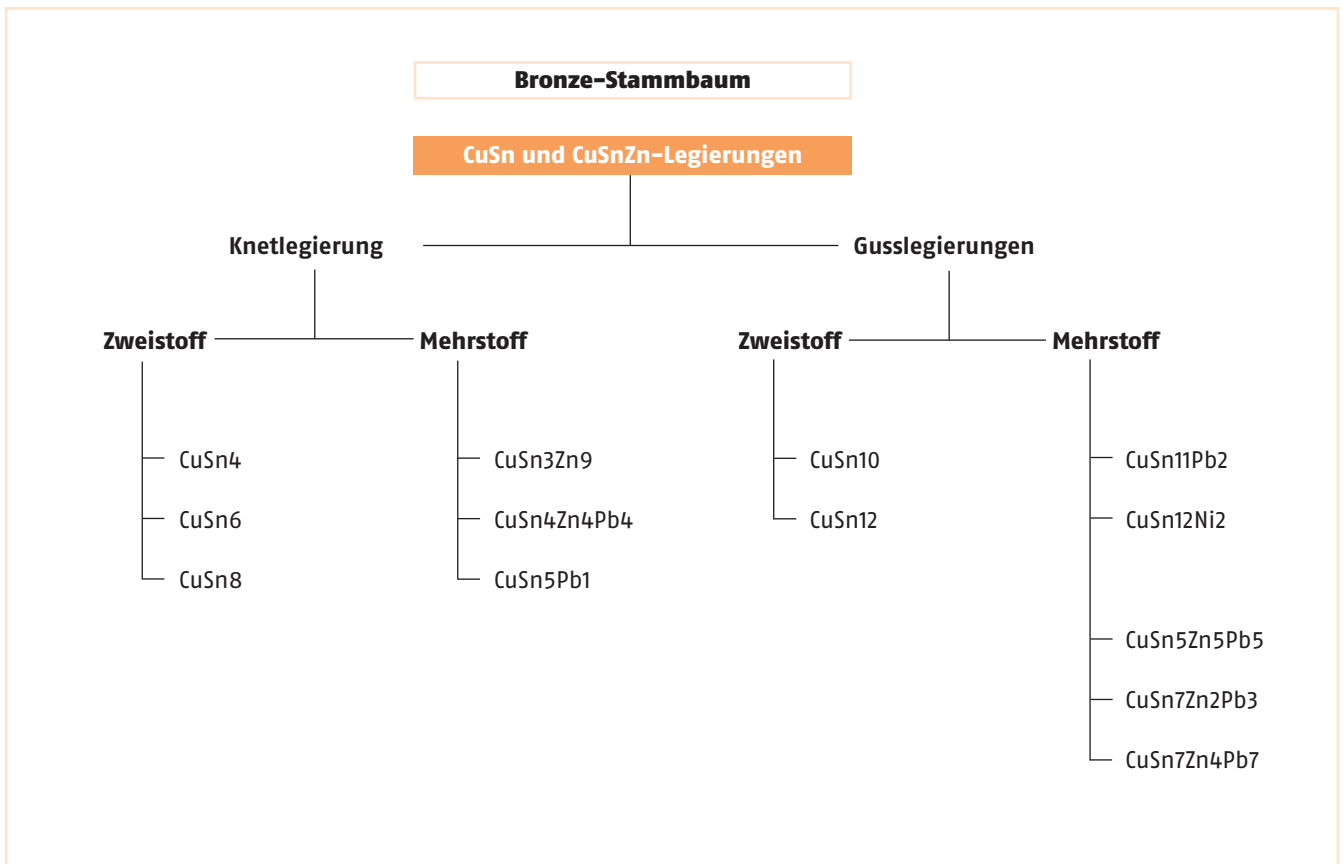
Bronze wird im seltensten Fall als reine Zweistofflegierung genutzt, sondern mit weiteren Legierungskomponenten und Zusätzen versehen. Dadurch lassen sich die Werkstoffeigenschaften maßgeschneidert beeinflussen. Bei Knetlegierungen werden vor allem Phosphor und Zink beigemischt, bei Gusslegierungen sind darüber hinaus Blei, Nickel und Eisen von Bedeutung. Derartige Legierungen werden auch als Mehrstoffbronzen bezeichnet.



Prozentuale Verteilung der in Deutschland hergestellten Kupferlegierungen; Quelle: DKI, 2002

Phosphor (P) wird der Kupfer-Zinn-Legierung in geringen Mengen beigemischt, um der Schmelze den Sauerstoff zu entziehen (Desoxidation). Außerdem soll es die Bildung von Zinnoxid verhindern, das die Eigenschaften der Legierung ungünstig beeinflusst. Als Legierungselement mit Anteilen bis 0,4 Prozent verbessert Phosphor die Schmelzföhrung und Gießbarkeit. Mit steigendem P-Gehalt wird die Verfestigungsfähigkeit der Knetlegierung erhöht, gleichzeitig aber die elektrische Leitfähigkeit und Warmverformbarkeit herabgesetzt.

Geringe Zusätze von **Zink (Zn)** bewirken ebenfalls eine Desoxidation der Schmelze, so dass auf Phosphor verzichtet werden kann. Auch Zink setzt die elektrische Leitfähigkeit herab, jedoch nicht so stark wie Phosphor. Andererseits erhöht Zink die Verformbarkeit von Knetlegierungen. Zink spielt besonders in Gusslegierungen eine große Rolle: Hier sind Anteile bis zu neun Prozent üblich. Diese Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen sind auch als Rotguss bekannt.



Der Bronze-Stammbaum erfasst exemplarische Hauptvertreter der Zweistoff- und Mehrstoffbronzen.

Blei (Pb) verbessert das Fließvermögen, senkt jedoch die Zugfestigkeit und Duktilität. In Knetlegierungen, die warm umgeformt werden, ist es schon in geringen Mengen schädlich, da diese Legierungen zur Warmbrüchigkeit neigen. Gusslegierungen können bis zu 7% Blei enthalten. Es ist wegen seines niedrigen Schmelzpunktes in der Lage, eventuell auftretende Porosität – bedingt durch das bei der Erstarrung auftretende Volumendefizit – auszufüllen, wodurch die Druckdichtigkeit der Gussteile erhöht wird. Blei ist unlöslich und liegt fein verteilt im Gefüge vor, was zu einer besseren Spanbarkeit der Produkte führt. Außerdem erhöht es die Korrosionsbeständigkeit, speziell gegen Schwefelsäure. Bleizusätze verbessern zudem die Notlaufefigenschaften von Gleitwerkstoffen.

Zusätze von **Nickel (Ni)** erhöhen bei gleichbleibender Festigkeit die Zähigkeit und sorgen dafür, dass die Festigkeit weniger stark von der Wanddicke des Gussteils abhängt. Außerdem werden Gusslegierungen durch Nickel korrosionsbeständiger. Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen enthalten Ni-Zusätze bis 2,5 Prozent, in Knetlegierungen wird es dagegen nur in geringen Mengen bis 0,3 Prozent beige-mischt. Neben einer höheren Festigkeit kann durch Kaltumformung zwischen der Lösungsglühung und Warmaushärtung auch die Härte gesteigert werden.

Eisen verbessert in geringen Mengen die Verfestigungsfähigkeit von Knetlegierungen und bewirkt ein feineres Korn. Das Schmelzen und Gießen wird jedoch durch Eisen erschwert, da es eine zähe Schlackenhaut bildet. Während die skizzierten Legierungskomponenten gezielt eingesetzt werden, um die Werkstoffeigenschaften von Bronze positiv zu beeinflussen, können sich Verunreinigungen mit anderen Stoffen wie Aluminium, Antimon, Arsen, Mangan, Schwefel, Silizium, Wismut auch in kleinsten Mengen negativ auswirken. Sie beeinträchtigen die Gießbarkeit und Festigkeit und führen teilweise auch zur Versprödung.

Herstellung, Verarbeitung und Anwendung

Knetlegierungen

Am Beginn der Fertigung von Halbfabrikaten wie Bändern, Blechen, Rohren, Stangen und Drähten steht das Schmelzen, Legieren und Gießen. Daran schließen sich die Warmumformung, Kaltumformung sowie Glühprozesse an. Abschließend werden diverse Endbearbeitungen durchgeführt.

Das Schmelzen und Gießen

Für das Erschmelzen der Legierungen werden Reinmetalle, Recyclingmaterialien und fertigungsbedingte Neuschrotte eingesetzt. Reinmetalle wie Kathodenkupfer und Reinzinn werden direkt von den Hütten oder Raffinerien bezogen, Recyclingmaterial wird über den Handel angekauft oder direkt von Kunden zurückgeliefert, zum Beispiel als Stanzabfall. Das Schmelzen erfolgt heute vor allem in elektrisch beheizten Induktionsöfen. Von dort wird die Schmelze in die Gießöfen überführt.

Der weitere Prozessablauf wird beispielhaft für den vertikalen Strangguss erläutert: Hier besteht die Gießvorrichtung der Stranggussanlage aus einer wassergekühlten Kokille mit absenkbarem Boden. Die Schmelze wird bei Gießtemperaturen zwischen 1.100 und 1.200 °C langsam in die Kokille eingegossen und erstarrt an ihren Wandungen und dem Boden. Dabei bildet sich ein Napf mit noch flüssigem Inhalt. Während von oben stetig Schmelze in die Kokille nachfließt, wird der Boden gleichmäßig abgesenkt, so dass der Metallspiegel in der Kokille konstant bleibt. Auf diese Weise wächst ein Strang heran, der allseitig mit Wasser besprüht wird, um vollständig zu erkalten. Beim vollkontinuierlichen Stranggießen wird der Strang je nach gewünschter Länge mit einer Säge abgetrennt, ohne den Gießvorgang zu unterbrechen. Beim diskontinuierlichen Verfahren wird nicht gesägt, sondern der Gießvorgang unterbrochen, wenn der Strang die vorgegebene Länge erreicht hat.

Die Warm- und Kaltumformung

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen lassen sich gut warm- und kaltumformen (Warmwalzen, Schmieden, Strangpressen bzw. Kaltwalzen, Ziehen, Bördeln, Biegen, Kanten, Tiefziehen). Wegen eventuell auftretender Seigerungen wird Bronze zur Homogenisierung bei 700 bis 800 °C geglüht und dadurch in einen für die Umformung günstigen Gefügestand gebracht. Die vom Gießen herrührenden Zonenkristalle verschwinden hierbei und es entstehen Kristalle einheitlicher Zusammensetzung.

Breites Erstarrungsintervall

Kupfer-Zinn-Legierungen weisen beim Erkalten einen großen Temperaturbereich auf, in dem flüssige und feste Bestandteile nebeneinander vorliegen. Wegen dieses breiten Erstarrungsintervalls kann es zu Seigerungen kommen, d. h. zur Entmischung der geschmolzenen Legierung. Dies führt zur Zonenbildung im Guss bzw. zur Bildung unterschiedlicher Mischkristalle. So können örtliche Zinnanreicherungen so genannte δ -Kristalle zur Folge haben, die den Werkstoff hart, spröde und schwer kaltumformbar machen.

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen sind nicht warmhärtbar. Zugfestigkeit und Härte lassen sich daher nur durch Kaltumformung steigern. Besonders Bronzen mit einem Zinngehalt bis acht Prozent, bei sprühkompaktierten Bronzen bis 17 Prozent, können mit den üblichen Verfahren (Kaltwalzen, Fließpressen, Tiefziehen, Biegen etc.) gut kaltumgeformt werden. Die dabei entstehende hohe Verfestigung des Werkstoffs macht ihn hervorragend geeignet für federnde Konstruktionsteile und verschleißfeste Gleitlager.

Durch geeignete Kaltumformung und Glühprozesse lassen sich maßgeschneiderte Werkstoffe herstellen, die die spezifischen Anforderungen der Kunden mit Blick auf die herzustellenden Produkte erfüllen.

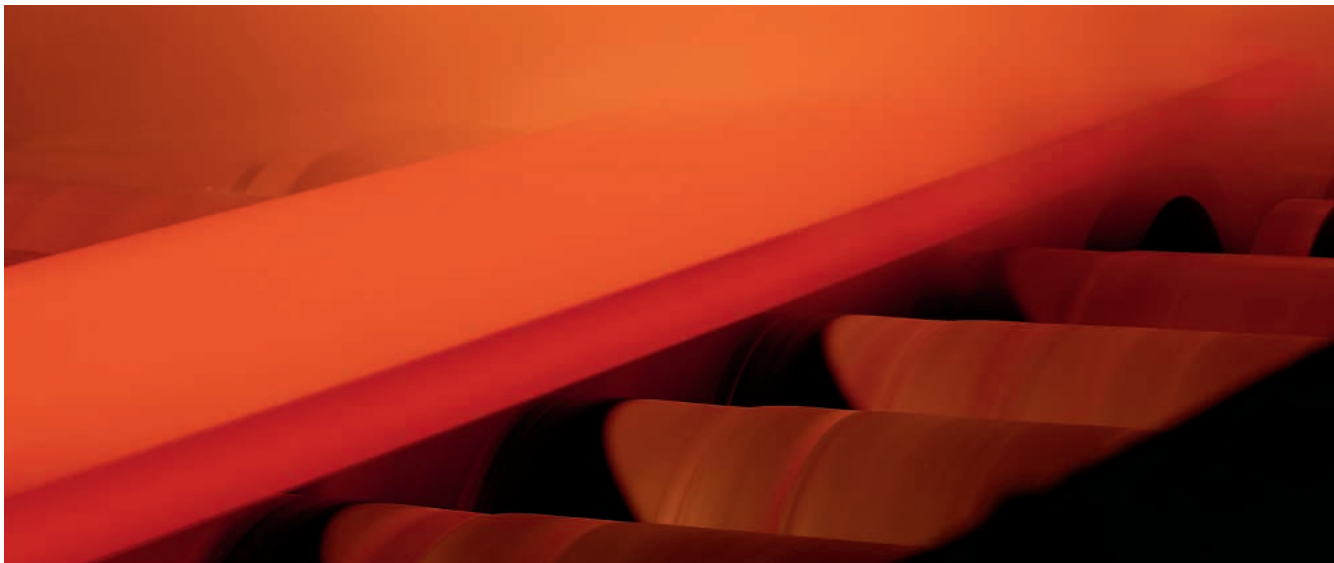
Das Walzen

Das Walzen von Blechen und Bändern aus Bronze erfolgt in mehreren Prozessschritten: Zunächst werden die 600 bis 800 mm breiten, 250 mm dicken und 10 Meter langen Platten angewärmt und dann auf Warmwalzgerüsten in mehreren Stichen auf rund ein Zehntel der ursprünglichen Dicke abgewalzt. Beim horizontalen Strangguss entfällt dieser Prozessschritt wegen des endabmessungsnahen Gießens der ca. 15 mm dicken Bänder.

Nachfolgend wird die Oberfläche beidseitig gefräst, um Oxidschichten abzutragen. Anschließend beginnt der eigentliche Kaltwalzprozess. Daran schließt sich das Zwischenglühen an, gefolgt von den Behandlungsschritten Beizen, Waschen, Trocknen. Weitere Zwischenumformungen erfolgen im Wechsel von Kaltwalzen und Zwischenglühen. Die Bronzebänder werden typischerweise auf Dicken von 1,0 bis zu 0,05 mm heruntergewalzt. Der gesamte Walzvorgang wird elektronisch gesteuert.

Das Strangpressen

Strangpressprodukte wie Stangen, Rohre, Profile und Drähte werden warmumgeformt. Die gegossenen Bolzen werden zunächst auf 600 bis 1.000 °C aufgeheizt und dann auf hydraulischen Strangpressen mit Presskräften zwischen 1.000 und 3.500 Tonnen durch Werkzeuge (Matrizen) gedrückt, die sich an der Austrittsseite der Presse befinden. Die Werkzeuge weisen Öffnungen mit ganz unterschiedlichen Querschnitten auf – je nachdem, welche Form der beim Pressvorgang entstehende Strang aufweisen soll. Zum Strangpressen von Rohren wird ein Dorn aus Stahl verwendet, der mit seiner Spitze bis in die Matrizenöffnung hineinragt. Der Bolzen wird beim Pressen vom Dorn durchstoßen, der auf diese Weise die Innenkontur formt.



Das Ziehen

Eine besondere Möglichkeit der Kaltumformung von Kupfer-Zinn-Legierungen ist das Ziehen von gegossenen oder stranggepressten Vormaterialien zu Rohren, Stangen und Drähten. Das gegossene Vormaterial wird auf speziellen Anlagen durch eine Ziehmatrize gezogen. Dabei kommt es zu einer Knetumformung, die eine Verfestigung im Gefüge zur Folge hat. Um das Material weiter plastisch verformen zu können, sind zwischen den Ziehfolgen Wärmebehandlungen erforderlich. Der Vorgang wird mehrfach wiederholt, bis das Nennmaß erreicht ist. Das Material erhält dadurch ein äußerst feines, homogenes Gefüge mit entsprechend guten mechanischen Eigenschaften: eine hohe Festigkeit bei ausreichender Dehnung. Stangen und Drähte können auch im Strang- bzw. Drahtguss hergestellt werden; der „Umweg“ über das Pressen ist so nicht erforderlich. Ein Vorteil dieses Herstellverfahrens besteht gegenüber dem Strangpressen darin, dass die Verarbeitung von Kupfer-Zinn-Legierungen mit höheren Zusätzen von Blei oder Phosphor möglich ist.

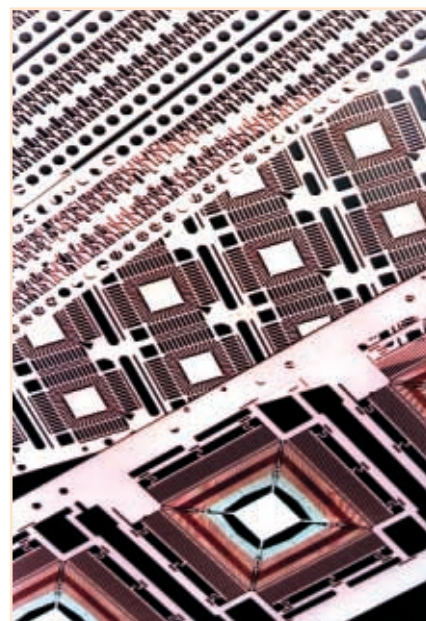
Die Wärmebehandlung

Die durch Kaltverformung erzielte Verfestigung der Kupfer-Zinn-Knetlegierungen kann durch eine Wärmebehandlung teilweise oder völlig abgebaut werden. Die entsprechenden Temperaturen zum Weichglühen liegen je nach Legierung und Verfestigungsgrad zwischen 400 und 700 °C. Nach Kaltumformungen ist ein Streckbiegerichten und gelegentlich ein Spannungsfreiglühen erforderlich, mit dem bei der Fertigung entstandene Eigenspannungen abgebaut werden können.

Die Anwendungen

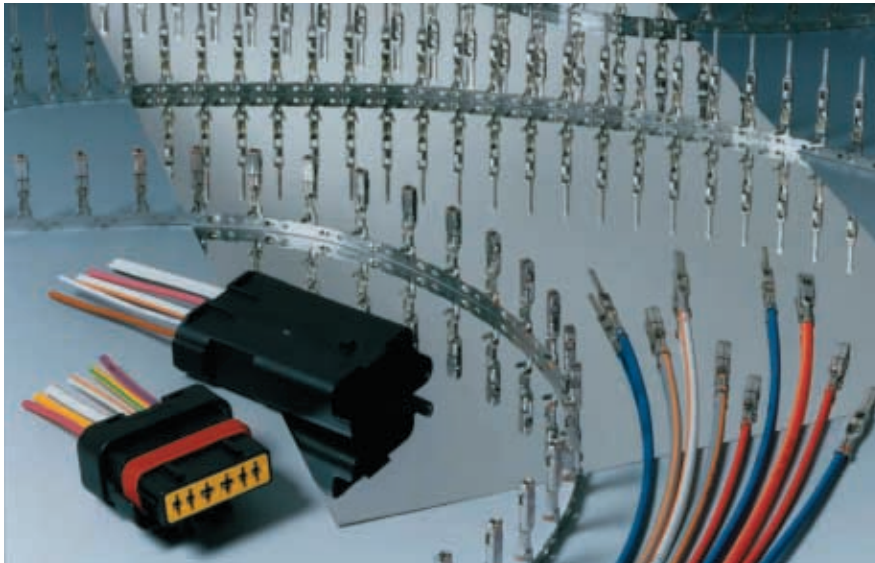
Das Anwendungsspektrum für Knetlegierungen ist weit gefasst und erstreckt sich auf nahezu alle Industriezweige. Dies ergibt sich nicht zuletzt aus den Werkstoffeigenschaften. Knetlegierungen aus Bronze zeichnen sich durch gute Festigkeitseigenschaften aus. Ihre Leitfähigkeit für Wärme und Strom ist bei niedrigen Zinnanteilen gut, nimmt jedoch mit höheren Zinngehalten ab. Außerdem sind sie sehr korrosionsbeständig. Sie sind gegen Spannungsrisskorrosion unempfindlich und auch gegen lochfraßähnliche Angriffe weitgehend immun. Hinzu kommt eine gute Beständigkeit gegenüber Seewasser, verschiedenen Agenzien und Industrieatmosphäre. Sie verfügen zudem über gute Federeigenschaften und eine gute Biegebarkeit.

Bronze mit Zinnanteilen bis acht Prozent werden entsprechend in der Elektrotechnik und Elektronik für stromleitende Federn, Stanzteile für Steckverbinder, Stecksockel, Reihenklempen für Elektronikbaugruppen sowie in der Schwachstromtechnik für Druckstastenschaltfedern verwendet. Generell sind Daten- und Nachrichtenübertragung, Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Haushalts- und Unterhaltungselektronik zentrale Einsatzfelder für diese Legierungen.



Stanzprodukte aus Bronze für elektronische Anwendungen

Steckverbindungen aus Bronzebändern

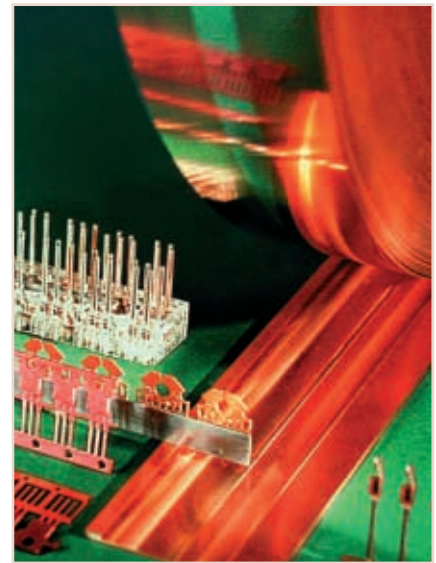


Vor dem Hintergrund, dass immer mehr Kraftfahrzeuge heute mit Bordcomputern und elektronischen Geräten zur Motorsteuerung, Abgaskontrolle, Geschwindigkeitsregelung oder für Antiblockier-Bremssysteme ausgerüstet werden, gilt dies auch für die Kfz-Elektronik. Des Weiteren werden solche Bronzen im Automobil- sowie Maschinenbau für Gleitlager und andere Buchsen verwendet.

Knetlegierungen wie **CuSn4** werden neben den skizzierten Einsatzbereichen in der Elektronik und Elektrotechnik für Federn, Schrauben, Bolzen und Muttern eingesetzt sowie für Rohre und Behälter der chemischen und Papierindustrie.

Die Legierung **CuSn6** wird neben der Relais- und Steckertechnik für Bleche, Bänder und Rohre sowie für Pumpenteile, Zahnräder, Buchsen, Drahtgewebe und Membranen im Schiff-, Maschinen- und Apparatebau sowie in der Zellstoff-, Textil- und chemischen Industrie eingesetzt.

Der Werkstoff **CuSn6** weist aufgrund seines höheren Zinngehaltes noch bessere Federeigenschaften auf und wird daher für hochbeanspruchte, verschleißfeste Federn im Maschinen- und Uhrenbau verwendet. Außerdem wird der Werkstoff für Zahnräder und Schneckengetriebe, für Gleitlager, Gleitbahnen und Laufbuchsen sowie für Bolzen, Schrau-



ben und Muttern eingesetzt. Im Kraftwerksbau wird dieser Werkstoff ebenso wie die Legierung **CuSn6** mit einem Anteil von einem Prozent Aluminium für Kondensatorrohre genutzt.

Mit einem geringen Anteil Phosphor ist diese Legierung ein hochwertiger Lagerwerkstoff mit hervorragenden Gleiteigenschaften, d. h. mit einer hohen Verschleiß-, Warm- und Dauerschwingfestigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit. Der höhere Phosphorgehalt verbessert die Schmierfilmaftung des Werkstoffs. Er wird daher für Lager aller Art bis zu höchsten Belastungen und Drehzahlen im Motoren- und Fahrzeugbau sowie im Maschinenbau eingesetzt.

Die Mehrstoffbronzen **CuSn3Zn9** und **CuSn4Zn4Pb4** werden zum Beispiel für Steckverbinder in Kraftfahrzeugen verwendet.

In jüngster Zeit hat die Legierung **CuSn5Pb1** an Bedeutung gewonnen. Sie wird in der Automobiltechnik eingesetzt: speziell für Bauteile in Stellmotoren und für Einspritzsysteme.



Gleitlager und Buchsen aus Bronzeknetlegierung

Gusslegierungen

Gussteile sind durch einen kurzen, prozessstufenarmen Weg vom Rohstoff zum Fertigteil gekennzeichnet. Sie zeichnen sich durch eine weitgehende Gestaltungsfreiheit bei der Teilekonstruktion sowie durch eine hohe Maßgenauigkeit und Oberflächengüte aus. Aufgrund des Fertigungsverfahrens lassen sich Produkte mit endformnahen bzw. endformfertigen Abmessungen herstellen. Die Eigenschaften der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen werden primär vom Zinngehalt bestimmt. Doch lassen sich ihre Bearbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten durch den Zusatz von Legierungselementen gezielt anpassen. Entsprechend breit ist das Anwendungsspektrum von Bronze als Konstruktionswerkstoff.

Bronze-Gusslegierungen zählen zu den korrosionsbeständigsten Kupferwerkstoffen. Hervorzuheben ist ihre hervorragende Widerstandsfähigkeit gegen verschiedenste atmosphärische Einflüsse, da sie sich mit einer fest haftenden, dichten Schutzschicht überziehen. Die Schutzwirkung nimmt mit steigendem Zinngehalt zu.

Bronzeguss kommt überall dort zum Einsatz, wo die Kombination verschiedener Eigenschaften mit der vorteilhaften Formgebung durch das Gießen gefragt ist. Auf welche Verfahren zur Herstellung von Gussteilen zurückgegriffen wird, ist letztlich eine technisch-wirtschaftliche Frage: Sie hängt unter anderem davon ab, in welchen Stückzahlen und -gewichten gegossen werden soll. Doch hat die Wahl des Gussverfahrens auch Einfluss auf die Gefügestruktur und die Eigenschaften des Gussteils. Dies hängt mit der Abkühlungsgeschwindigkeit und folglich mit dem Erstarrungsablauf der Schmelze zusammen, die je nach Gussverfahren unterschiedlich sind. So haben stranggegossene Teile – gleiche chemische Zusammensetzung vorausgesetzt – wegen ihrer schnelleren Abkühlung ein feinkörnigeres Gefüge und damit eine höhere mechanische Festigkeit als Teile aus Sandguss.

Zu beachten ist, dass sich das Volumen der Schmelze beim Abkühlen reduziert und dadurch Hohlräume (Lunker) entstehen können. Dem wird durch gießereitechnische Maßnahmen begegnet.

Das Schmelzen und Gießen

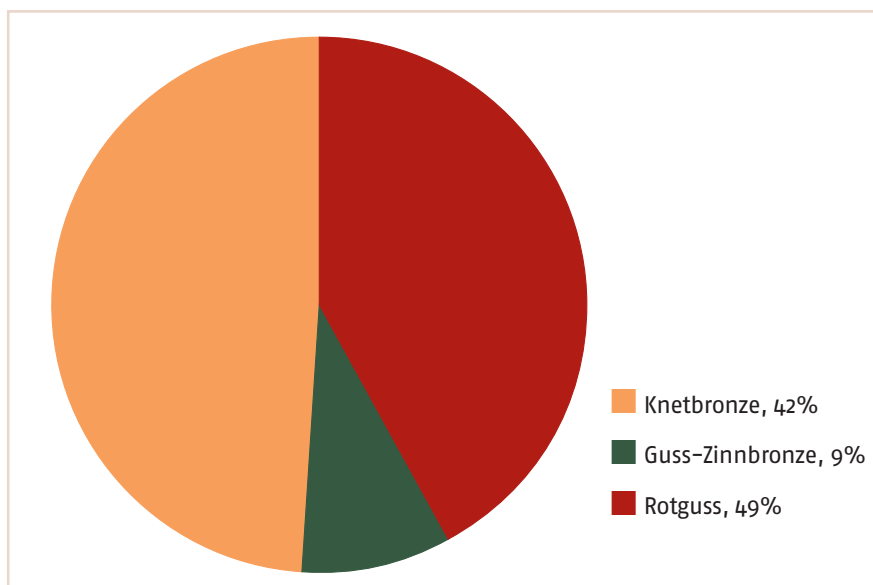
Das Schmelzen von Gusslegierungen aus Bronze gleicht dem von Knetlegierungen. Einsatzmaterial ist meist fertig legiertes Blockmetall und Recyclingmaterial, doch wird gelegentlich auch Hüttenkupfer und Reinzinn eingesetzt. Gusswerkstoffe aus Bronze lassen sich mit den gängigen Verfahren herstellen, d. h. im Sand-, Strang-, Kokillen-, Fein-, Vollform- und Schleuderguss. Aufgrund des breiten Erstarrungsintervalls von Bronze wird das Druckgussverfahren nicht angewandt. Die Gießtemperatur liegt im Allgemeinen zwischen 1.150 und 1.250 °C.

Die Gießverfahren

Sie werden danach unterteilt, ob verlorene Formen oder Dauerformen zum Einsatz kommen. Während die Sand-, Vollform- und Feingießverfahren mit Formen arbeiten, die nur einen Abguss gestatten und bei der Gussteilentnahme zerstört werden, kommen beim Kokillen-, Schleuder- und Stranggießverfahren wiederverwendbare Formen zur Anwendung.

Der **Sandguss** ist das älteste und am meisten angewendete Formverfahren. Aus Quarzsand, mit Ton bzw. Bentonit als Bindemittel, wird nach einem Modell eine Hohlform hergestellt. Durch Einbringen von Formelementen, den Sandkernen, in den Formhohlraum lassen sich praktisch beliebige, auch sehr große und verwickelte, formschwierige Bronze-Gussteile herstellen. Sie zeichnen sich durch hohe Maßgenauigkeit aus. Das Verfahren wird vor allem für die Einzel- und Kleinserienfertigung eingesetzt. Die Formfüllung geschieht mittels Schwerkraft.

Prozentualer Anteil der einzelnen Bronzehauptgruppen; Quelle: DKI, 2002



Beim **Vollformguss** werden die Gussteile mittels Modellen aus Polystyrolschaumstoff hergestellt, die in der Form verbleiben. Man spricht deshalb bei diesem Verfahren von „Vollform“ im Gegensatz zur „Hohlform“, weil das Schaumstoffmodell so lange die Form füllt, bis es beim Gießen vergast und durch die flüssige Bronze ersetzt wird. Als Formstoffe dienen Gießereisande, die nicht unbedingt verdichtet werden müssen. Das Verfahren eignet sich zur Einzelfertigung mittlerer und großer Gussteile, aber auch zur Großserienfertigung, wenn die geschäumten Modelle serienmäßig vorgefertigt werden. Die Oberflächenstruktur entspricht der Oberfläche des Schaumstoffmodells.

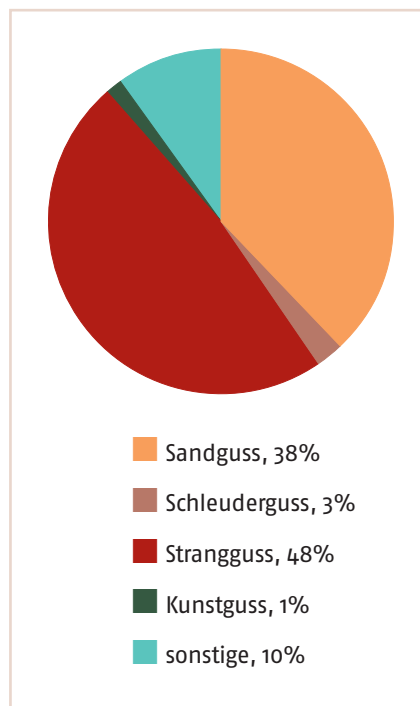
Beim **Feinguss** kommen Modelle aus Wachs oder thermoplastischen Stoffen zum Einsatz, die in keramische Formstoffe eingebettet und nach dem Abbinden ausgeschmolzen oder ausgebrannt werden. Es entstehen so einteilige Schalenformen, die ebenfalls nur einmal verwendbar sind. Die Bronze wird in die noch heiße Form gegossen: Dadurch werden feinste Konturen exakt wiedergegeben; außerdem sind sehr dünne Wände und Querschnitte gießbar. Der Feinguss ist ein Präzisionsgießverfahren, das sich durch sehr hohe Maßgenauigkeit und ausgezeichnete Oberflächen auszeichnet. Es ist kein oder kaum ein abschließender Bearbeitungsaufwand erforderlich.

Beim **Kokillenguss** werden wiederverwendbare Formen (Kokillen) aus Stahl oder Kupfer genutzt, die unempfindlich gegen hohe Temperaturwechsel sind. Bestehen die Kokillen und die Kerne aus Stahl, spricht man von einer Vollkokille. Werden Sandkerne eingelegt, spricht man von einer Gemischtkokille. Die Formfüllung geschieht unter Ausnutzung der Schwerkraft bzw. bei Sonderverfahren mit geringem Überdruck. Die erstarrende Schmelze kühlt dank der hohen Wärmeleitfähigkeit des metallischen Formwerkstoffs schnell ab, wodurch ein feinkörniges und dichtes Gefüge mit guten Festigkeitseigenschaften entsteht. Die Bauteile zeichnen sich durch eine hohe Maßgenauigkeit, Konturenwiedergabe und Oberflächen-güte aus.

Beim **Schleuderguss** handelt es sich um ein Verfahren, bei dem die Bronze über eine Rinne in eine rotierende, meist zylindrische Form gebracht wird und die Legierung noch während der Rotation in der Kokille erstarrt. Dieses Verfahren liefert einen dichten, gleichmäßigen Guss; durch die auftretenden Zentrifugalkräfte scheiden sich leichte Verunreinigungen wie Gase und Oxide auf der inneren Oberfläche der Rotationskörper ab. Verfahrensbedingt lassen sich im Schleuderguss nur Rohre, Büchsen, Ringe und ähnliche rotationsymmetrische Teile herstellen.

Der **Strangguss** für die Herstellung von Halbzeugen entspricht dem Verfahrensablauf, wie er unter dem Punkt Knetlegierungen skizziert ist. Im Unterschied zum Strangguss aus Knetlegierungen werden Halbzeuge aus Gusslegierungen nicht weiter umgeformt, sondern nur noch mechanisch bearbeitet. Mittels Strangguss lassen sich Voll- und Hohlprofile der verschiedensten Abmessungen und Formen gießen. Auch bei diesem Verfahren wird wegen der raschen und gleichmäßigen Erstarrung ein dichtes, feinkörniges Gefüge erzielt.

Prozentuale Aufteilung der verschiedenen bei Bronze angewendeten Gussverfahren;
Quelle: GDM, 2002



Die Wärmebehandlung

Die Werkstoffeigenschaften von Gusslegierungen aus Bronze mit einem einheitlichen, homogenen Gefüge (Mischkristallen) lassen sich durch Wärmebehandlung kaum verändern. Anders dagegen bei einer heterogenen Gefügestruktur mit zwei Kristallarten. Diese Legierungen lassen sich durch Glühen homogenisieren, so dass Kristalle mit einheitlicher chemischer Zusammensetzung entstehen. Dies wirkt sich vorteilhaft auf Dehnung und Zugfestigkeit des Werkstoffs aus. Bei Gusslegierungen mit höherem Nickelgehalt führt eine Glühbehandlung zu einer erheblich verbesserten Festigkeit, da diese Legierungen aushärtbar sind. Gelegentlich wird bei Bronze-Gusslegierungen ein Entspannungsglühen vorgenommen, um Eigenspannungen abzubauen.

Die Anwendungen

Gusslegierungen aus Bronze bieten dank ihrer vielfältigen Eigenschaften eine ähnlich breite Palette von Anwendungen wie Knetlegierungen. Auch viele Gusswerkstoffe sind korrosions- und verschleißfest sowie meerwasserbeständig. Zahlreiche Legierungen zeichnen sich zudem durch gute Gleit- und Notlauf-eigenschaften aus. Entsprechend finden sich Gusslegierungen im Maschinen-, Schiff- und Automobilbau, im Druckereiwesen sowie in der Papier- und Textilfabrikation, in der chemischen und Nahrungsmittelindustrie wieder. Auch in der Elektrotechnik, im Bauwesen und in der Trinkwasserverteilung ist der Bronzeguss anzutreffen. Das Einsatzspektrum umfasst Ventilgehäuse, Pumpenlaufräder und Armaturen, die im Sandgussverfahren hergestellt werden, Pleuel und Lagerblöcke aus Kokillenguss, Schneckenräder im Schleuderguss. Angesichts der zahlreichen Legierungen, die zum Einsatz kommen, können hier nur einige ausgewählte Werkstoffe skizziert werden.



Zirkulations-Regulierventil für Trinkwasserverteilung

Die Legierung **CuSn10** ist durch eine hohe Bruchdehnung gekennzeichnet und wird ähnlich wie der Werkstoff **CuSn11Ni2** für korrosionsbeständige Armaturen- und Pumpengehäuse sowie für Leit-, Lauf- und Schaufelräder von Pumpen und Wasserturbinen verwendet.

Die Legierung **CuSn12** wird im Sandgussverfahren für schnelllaufende Schnecken und Schraubenräder, unter Last bewegte Spindelmuttern und Kuppelstücke angewandt; im Schleuder- und Strangguss wird diese Legierung wegen ihrer gleichmäßigeren Festigkeit und höheren Härte für hochbeanspruchte Schneckenradkränze und Zylindereinsätze eingesetzt.

Die Legierung **CuSn11Pb2** weist wegen des Bleianteils gute Notlaufeigenschaften auf und wird daher für hoch- und höchstbeanspruchte Gleitlager und -leisten sowie für unter Last mit hoher Geschwindigkeit bewegte Spindelmuttern eingesetzt. Auch Lager, Buchsen und andere Gleitelemente werden aus diesem Werkstoff hergestellt. Mit höheren Bleigehalten lassen sich noch bessere Gleiteigenschaften erzielen.

Der Werkstoff **CuSn12Ni2** eignet sich für hochbelastete Armaturen- und Pumpengehäuse sowie für Leit-, Lauf- und Schaufelräder von Pumpen sowie Wasserturbinen. Auch hier gilt: Die Bauteile aus dieser Legierung sind im Schleuder- und Strangguss hergestellt noch stärker

belastbar als im Sandguss. Diese Verfahren werden daher für höchstbeanspruchte schnelllaufende Schnecken- und Schraubenradkränze sowie unter Last bewegte Muttern angewandt. Der Nickelzusatz setzt die Gefahr der „Grübenbildung“ an den Zahnflanken herab.

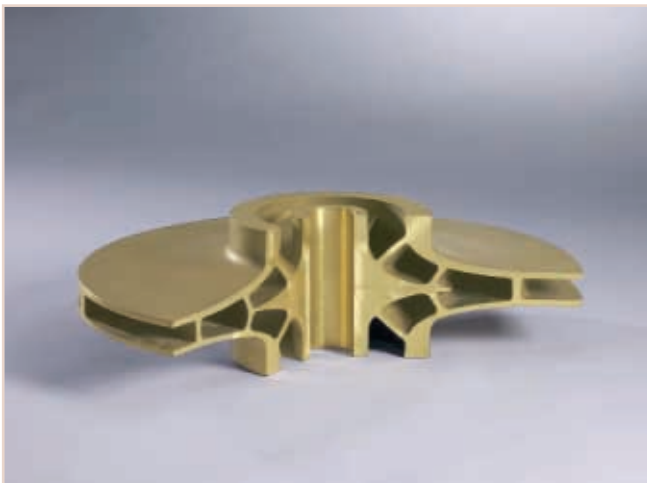
Neben diesen Werkstoffen gibt es eine breite Gruppe von Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen (Rotguss), die meist auch Anteile an Blei enthalten.

Einer der wichtigsten Werkstoffe dieser Gruppe ist die gut gießbare Legierung **CuSn5Zn5Pb5**. Sie eignet sich für qualitativ hochwertige Ventile und Armaturen, für Fittings und Rohrarmaturen sowie Wasser- und Dampfarmaturengehäuse. Auch für dünnwandige, verwickelte Gussteile wird sie genutzt. Ein großes Einsatzgebiet sind zudem Sanitäranwendungen. Hier werden modifizierte Legierungen mit reduzierten Blei- und Nickelanteilen verwendet.

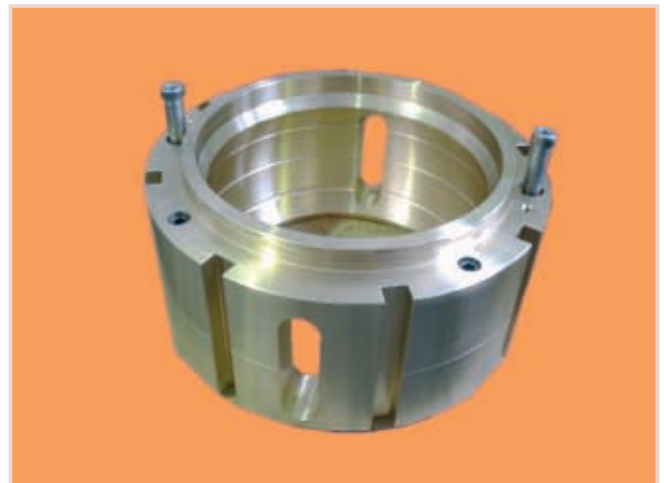
Der Werkstoff **CuSn7Zn2Pb3** wird wegen seiner guten Festigkeit, Dehnung und Gießbarkeit für Armaturen- und Pumpengehäuse sowie für druckdichte Gussteile verwendet.

Hervorzuheben ist auch die Legierung **CuSn7Zn4Pb7**. Dabei handelt es sich um einen universellen Gleitwerkstoff, der bei mittlerer Härte gute Notlaufeigenschaften und ausreichende Verschleißfestigkeit aufweist.

Hauptanwendungen sind Gleitlager und Lagerbuchsen für den Maschinenbau.

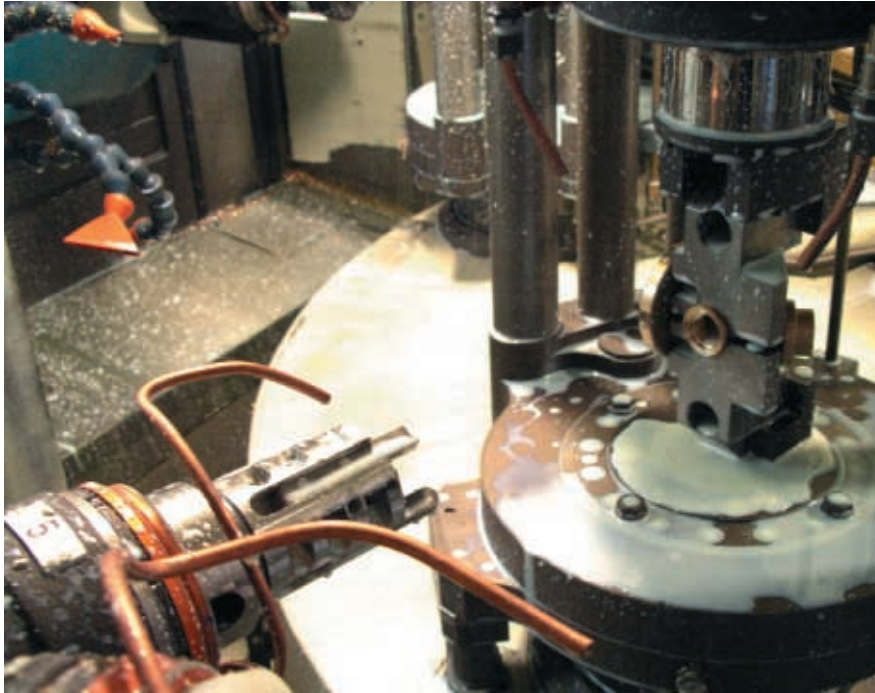


Pumpenlaufrad



2-teilige Kugelbuchse

Die Bearbeitung von Knet- und Gusslegierungen



Bearbeitung von Bronzeguss

Bronze-Knetlegierungen sind mit Ausnahme der bleihaltigen Legierung **CuSn4Pb4Zn4** schwer spanbar. Es bilden sich beim Drehen am Drehmeißel typischerweise Bandspäne und so genannte Aufbauschnitten, die aber durch geeignete Wahl des Vorschubs oder der Schnittgeschwindigkeit verhindert werden können. Verbindungsarbeiten wie das Schweißen sind dagegen im Allgemeinen problemlos möglich. Vor allem das Schutzgasschweißverfahren WIG und das Widerstandsschweißen haben sich bewährt. Als weitere Verbindungsarten kommen neben dem Kleben das Nieten und Schrauben in Betracht. Falls die Bauteile korrosiven Medien ausgesetzt sind, ist darauf zu achten, dass artähnliche Verbindungselemente verwendet werden, um Kontaktkorrosion auszuschließen.

Bronze-Gusslegierungen sind generell besser spanbar als Knetlegierungen vergleichbarer Zusammensetzung. Vor allem Mehrstoff-Legierungen mit Bleianteilen lassen sich hervorragend spanen, da Blei als Spanbrecher wirkt. Das Schweißen von Zweistoff-Gusslegierungen ist problemlos möglich, während Mehrstoff-Bronzeguss nur bedingt schweißbar ist – insbesondere bei mehr als zwei Prozent Bleianteil. Werden kleinere Reparaturschweißungen durchgeführt, ist darauf zu achten, dass Überhitzung und Schweißspannungen vermieden werden. Gusslegierungen lassen sich generell gut wechlöten, wie die Lötfittinge aus Bronze-Werkstoffen für die Kupferrohrinstallation zeigen. Das Kleben, Nieten und Schrauben entspricht dem der Knetlegierungen.

Im Rahmen der beschichteten Oberflächenveredlung von Knet- und Gusslegierungen aus Bronze spielen das Feuerrein- und Diffusionsverzinnen sowie das Flammsspritzen eine besondere Rolle. Für galvanische Überzüge eignet sich eine fast unerschöpfliche Palette von Metallen wie Silber, Gold, Nickel, Chrom und Zinn, die sich leicht aufbringen lassen.

BRONZE – Kreislaufwerkstoff mit langer Tradition

Der nachhaltige Umgang mit Ressourcen und Energie gehört zu den zentralen umweltpolitischen Zielen unserer Zeit. Kupferwerkstoffe wie Bronze erfüllen die Anforderungen an Ressourcenschonung und Energieeffizienz in vorbildlicher Weise. Bronze wird seit jeher in einem Kreislauf von Metallgewinnung, -verarbeitung, -nutzung und -rückgewinnung geführt. Bereits der Koloss von Rhodos, eines der Weltwunder des Altertums, ist beredtes Zeugnis dafür: Die feingehämmerten Bronzebleche, aus denen die Statue gefertigt war, wurden nach ihrer Zerstörung durch ein Erdbeben zu Bronzeblöcken umgeschmolzen und wiederverwertet.

Im Gegensatz zu vielen anderen Werkstoffen werden Kupferwerkstoffe nicht **verbraucht**, sondern **gebraucht** und stehen damit auch künftigen Generationen zur Verfügung. Schätzungen gehen davon aus, dass rund 80 Prozent des je gewonnenen Kupfers heute noch in Gebrauch sind. So ist es also durchaus möglich, dass ein Stück des Koloss von Rhodos heute in einem elektronischen Bauteil steckt.

Modernes Recycling von Kupferwerkstoffen basiert auf eingespielten Verwertungswegen und umweltfreundlichen Prozesstechnologien. Neuschrotte und Altmaterialien können problemlos eingeschmolzen werden. Handelt es sich bei Altschrotten direkt um Bauteile aus Kupferlegierungen, ist dies ohne spezielle Aufbereitung möglich. Bronzen können ohne Qualitätseinbußen beliebig oft recycelt werden. Entsprechend gibt es keine Qualitätsunterschiede zwischen Neu- und Altmetall.

Die Bedeutung des Recyclings ist in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. So wird rund die Hälfte des heutigen Kupferbedarfs in Deutschland aus Sekundärmaterial gedeckt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das heute eingesetzte Altmaterial meist aus langlebigen Wirtschaftsgütern stammt, die zu einem Zeitpunkt hergestellt wurden, als die Produktion deutlich geringer war. Berücksichtigt man die Lebensdauer der Produkte, die bei Autos zehn Jahre, bei Gebäudeinstallationen 80 Jahre und mehr betragen können, ergibt sich eine „produktbezogene“ Recyclingrate, die mit über 80 Prozent wesentlich höher

liegt. Da die Stoffkreisläufe zunehmend geschlossen werden, wird auch diese Verwertungsquote weiter steigen. Dies zeigt, dass die Branche ihrer Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung gerecht wird.

Die Wiederverwertung von Bronzen schon aber nicht nur Rohstoffe, sondern hilft darüber hinaus Energie zu sparen. Denn beim Recycling entfällt zum einen der Energieaufwand, der mit dem Abbau der Primärrohstoffe, ihrer Aufbereitung und ihrem Transport zu den Verarbeitungsstätten verbunden ist. Zum anderen beträgt der Energieeinsatz für das Einschmelzen des Altmaterials nur einen Bruchteil dessen, was für die Metallgewinnung aus Konzentraten erforderlich ist. So wird für das Einschmelzen von Kupferwerkstoffen nur zehn bis zwanzig Prozent des Energiebedarfs benötigt, der zur Metallgewinnung aus Erzen erforderlich ist.

Je öfter daher Bronzen recycelt werden, umso größer ist der Nutzen, den sie stiften. Und um so größer ihre Ressourcen- und Energieeffizienz. Wenige andere Materialien können eine vergleichbare positive Bilanz ziehen.



Bronze – der Kreislaufwerkstoff: Metallgewinnung, -verarbeitung, -nutzung und -rückgewinnung am Beispiel von Gussteilen

BRONZE im Wandel der Zeit

moderne Bronzeplastik: „SonneMond“



Ein Blick auf die Kulturgeschichte zeigt, dass die Nutzung von Metallen den Entwicklungsgang der Menschheit entscheidend beeinflusst hat. Besonders Kupfer als erstes Gebrauchsmetall sowie Bronze als Kupfer-Zinn-Legierung mit verbesserten Werkstoffeigenschaften spielen dabei eine herausragende Rolle.

Die ältesten bekannten Bronzegegenstände datiert aus der Zeit um 3500 v. Chr. und wurden in ägyptischen Gräbern entdeckt. Weitere frühe Bronzefunde um 3000 v. Chr. stammen aus dem Reich der Sumerer, aus Indien, China und Mitteleuropa. Mehr als ein Jahrtausend, von 2200 bis 800 v. Chr., war Bronze das dominierende Material in fast allen Menschheitskulturen. Ein ganzes Zeitalter ist nach dieser Legierung benannt. Schwerter und Dolche, Helme und Schilde, Sichel und Äxte, Schalen und Gefäße, Öllampen und Spiegel, Münzen und

Schmuck sind nur einige Beispiele für das breite Spektrum von Werkzeugen, Waffen und Gebrauchsgegenständen, die die Bronzezeit hervorbrachte. Nicht zu vergessen die zahlreichen Bronze-Standbilder der griechisch-römischen Antike.

Auch in Nord- und Mitteleuropa waren schon früh Techniken zur Verarbeitung von Bronze bekannt. Zu den frühen Kunstwerken dieser Region gehört der Sonnenwagen von Trundholm auf Seeland in Dänemark aus dem 14. Jahrhundert v. Chr. – eine aus Gold, Kupfer und Bronze gefügte Sonnenscheibe auf einem von einem Bronzepferd gezogenen Wagen.

Von großer kulturhistorischer Bedeutung ist der Fund der ca. 3.600 Jahre alten bronzenen Himmelscheibe von Nebra in Sachsen-Anhalt.

Die Erfolgsgeschichte der Bronze erklärt sich aus drei Vorteilen, die die Legierung gegenüber reinem Kupfer aufweist: Bronze ist wesentlich härter als Kupfer, das unlegiert sehr weich und damit als Werkzeug ungeeignet ist.

Durch das Hinzufügen von Zinn wird außerdem der Schmelzpunkt abgesenkt und dem Kupfer Sauerstoff entzogen, so dass der Guss dichter wird. Da die Temperatur beim Gießen noch deutlich höher liegt, Vorteil des Kupfers, seine Biegsamkeit, war dahin.

Viele der metallhandwerklichen Fertigkeiten aus vorchristlicher Zeit gingen später verloren und wurden erst wieder

im abendländischen Mittelalter erreicht. Ab dem 7. Jahrhundert wurde Bronze für das Gießen von Glocken und anderen kirchlichen Gegenständen verwendet. Im 14. Jahrhundert waren es dann vor allem Rohre für Kanonen, die aus Bronze gegossen wurden. Dabei griffen die Gießer auf ihre Erfahrungen aus dem Glockenguss zurück. Die Geschütze jener Zeit wiesen ähnlich wie die Kirchenglocken einen deutlich höheren Anteil an Zinn auf als gewöhnliche Bronze.

Seine Blütezeit erlebte der Bronzeguss schließlich in der Renaissance und hier vor allem als Kunstguss. Viele Künstler jener Zeit zeichneten sich durch schöpferische Kreativität, ein großes Interesse für Technik und Wissenschaft sowie außerordentliche handwerkliche Begabung aus.

Die Tradition des künstlerischen Bronzegusses reicht bis in unsere Tage. Der große Bildhauer des 19. Jahrhunderts, Auguste Rodin, ist nicht zuletzt durch seine einzigartige Bronzeskulptur „Der Denker“ weltberühmt. Der britische Bildhauer und Grafiker Henry Moore wurde im 20. Jahrhundert durch seine großformatigen Bronzeskulpturen weltbekannt.

Während der Bronzeguss auf eine lange Geschichte zurückblicken kann, wurde das Warmwalzen und Strangpressen von Kupfer-Zinn-Knetlegierungen erst in den Jahren nach dem ersten Weltkrieg eingeführt. Seit jener Zeit entwickelte sich das metallurgische Fachwissen über Kupferlegierungen und die Bedeutung der einzelnen Legierungselemente für die Werkstoffeigenschaften zügig und trat an die Stelle des Probierens und der überlieferten Erfahrung.

Heute wird Bronze als maßgeschneiderter Werkstoff in nahezu allen Branchen genutzt, vor allem aber dort, wo Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit gepaart mit hervorragenden Feder- und Gleiteigenschaften gefragt sind. Ob „klassische“ Industriezweige wie der Maschinenbau oder Hightechbranchen wie die Elektronik – Bronze spielt in industriellen Anwendungen eine unverzichtbare Rolle.



**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

┌

┐

└

┘