Deutsches Kupferinstitut

Kupfer-Aluminium-Legierungen

Informationsdruck i.6

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.

Auflage 03/2010

Bildnachweis:
Piel & Adey GmbH & Co. KG, Solingen
Zollern GmbH & Co. KG, Sigmaringen
Mecklenburger Metallguss GmbH, Waren

Kupfer-Aluminium-Legierungen

Eigenschaften – Herstellung – Verarbeitung – Verwendung

Inhalt

1. Allgemeines zu Kupfer-Aluminium-Legierungen 2
1.1 Das Zustandsschaubild Kupfer-Aluminium 2
1.2 Einfluss der Zusatzelemente 2
1.3 Genormte Kupfer-Aluminium-Legierungen 3

2. Eigenschaften 5
2.1 Physikalische Eigenschaften Kupfer-Aluminium-Knet- und Gusslegierungen 5
2.2 Mechanische Eigenschaften 7
2.3 Korrosionsbeständigkeit 12
2.4 Kavitationserosions- und Verschleißbeständigkeit 14

3. Herstellung und Verarbeitung 15
3.1 Schmelzen 15
3.2 Gießen 16
3.3 Spanlose Formgebung 16
3.4 Wärmebehandlung 16
3.5 Spanabhebende Bearbeitung 16
3.6 Verbindungsarbeiten 16
3.7 Oberflächenbehandlung 18

4. Verwendung 19

5. Literatur / Normen 22
6. Verlagsprogramm 24

1. Allgemeines zu Kupfer-Aluminium-Legierungen

Bei den technischen, handelsüblichen Kupfer-Aluminium-Legierungen ist eine optimale Verknüpfung der hervorragenden Korrosionsbeständigkeit in einer Vielzahl aggressiver Medien mit überdurchschnittlichen mechanischen und guten physikalischen Eigenschaften zu beobachten [1]. Deshalb nehmen sie unter den Kupferwerkstoffen eine besondere Stellung ein.

1.1 Das Zustandsschaubild Kupfer-Aluminium

Bild 1 zeigt als Teil des Zustandsschaubildes Cu-Al die Phasenfelder und -gleichgewichte der kupferreichen Zweistoff-Legierungen mit Aluminiumgehalten bis 14 %. Legierungen mit mehr als 14 % Aluminium werden durch Sprühkompaktieren hergestellt. Danach bildet sich ein Bereich der vollständigen Mischbarkeit im festen Zustand mit einer Löslichkeit von Aluminium in Kupfer von 9,4 % bei 565 °C. Diese kubisch-flächenzentrierte (kfz) Mischkristallphase (α) ist durch eine temperaturabhängige Löslichkeit des Aluminiums gekennzeichnet und enthält bei 1032 °C nur noch 7,3 % Al. Bei diesen kupferreichen einphasigen Legierungen findet der Übergang vom festen in den schmelzflüssigen Zustand ohne Beteiligung der kubisch-raumzentrierten (krz) β-Phase statt.
Bei der Erstarrung aus dem schmelzflüssigen Zustand stellt sich jedoch das Phasengleichgewicht so langsam ein, dass bei den nach dem Zustandsschaubild noch homogenen, einphasigen Legierungen mit 8 bis 9,4 % Al im Gussgefüge mit heterogener Gefügeausbildung zu rechnen ist. Je nach Abkühlungsgeschwindigkeit kann das Gefüge einen Anteil der krz ß-Phase oder Zerfallprodukte (γ^2 und ß´) der β-Phase als Ergebnis der bei 565°C ablaufenden eutektoiden ($\beta \rightarrow \alpha + \gamma^2$) Reaktion bzw. einer martensitischen Phasenumwandlung (ß→ ß´) enthalten.

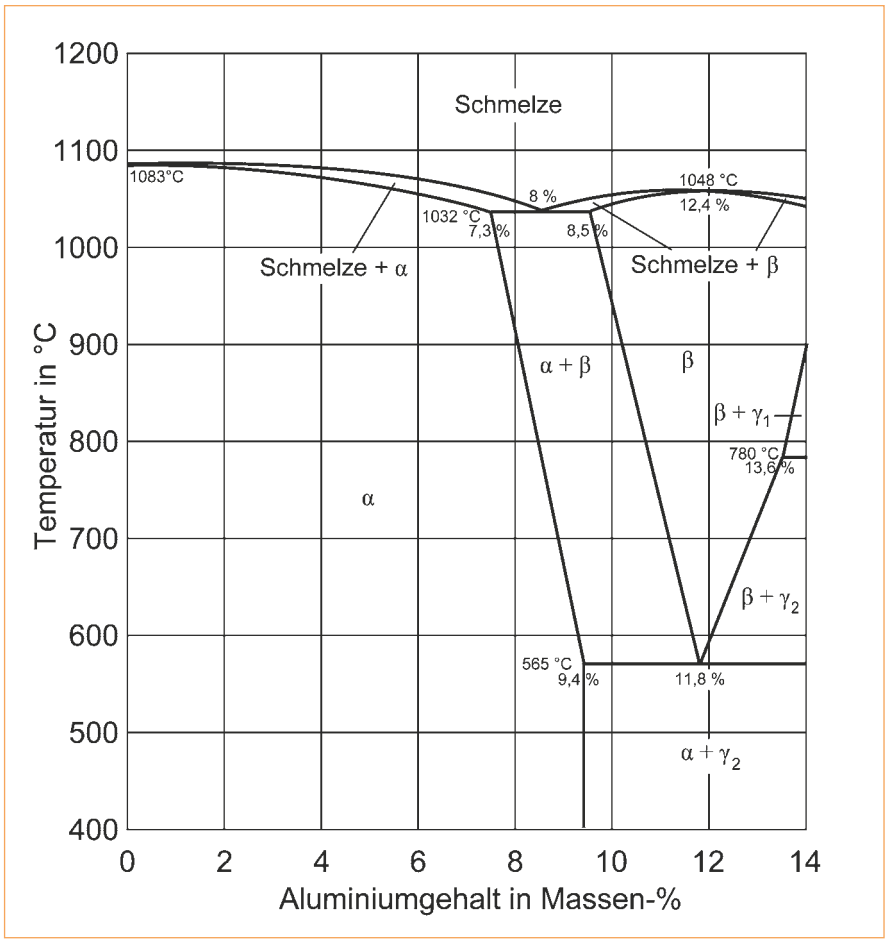


Bild 1: Zustandsschaubild der binären Kupfer-Aluminium-Legierungen bis 14 Gew. % Aluminium (DKI 2481) [1, 2]

Bei der zur Herstellung von Halbzeug üblichen Warmumformung solcher Legierungen erfolgt jedoch ein weitgehender Konzentrationsausgleich in Richtung Phasengleichgewicht, so dass dann Kupfer-Aluminium-Legierungen bis zu Gehalten von ca. 9 % Al ein homogenes α-Gefüge aufweisen können.

Bei den handelsüblichen, im (α+β)-Konzentrationsbereich liegenden heterogenen Kupfer-Aluminium-Mehrstoff-Legierungen wird der β-Zerfall durch Zusätze von Eisen, Mangan und/oder Nickel im Sinne einer Verbesserung der technologischen Eigenschaft durch Bildung von intermetallischen kappa (κ_{I-IV}) Phasen, gezielt beeinflusst.

1.2 Einfluss der Zusatzelemente

Der Zusatz weiterer Legierungselemente führt vornehmlich bei den heterogenen, binären Kupfer-Aluminium-Legierungen des (α+β)-Konzentrationsbereichs über die Beeinflussung des β-Zerfalls (Bild 2) [4] und einen Kornfeinungseffekt zu einer bedeutenden Verbesserung technologisch wichtiger Eigenschaften.
So zeichnen sich die handelsüblichen, mit Eisen bzw. Mangan oder mit Eisen und Nickel auflegierten heterogenen Kupfer-Aluminium-Mehrstoff-Legierungen durch bemerkenswert gute Festigkeitseigenschaften aus.

Eisen feint das Gefüge und erhöht bei Gehalten bis 7 % die Zugfestigkeit der binären Kupfer-Aluminium-Legierungsbasis um etwa 30 bis 40 N/mm² je Prozent Zusatz.

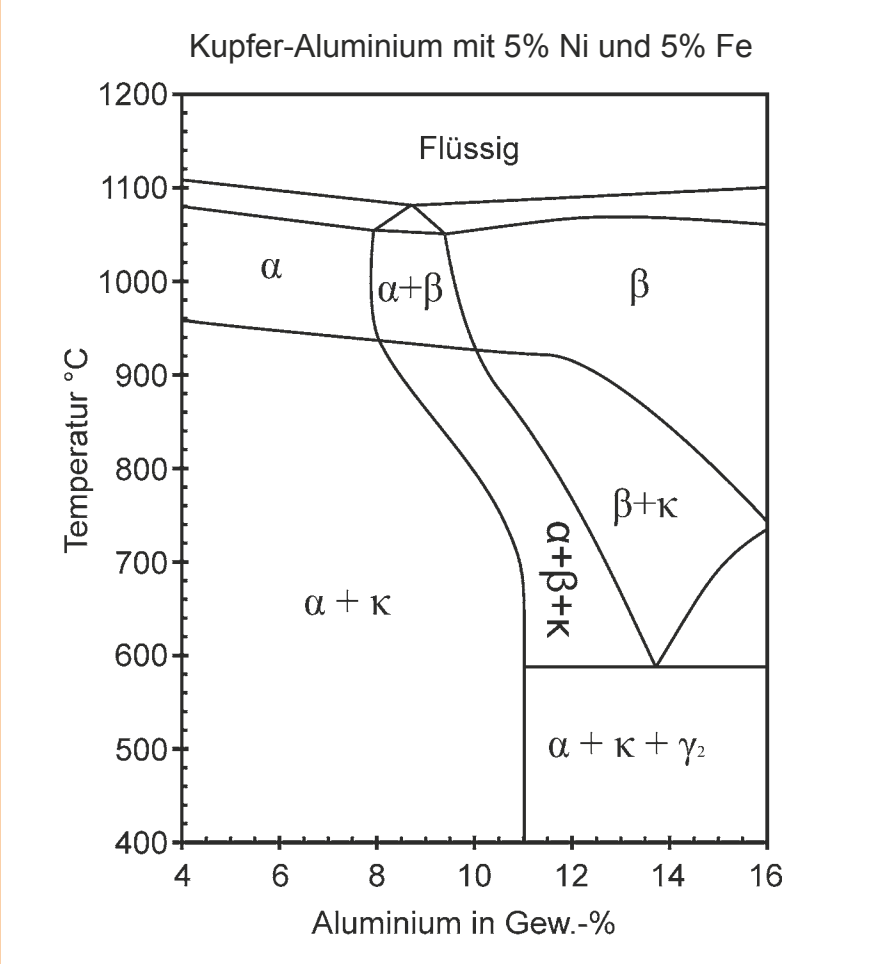


Bild 2: *Zustandsschaubild Mehrstoff Kupfer-Aluminium-Legierungen (DKI 2470) [4]*

Mangan bewirkt eine gute Vordesoxidation der Schmelze und ist zu diesem Zweck in der Regel den eisen- und nickelhaltigen Legierungen dieser Gruppe auch zugesetzt.

Dem **Nickel**-Zusatz ist die hervorragende Korrosionsbeständigkeit der nickel- und eisenhaltigen Kupfer-Aluminium-Legierungen in vielen aggressiven wässerigen Medien – wie z.B. in kaltem und warmem Meerwasser – zuzuschreiben.

Arsen in Mengen von einigen Zehntel Prozenten verbessert bei homogenen α-Kupfer-Aluminium-Legierungen die im Allgemeinen bereits ausgezeichnete Beständigkeit dieser Legierungen insbesondere gegenüber Kalisalzlösungen. Arsen beeinträchtigt jedoch auch, ähnlich wie z.B. Blei oder Wismut, die Warmumformbarkeit.

Silizium führt in Gehalten von etwa 2 % bei den homogenen α- Legierungen zu einer Verbesserung der Zerspanbarkeit und erhöht die Festigkeit erheblich [5].

Als weiterer Legierungszusatz, ist **Kobalt** zu erwähnen,es vermindert die ohnehin bereits geringe Neigung der Kupfer-Aluminium-Legierungen zur selektiven Korrosion (Entaluminierung) und zur Spannungsrisskorrosion [6], [7]. Außerdem verbessert Kobalt das Fließ- und Formfüllungsvermögen in Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen [8].

1.3 Genormte Kupfer-Aluminium-Legierungen

Genormte handelsüblichen Kupfer-Aluminium-Legierungen enthalten bis zu 15 % Al als Hauptlegierungszusatz, wobei jene mit 4,0 bis 9,0 % Al die Gruppe der in der Regel im Gefügeaufbau einphasigen, d.h. homogenen „Zweistoff-Legierungen" kennzeichnen. Legierungen mit etwa 8 bis 15 % Al, die dann stets noch weitere Zusatzelemente – wie z.B. Eisen, Nickel und Mangan – zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften enthalten, bilden die Gruppe der mehrphasigen, d.h. heterogenen „Mehrstoff-Legierungen".

Nach **DIN ISO 1190** werden die Kupfer-Aluminium-Legierungen gemäss ihrer chemischen Zusammensetzung mit dem **Kurzzeichen** CuAl und einer nachgestellten Zahl gekennzeichnet, welche den ungefähren Aluminiumgehalt angibt. CuAl9 enthält demnach etwa 9 % Al und dementsprechend ca. 91 % Cu.

Bei „Mehrstofflegierungen" folgen dem chemischen Symbol und der Prozentangabe für Aluminium im Kurzzeichen die Symbole der wichtigsten Legierungszusätze, z.B. CuAl9Ni3Fe2 mit 9 % Al, 3 % Ni und 2 % Fe. Kurzzeichen für Gusslegierungen enden zusätzlich mit einem „C" (Bsp.: CuAl9-C).

Die Werkstoffbezeichnung erfolgt ebenfalls mit **Werkstoffnummern**, die nach **DIN EN 1412** aus einer Buchstaben-Zahlen-Kombination (alpha-numerisch) bestehen. Es ist zwischen den Knetlegierungen (d.h. plastisch gut verformbaren) mit „CW" bezeichnet (Bsp.: CW307G für CuAl10Ni5Fe4) die zu Halbzeug wie Blechen, Platten, Stangen, Ronden, Gesenk- und Freiformschmiedestücken usw. verarbeitet, und den Gusslegierungen (d.h. gut gießbaren) mit „CC" bezeichnet (Bsp.: CC330G für CuAl9-C), aus denen Gussteile nach den verschiedensten Gießverfahren hergestellt werden, zu unterscheiden.

Gemäß den üblichen Verfahren für Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen werden diese entsprechend ihrer Eignung in Strang (GC)-, Kokillen (GM)-, Sand (GS)- und Schleuderguss (GZ) eingeteilt.

Für die beiden Knet- und Gusswerkstoff-Gruppen sind die **Zustandsbezeichnungen** in **DIN EN 1173** festgelegt. Die chemische Zusammensetzung, die Eigenschaften, die Lieferbedingungen und ggf. die Prüfbedingungen der Legierungen sind in den entsprechenden **Produktnormen** für Halbzeuge und Gusserzeugnisse definiert (Tabelle 1 und Ausklapptabelle).

Die vielseitigen Eigenschaften der Kupfer-Aluminium-Legierungen lassen sich hier nur allgemein darstellen. Zur ausführlichen Information sei auf das einschlägige Schrifttum verwiesen (z.B. [1], [4], [9], [10], [11]).

Werkstoffbezeichnung		Produktformen und verfügbare Werkstoffe*																											
		Walzflacherzeugnisse								Rohre										Stangen, Profile, Drähte								Schmiedevormaterial und Schmiedestücke	
Kurzzeichen	Nummer	EN 1172	EN 1652	EN 1653	EN 1654	EN 1758	EN 13148	EN 14599	EN 14436	EN 1057	EN 12449	EN 12450	EN 12451	EN 12452	EN 12735-1	EN 12735-2	EN 13348	EN 13349	EN 13600	EN 1977	EN 12163	EN 12164	EN 12166	EN 12167	EN 12168	EN 13601	EN 13602	EN 13605	EN 12165	EN 12420
Kupfer-Aluminium-Legierungen																													
CuAl5As	CW300G												●																
CuAl7Si2Fe	CW301G																				●			●					●	●
CuAl7Si2	CW302G																				●			●					●	●
CuAl8Fe3	CW303G		●	●																									●	●
CuAl9Ni3Fe2	CW304G			●																									●	●
CuAl10Fe1	CW305G																				●			●					●	●
CuAl10Fe3Mn2	CW306G																				●			●					●	●
CuAl10Ni5Fe4	CW307G																				●			●					●	●
CuAl11Fe6Ni6	CW308G																				●			●					●	●

Tabelle 1: *Halbzeug aus Kupfer-Aluminium-Legierungen nach Europäischen Produktnormen*, Auszug aus DIN CEN/TS 13388*

** Gusslegierungen sind in der Produktnorm für Gusserzeugnisse DIN EN 1982 festgelegt.*

2. Eigenschaften

2.1 Physikalische Eigenschaften
Einige wichtige physikalische Eigenschaften der genormten Kupfer-Aluminium-Legierungen sind in der Ausklapptabelle zusammengestellt.

Der Aluminiumzusatz bewirkt eine Änderung der **Farbe** des Kupfers von Kupferrot über Goldtöne zu gelblicher Färbung bei etwa 10 % Al.

Die **Dichte** des reinen Kupfers beträgt 8,93 kg/dm³ bei 20 °C. Wie Bild 3 zeigt, nimmt sie mit steigendem Aluminiumgehalt fast linear bis auf etwa 7,5 kg/dm³ bei 10 % Al ab (s. Ausklapptabelle).

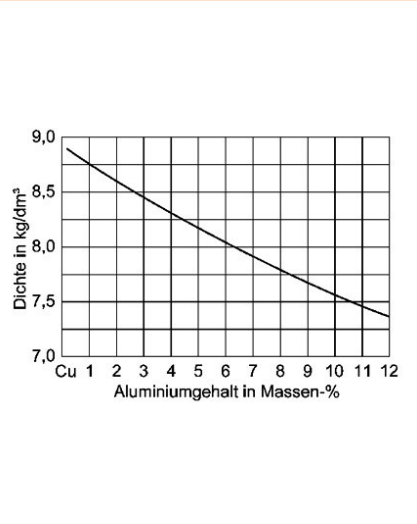


Bild 3: *Dichte der Kupfer-Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit vom Aluminiumgehalt DKI 2266 [1]*

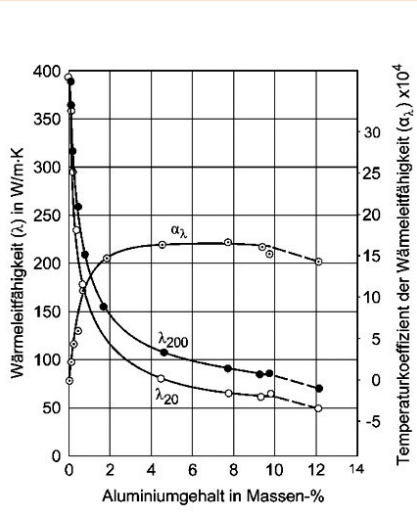


Bild 4: *Wärmeleitfähigkeit der Kupfer-Aluminium-Legierungen bei 20°C (λ20), bei 200°C (λ200) und Temperaturkoeffizient der Wärmeleitfähigkeit αλ in Abhängigkeit vom Aluminiumgehalt DKI 1735 [1]*

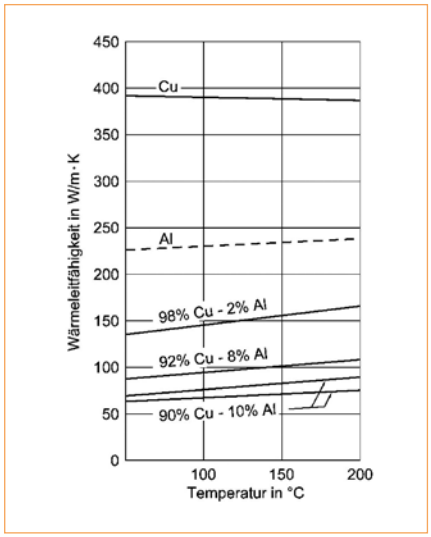


Bild 5: *Wärmeleitfähigkeit einiger binären Kupfer-Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit von der Temperatur DKI 1736 [11]*

Werkstoffe	Wärmeausdehnungskoeffizient [10^{-6} / K]								
	-100 bis 0°C	-50 bis 0°C	0 bis 100°C	0 bis 200°C	0 bis 300°C	0 bis 400°C	0 bis 500°C	0 bis 600°C	0 bis 700°C
Knetlegierungen									
CuAl5	-	-	17	-	18	-	-	-	-
CuAl7	-	-	-	-	17	-	-	-	-
CuAl7Si2	-	-	18	-	18	-	-	-	-
CuAl8	-	-	16	-	17	-	-	-	-
CuAl8Fe3	-	-	16	-	17	-	-	-	-
CuAl9Mn2	-	-	16	-	17	-	-	-	-
CuAl9Ni6Fe3	-	-	16	-	17	-	-	-	-
CuAl10Fe3	-	-	15	-	17	-	-	-	-
CuAl10Ni5Fe4	-	-	-	-	18	-	-	-	-
CuAl11Ni6Fe5	-	-	16	-	17	-	-	-	-
Gusslegierungen									
CuAl9Fe2-C	15,5	15,9	16,3	16,5	17,1	17,8	18,4	18,8	19,3
CuAl6Si2-C					16,2				
CuAl10Fe5Ni5-C	15,5	15,9	16,3	16,5	17,	17,8	18,4	18,8	19,3
CuAl9Ni5Fe4Mn-C					16,2				
CuMn13Al8Fe3Ni3-C	15,17		17,7	18,56*	21,34**				

** Temperaturbereich von 100 bis 230°C;*
***Temperaturbereich von 230 bis 325°C*

Tabelle 2: *Wärmeausdehnungskoeffizient einiger Legierungen in Abhängigkeit der Temperatur*

Der **Elastizitätsmodul** der handelsüblichen Kupfer-Aluminium-Legierungen liegt bei Werten zwischen 105 und 130 kN/mm² (s. Ausklapptabelle).
Im α-Bereich nimmt er mit zunehmendem Aluminiumgehalt ab und steigt mit dem Auftreten der γ_2-Phase stark an [12].
Der **Gleitmodul** liegt zwischen 43 und 45 kN/mm² (s. Ausklapptabelle).
Die **Poisson-Zahl** (Querkontraktionszahl) „υ" beträgt 0,30-0,35.

2.1.1 Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung

Die **Wärmeleitfähigkeit** wird durch den Aluminiumgehalt herabgesetzt (Bild 4). Mit der Temperatur steigt die Wärmeleitfähigkeit der Kupfer-Aluminium-Legierungen an (Bild 5).

Der **Temperaturkoeffizient der Wärmeleitfähigkeit** nimmt mit dem Aluminiumgehalt zu (Bild 4).

Der **Wärmeausdehnungskoeffizient** erfährt durch den Aluminiumgehalt nur wenig Veränderung (Ausklapptabelle). Mit steigender Temperatur wächst der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient Tabelle 2 [4].

2.1.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit und sein Temperaturkoeffizient verringern sich mit zunehmendem Aluminiumgehalt (Bild 6). Zusätze wie Eisen sowie insbesondere Mangan und Nickel setzen sie weiter herab (Ausklapptabelle). Die handelsüblichen Kupfer-Aluminium-Legierungen erreichen etwa 12 bis 17 % der Leitfähigkeit des reinen Kupfers.

Mit zunehmender Temperatur wird die elektrische Leitfähigkeit der Kupfer-Aluminium-Legierungen geringer (Bild 7).

Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands zeigt Bild 8 am Beispiel der Legierung CuAl10Ni5Fe4.

2.1.3 Magnetische Eigenschaften

Die magnetischen Eigenschaften der Kupfer-Aluminium-Legierungen werden von den weiteren Zusätzen am stärksten durch **Eisen** verändert (Bild 9). Der in der binären Legierungsbasis sehr schwache Paramagnetismus wird durch Eisen erheblich verstärkt. Der kritische Eisengehalt von amagnetische Verwendung ($\mu \approx 1{,}001$) findenden Kupfer-Aluminium-Werkstoffen liegt für nickelfreie Legierungen bei weniger als 0,15 % Fe. Für nickelhaltige (etwa 4 % Ni) Legierungen liegt der Fe-Gehalt bei 0,5 %.

Nickel hat in den üblichen Mengen nur eine geringe Wirkung auf die Permeabilität der Kupfer-Aluminium-Legierungen (Bild 10).

Mangan beeinflusst nur geringfügig die Permeabilität (siehe CuAl9Mn2 in der Ausklapptabelle).

Durch geeignete **Wärmebehandlung** lassen sich die magnetischen Eigenschaften weiter verbessern. Dies zeigt Tabelle 3 am Beispiel der Legierung CuAl10Ni5Fe4 (900°C/Wasser und 1 h/650°C/Luft).

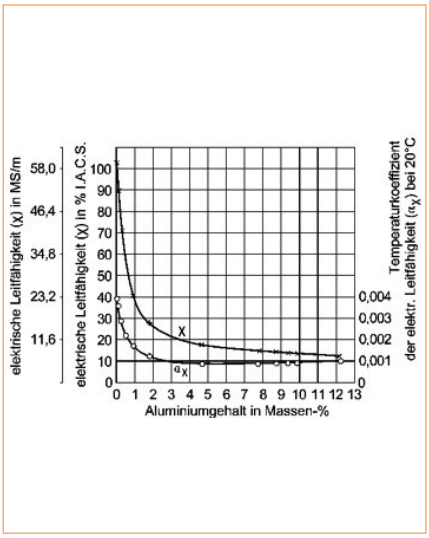


Bild 6: Elektrische Leitfähigkeit κ und Temperaturkoeffizient der elektrischen Leitfähigkeit αk bei 20°C (DKI 1741) [1]

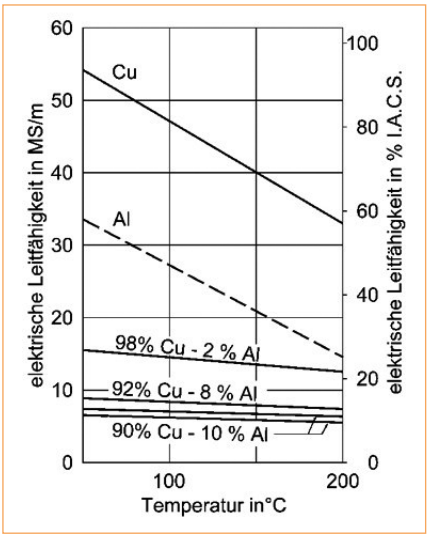


Bild 7: Elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur und des Aluminiumgehaltes (DKI 1742) [11]

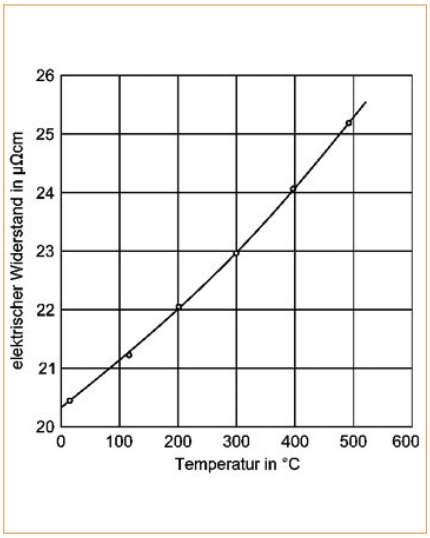


Bild 8: Elektrischer Widerstand von CuAl10Ni5Fe4 (1h geglüht bei 550°C) in Abhängigkeit der Temperatur (DKI 1743) [13]

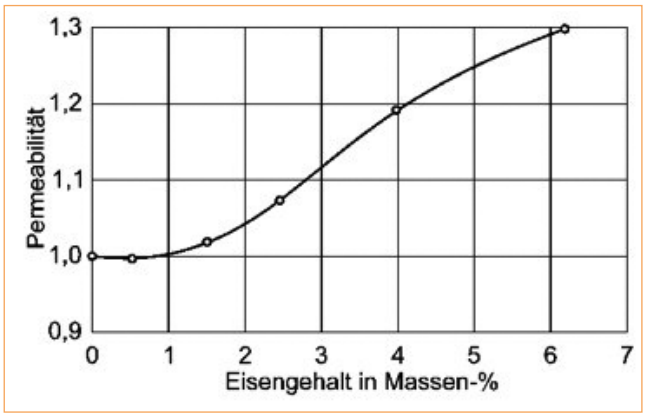


Bild 9: *Permeabilität von CuAl10Ni5Fe4 in Abhängigkeit vom Eisengehalt bei 78,5 A/cm Feldstärke (DKI 1744) [14]*

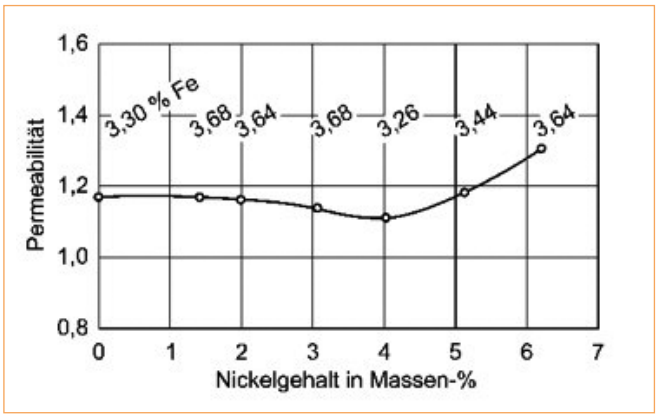


Bild 10: *Permeabilität von CuAl10Ni5Fe4 in Abhängigkeit vom Nickelgehalt bei 78,5 A/cm Feldstärke (DKI 1745) [14]*

2.2 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften der genormten Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen sind in den Halbzeug-Produkt- und Gusserzeugnisnormen festgelegt.

2.2.1 Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur

Die **Zugfestigkeit** der binären Kupfer-Aluminium-Legierungen steigt im Gusszustand mit zunehmendem Aluminiumgehalt zunächst gleichmäßig an, um oberhalb von etwa 10 % Al durch die versprödende Wirkung des als Zerfallsprodukt der β-Phase auftretenden Gefügebestandteils γ^2 rasch abzufallen (Bild 11). In den handelsüblichen heterogenen Kupfer-Aluminium-Mehrstoff-Legierungen wird diese Phasenreaktion durch den Zusatz weiterer Legierungselemente gezielt beeinflusst, womit sowohl bei statischer als auch bei dynamischer Belastung die sehr hohen Festigkeitswerte dieser Legierungsgruppe erklärbar sind. Die **Bruchdehnung** erreicht ihren Höchstwert bereits bei Aluminiumgehalten zwischen 5 und 8 % (Bild 11).

Die **Härte** der homogenen Legierungen nimmt über den gesamten Konzentrationsbereich des Aluminiums gleichmäßig zu.

2.2.1.1 Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen

Die mechanischen Eigenschaften der kaltumformbaren Knetlegierungen sind im Wesentlichen vom Verformungsgrad abhängig. Neben den Legierungsbestandteilen sind ferner Korngröße und Verformungsverfahren, die Verfestigung und Texturbildung und damit auch die mechanischen Eigenschaften bestimmen, von Bedeutung. Bei den kaltumformbaren, homogenen Knetlegierungen steigen mit zunehmendem **Kaltumformungsgrad** Zugfestigkeit, Dehngrenze und Härte an, Bruchdehnung und Brucheinschnürung nehmen dagegen ab. Dies zeigt Bild 12 am Bei-

Wärmebehandlung	*Permeabilität μ bei H = 78,5 A/cm²*	*Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm²*	*Zugfestigkeit R_m N/mm²*	*Bruchdehnung A_5 %*
Ausgangszustand: stranggepresst	*1,195*	*365*	*727*	*18*
geglüht bei 900° C (1h) – abgeschreckt	*1,145*	*432*	*784*	*5,5*
nachgeglüht bei 500° C (1h)	*1,22*	*513*	*769*	*8,5*
nachgeglüht bei 550° C (1h)	*1,18*	*518*	*767*	*11,0*
nachgeglüht bei 600° C (1h)	*1,15*	*437*	*759*	*11,0*
nachgeglüht bei 650° C (1h)	*1,057*	*455*	*706*	*14,0*
nachgeglüht bei 700° C (1h)	*1,15*	*442*	*753*	*12,0*

Tabelle 3: *Einfluss der Wärmebehandlung auf die magnetische Permeabilität μ und mechanischen Eigenschaften von CuAl10Ni5Fe4 [14]*

spiel der Knetlegierung CuAl8. Je nach Zusammensetzung bzw. Kaltumformungsgrad liegt die Zugfestigkeit der Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen zwischen 340 und etwa 830 N/mm² (siehe Ausklapptabelle).

2.2.1.2 Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen

Die Festigkeitskennwerte der Gusslegierungen werden außer von der Legierungszusammensetzung auch vom **Gießverfahren** beeinflusst. Dies ist aus dem Vergleich der Festigkeitskennwerte der Lieferformen für die Gusslegierungen zu ersehen (siehe Ausklapptabelle).

2.2.2 Mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen

Bei erhöhten Betriebstemperaturen liegen die nickel- und eisenhaltigen Kupfer-Aluminium-Mehrstoff-Legierungen wegen ihrer hohen Ausgangsfestigkeit besonders günstig (Bild 13a und 13b). Sie können ihrer Warmfestigkeit entsprechend bei Temperaturen bis 300°C (überwachungspflichtige Bauteile bis 250°C) eingesetzt werden [22]. Bei Langzeitbeanspruchungen und hohen Temperaturbeanspruchungen werden die Einsatzmöglichkeiten durch die Kriecheigenschaften (Zeitstandfestigkeit) bestimmt. In Zeitstandversuchen von 30.000 h Dauer wurden die Kriecheigenschaften für den Werkstoff CuAl10Ni5Fe4 bestimmt. Die so ermittelten Festigkeitswerte erlauben es, das Verhalten des Werkstoffs für Temperaturen bis 250°C und Betriebszeiten bis maximal 100 000 h abzuschätzen (Bild 14) [25].

2.2.3 Mechanische Eigenschaften bei tiefen Temperaturen

Bild 13a zeigt, dass Kupfer-Aluminium-Legierungen auch bei tiefen Temperaturen gute mechanische Eigenschaften aufweisen. Sie neigen nicht zum Verspröden und sind deshalb für Anwendungen in der Tieftemperaturtechnik hervorragend geeignet. Z.B. besitzt

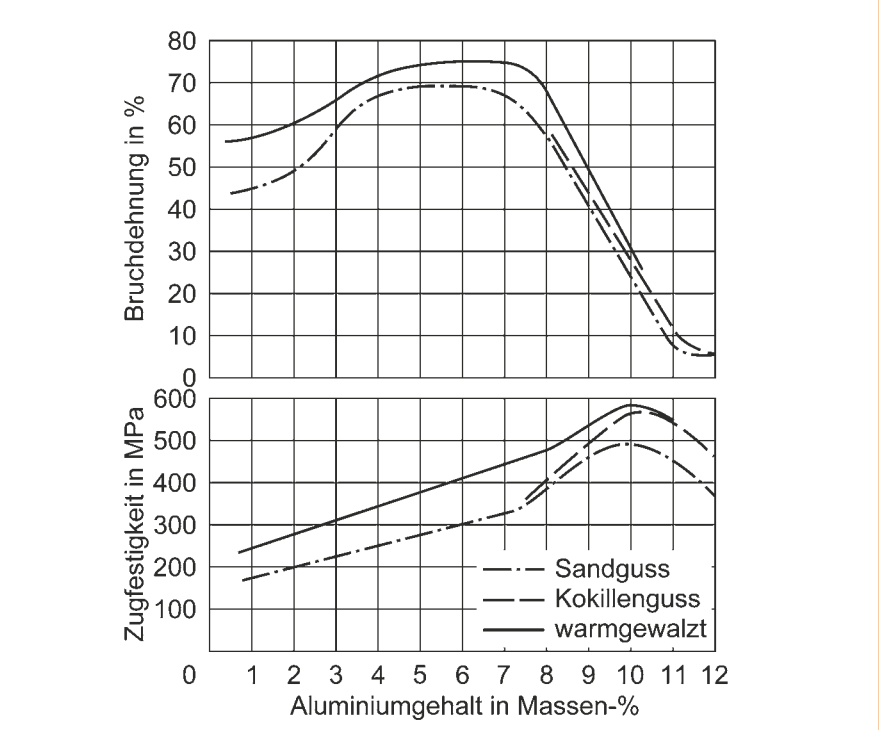


Bild 11: *Zugfestigkeit und Dehnung der Kupfer-Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit vom Aluminiumgehalt (DKI 2482) [1]*

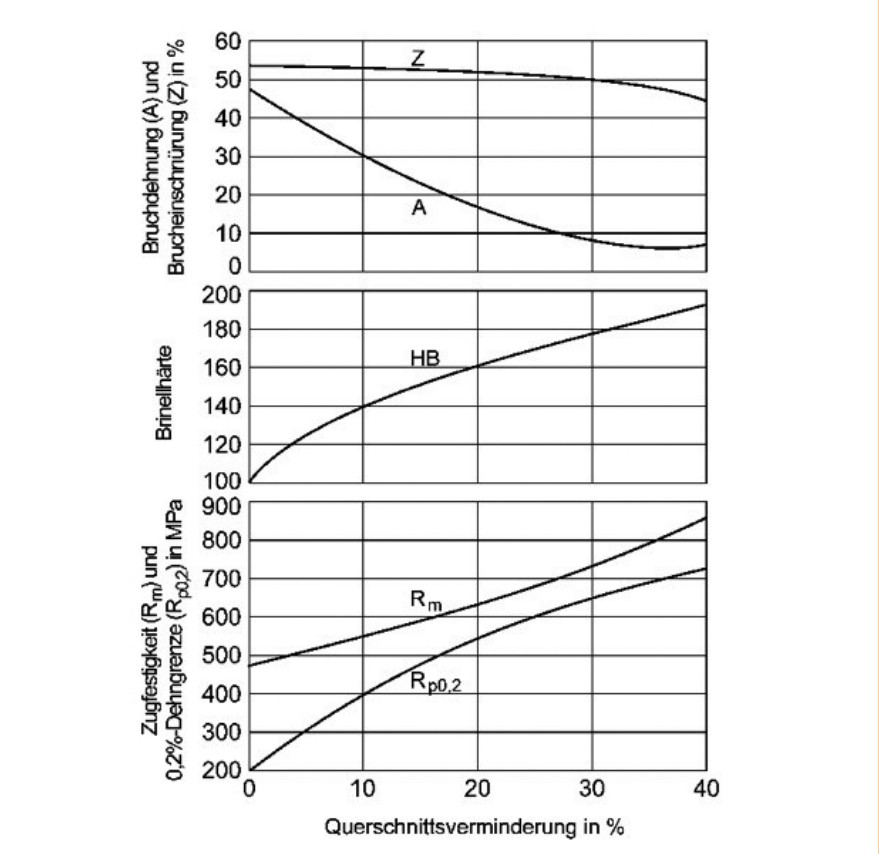


Bild 12: *Einfluss der Kaltumformung auf die mechanischen Eigenschaften von CuAl8 (DKI 2483) [13]*

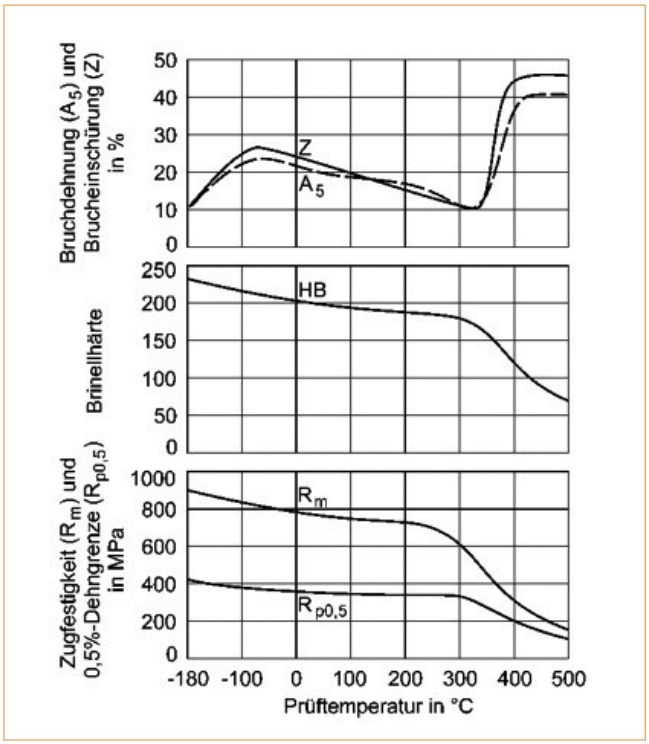


Bild 13a: *Festigkeitswerte der Knetlegierung CuAl10Ni5Fe4 zwischen -180 et +500 °C (DKI 2484) [13]*

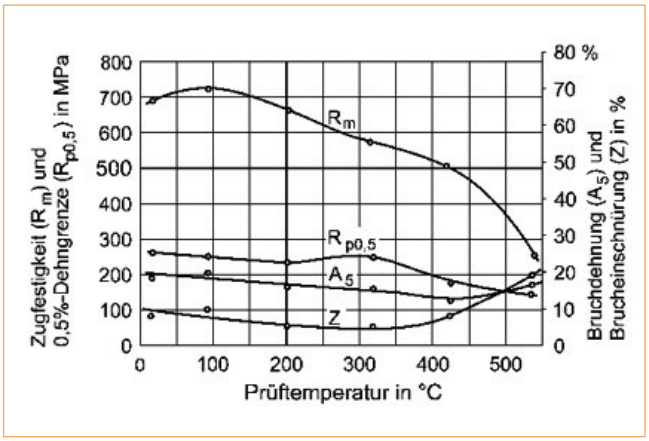


Bild 13b: *Festigkeitswerte der Gusslegierung CuAl10Fe2-C (DKI 1746) [13]*

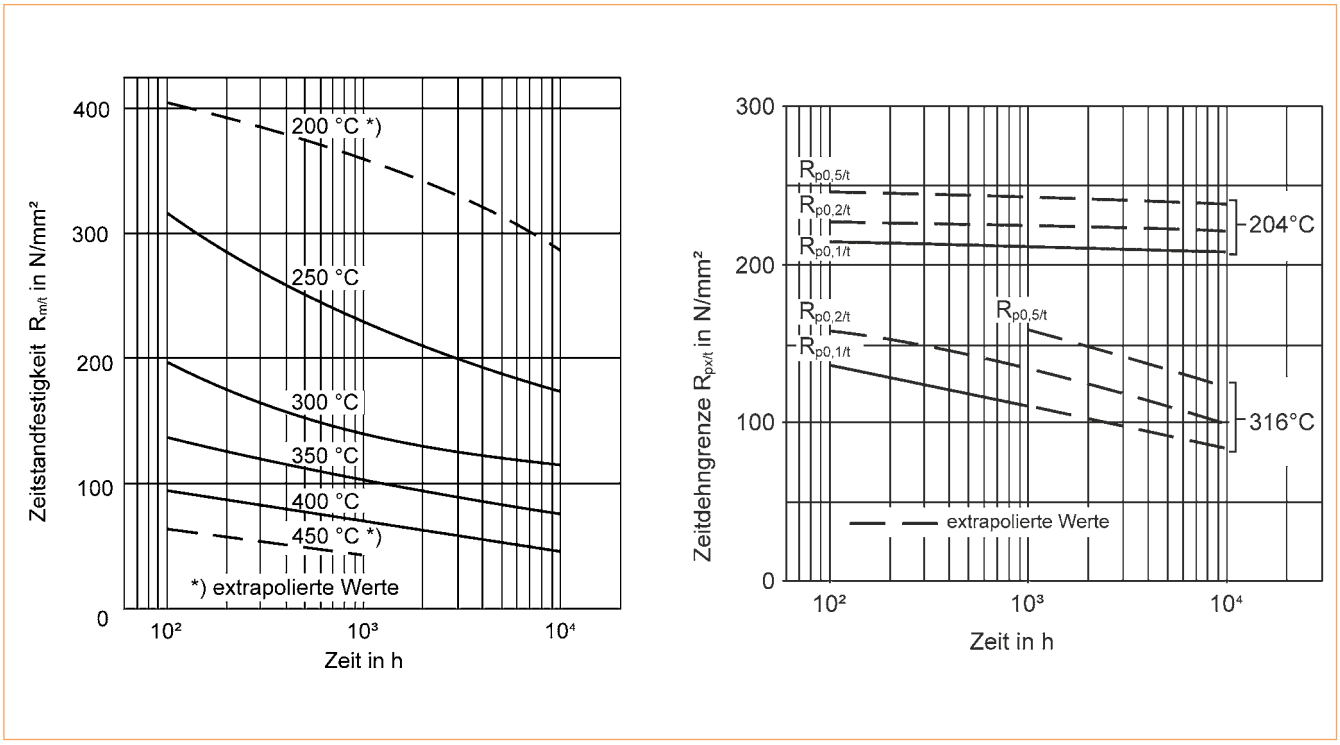


Bild 14: *Zeitstandfestigkeit von Kupfer-Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit der Temperatur (DKI 2475A und DKI 2475B) [22, 25]*

CuAl9Mn2 im Tieftemperaturbereich bei fast unveränderten Festigkeitseigenschaften eine gleichmäßig hohe Kerbschlagzähigkeit (Bild 15). Diese liegt zwar niedriger als bei vielen Stählen, jedoch tritt kein Steilabfall bei tiefen Temperaturen auf.

2.2.4 Dauerfestigkeit von Kupfer-Aluminium-Legierungen

2.2.4.1 Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen

Die Dauerfestigkeit ist für die sichere Verwendung von Bauteilen unter mechanischen Belastungen ausschlaggebend. Sie ist abhängig von vielen Einflussgrößen; unter anderem von der Bauteilform und seiner Abmessung.

Die Dauerfestigkeitswerte für einige einphasige Kupfer-Aluminium-Legierungen mit Aluminiumgehalten bis etwa 8 Mass.-% zeigt die Tabelle 4.

Eine weitere Einflusskomponente auf die Dauerfestigkeit ist die Gefügestruktur, wobei die chemische Zusammensetzung maßgeblich ist. Zweiphasige Legierungen haben in der Regel eine höhere Dauerfestigkeit als einphasige (vgl. Tabelle 5).

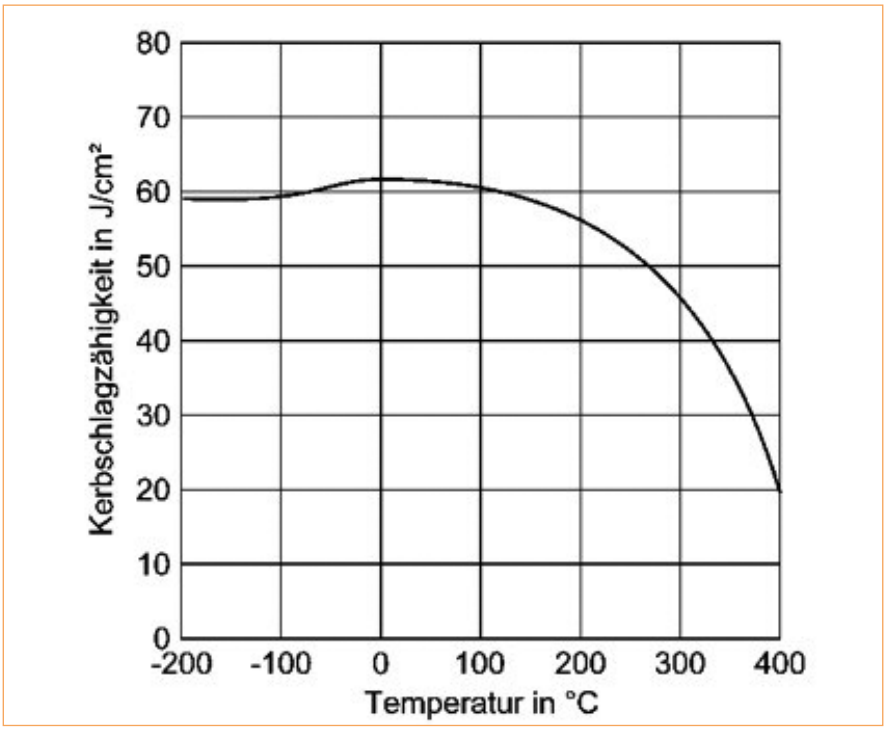


Bild 15: *Kerbschlagzähigkeit der Knetlegierung CuAl9Mn2 in Abhängigkeit der Temperatur [16] (DKI 2268) [16]*

Mehrphasige Legierungen (Bsp. CuAl-10Ni5Fe4) werden in vielen Bereichen eingesetzt, in denen sie unter Ermüdungsbelastungen ihre Eignung unter Beweis stellen müssen. Durch eine geeignete Wärmebehandlung oder Kaltverformung lassen sich die Dauerfestigkeitswerte in einer großen Bandbreite variieren (Tabelle 6). Eine korrosive Umgebung hat einen erheblichen Einfluss auf die Dauerfestigkeit (Bild 16).

Werkstoff	Bauteilform	Behandlungszustand	Lastwechsel x10⁶	Zugfestigkeit [N/mm²]	Dauerfestigkeit [N/mm²]
CuAl5	Blech	weichgeglüht	20	422	157 (a)
	Rundstange ∅ 25 mm	gewalzt	100	495	132 (b)
	Kondensatorrohr	weichgeglüht	100	392	108
CuAl7	Rundstange ∅ 12,5 mm	hart	300	472	96,5 (c)
	Rundstange (e) ∅ 19 mm	stranggepresst und leicht gezogen	52,52 (h)	549	216 (c)
	Rundstange (f) ∅ 25 mm	gewalzt	100	598	167 (b)
CuAl8	Rundstange ∅ 42 mm	geschmiedet	50	515	181(b)
	Stange	kaltgewalzt 11,5 %	300	672	152 (c)
	Draht (g)	weichgeglüht (Korngröße 0,16 mm)	10 (h)	422	157 (d)

(a) Rotierender Biegewechsel-Test
(b) Umlaufbiege-Cantilever-Test
(c) Umlaufbiegetest
(d) Druck-Zug Test
(e) Zusatz 1,4 % Zn
(f) Al-Gehalt 9,1 %
(g) Al-Gehalt 7,9 %
(h) ungebrochene Probe

Tabelle 4: *Dauerfestigkeitswerte von einphasigen Kupfer-Aluminium-Legierungen bei Raumtemperatur [4]*

Werkstoff	Bauteilform	Behandlungszustand	Lastwechsel x10⁶	Zugfestigkeit [N/mm²]	Dauerfestigkeit [N/mm²]
CuAl7Si2	Rundstange ∅ 12,5 mm	Hart	300	741	179 (c)
	Blech	geschmiedet	40	520	>118 (a)
CuAl9Mn2	Rundstange ∅ 25–50 mm	kaltgewalzt	50	642	>235 (a)
	Rundstange (e) ∅ 50 mm	geschmiedet	50	726	255 (a)
	Rundstange (f) ∅ 80 mm	geschmiedet	20	540	186 (a)
			20	490	177 (a)
CuAl10Fe3	Rundstange ∅ 14 mm	10 % gezogen	100	641	196 (c)
	Rundstange ∅ 25 mm	gewalzt	100	683	241 (b)

(a) Rotierender Biegewechseltest (b) Umlaufbiege-Cantlever-Test (c) Umlaufbiegetest

Tabelle 5: Dauerfestigkeitswerte für zweiphasige Legierungen bei Raumtemperatur [4]

Werkstoff	Bauteilform	Behandlungszustand	Lastwechsel x10⁶	Zugfestigkeit [N/mm²]	Dauerfestigkeit [N/mm²]
CuAl9Ni6Fe3	Rundstange ∅ 12,5 mm	11,5 % kaltgewalzt	300	860	221 (c)
	Rundstange ∅ 16 mm	wärmebehandelt	100	804	290 (c)
CuAl10Ni5Fe4	Keine Angabe	Geglüht	100	712	241 (b)
	Keine Angabe	Keine Angabe	100		172 (a)
	6,4 mm Blech	50 % warmgewalzt (e)	50	–	278 (a)
		50 % warmgewalzt (e)	50	–	293 (b)
CuMn13Al8Fe3Ni3	Rundstange ∅ 15 mm	15 % kaltgewalzt	30	822	304 (a)
	Rundstange ∅ 25–50 mm	Geschmiedet	20	883	324 (b)
	Rundstange ∅ 35 mm	10 % kaltgewalzt	30	711	265 (a)
	Rundstange ∅ 45 mm	10 % kaltgewalzt	30	738	289 (a)
	Rundstange ∅ 50 mm	Geschmiedet	30	723	285 (a)
	Stange	Geglüht	40	540	255 (b)
	Stange	Geglüht	35	711	275 (b)
	Stange	geschmiedet	20	736	294 (a)
		20 % kaltgewalzt	20	883	353 (a)
	Stange	Geschmiedet	56,8	798	347 (c)
	Stange	Geschmiedet	20	765	294 (b)
			20	814	336 (b)
	Keine Angabe	geschmiedet	57	507	221 (c)
	Keine Angabe	geschmiedet	100	730	309

(a) Rotierender Biegewechseltest (c) Umlaufbiegetest (e) Zusatz 1,4 % Zn
(b) Umlaufbiege-Cantilever-Test (d) Druck-Zug-Test (f) Aluminiumgehalt 9,1 %

Tabelle 6: Dauerfestigkeitswerte für Mehrstoff-Legierungen [4]

2.2.4.2 Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen

Gusslegierungen werden in vielen Bereichen der Industrie in korrosiver Umgebung, z.B. als Pumpengehäuse und Schiffspropeller eingesetzt (siehe auch Bild 25 und Bild 32). Den negativen Einfluss der Korrosion auf die Dauerfestigkeit hochmanganhaltiger Kupfer-Aluminium-Mehrstofflegierungen zeigt Bild 16.

Bei Untersuchungen an Kupfer-Aluminium-Legierungen für Schiffspropeller konnte ein Zusammenhang zwischen der Bauteildicke und der Dauerfestigkeit festgestellt werden (Bild 17) [4]:

σ_b **= 160,5 + 24,4** σ_b **log S**
mit S = Bauteildicke

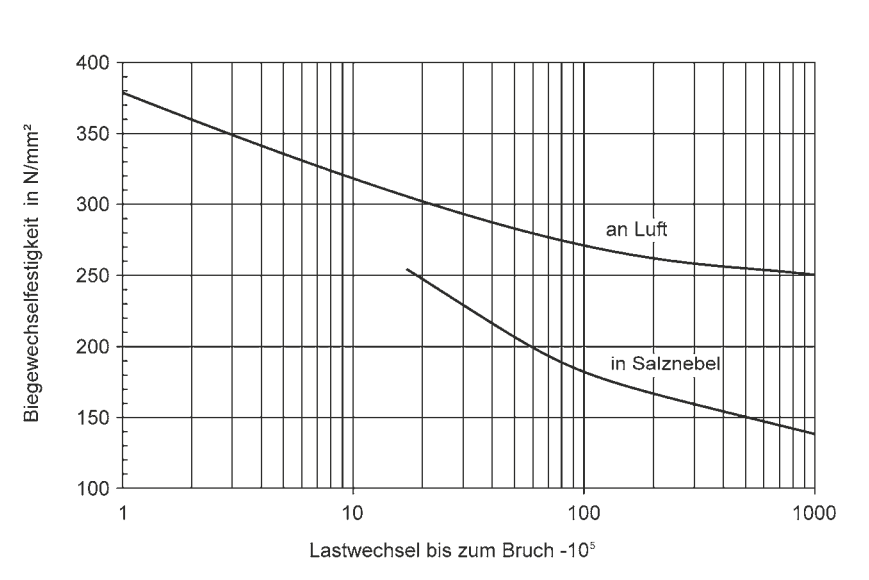
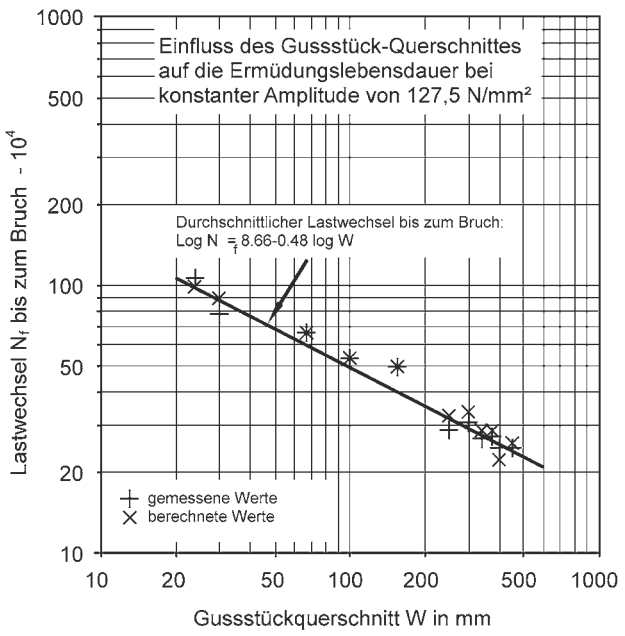


Bild 16: *Einfluss der korrosiven Umgebung auf die Dauerfestigkeit hochmanganhaltiger Kupfer-Aluminium-Mehrstofflegierungen (CuMn13Al8Fe3Ni3) (DKI 2476) [4]*

2.3 Korrosionsbeständigkeit

Die ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit der technischen Kupfer-Aluminium-Legierungen beruht auf einer Verknüpfung der Beständigkeit der Legierungsbasis Kupfer mit der chemischen Resistenz eines sich auf der Werkstoffoberfläche schnell bildenden und bei Verletzung rasch ausheilenden oxidischen Schutzfilms. Dieser verdankt seine Bildung in erster Linie der großen Affinität des Hauptlegierungszusatzes Aluminium zu Sauerstoff und besteht somit im Wesentlichen aus Al_2O_3.

Andererseits erklärt die chemische Instabilität einer solchen oxidischen Deckschicht in stark sauren Medien mit hohem Oxidationsvermögen den nur geringen Korrosionswiderstand von Kupfer-Aluminium-Legierungen in Salpetersäure.



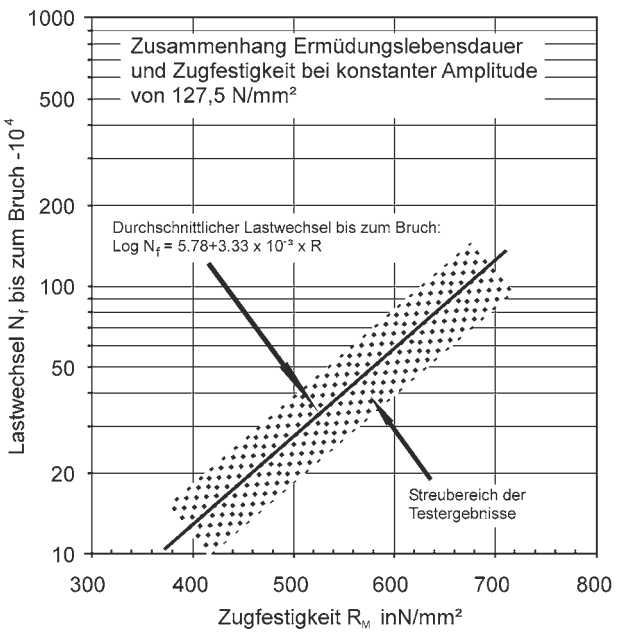


Bild 17: *Zusammenhang zwischen Dauerfestigkeit und Bauteildicke (DKI 2477A und DKI 2477B) [4]*

Zu beachten ist ferner die Abhängigkeit des Korrosionsverhaltens der heterogenen Kupfer-Aluminium-Legierungen vom Gefügeaufbau nach Maßgabe der Legierungszusammensetzung und der Abkühlung von Gussteilen oder nach einer Wärmebehandlung. So setzt ein optimales Korrosionsverhalten der nickelfreien Mehrstoff-Legierungen mit Aluminiumgehalten über 9 % eine möglichst schnelle Abkühlung voraus. Sinn dieser Maßnahme ist die möglichst weitgehende Vermeidung von γ_2-Ausscheidungen im Gefüge. In den nickel- und damit üblicherweise auch eisenhaltigen Werkstoffen dieser Legierungsgruppe soll bei Korrosionsbeanspruchung der Aluminiumgehalt ≤ 8,5 + Ni/2 betragen. Dieser Hinweis ist insbesondere für die nickelhaltigen Gusslegierungen CuAl10Fe5Ni5-C und CuAl11Fe6Ni6-C und für CuAl10Ni5Fe4 wichtig (Bild 18) [4].

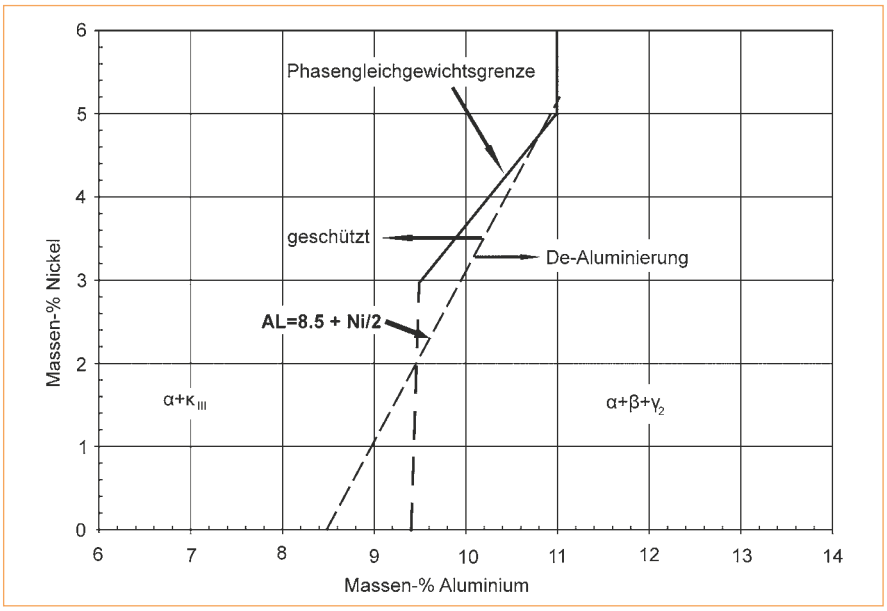


Bild 18: *Einfluss des Aluminium-Nickel-Verhältnisses auf die Korrosionsbeständigkeit (DKI 2499) [4]*

Die Kupfer-Aluminium-Legierungen bewähren sich beim Kontakt mit einer Vielzahl von Medien, die für andere Kupferwerkstoffe zu aggressiv sind. Hierbei sind für die heterogenen Mehrstoff-Legierungen auch deren überragende Festigkeitswerte in Verbindung mit ihren relativ niedrigen Dichten wichtig.

Kurz verwiesen sei auf die Bewährung dieser Werkstoffgruppe gegenüber leicht sauren bis schwach alkalischen Salzlösungen (Sulfit- und Bleichlaugen, Kalisalzlösungen) und industriellen Abwässern, gegenüber Meerwasser sowie organischen (u.a. Essigsäure) und reduzierenden und leicht oxidierenden Mineralsäuren (verdünnte Salz-, Fluss-, Phosphorsäure), insbesondere Schwefelsäure (Bild 19) bei Raum- und erhöhten Temperaturen.

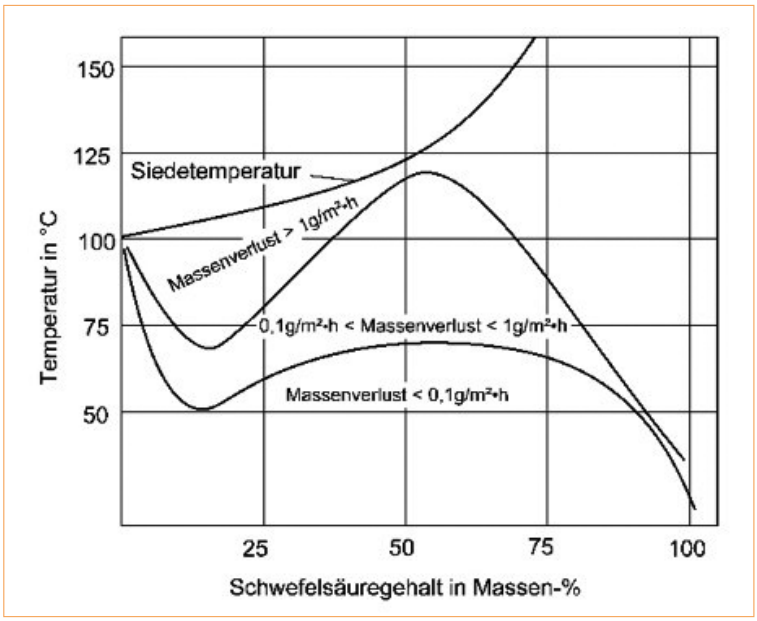


Bild 19: *Verhalten einer Kupfer-Aluminium-Legierung mit 9-11 %Al, 1,5-6 %Fe und 1,5-6 %Ni, Rest Cu gegenüber Schwefelsäure, DKI 2269 [16]*

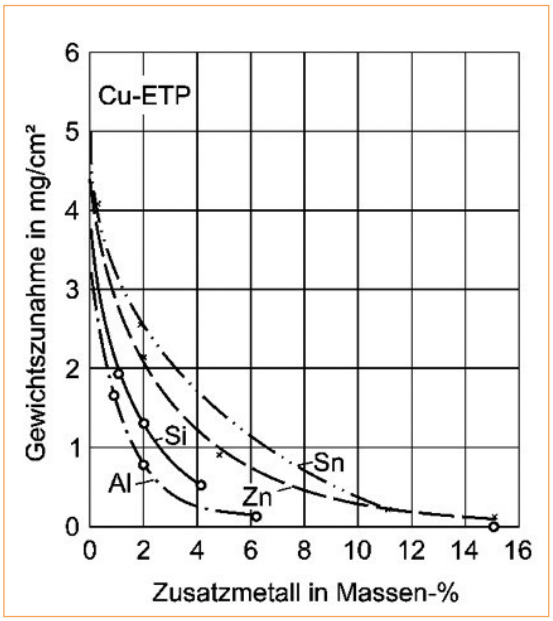


Bild 20: *Einfluss von Legierungszusätze auf die Verzunderung von Kupfer bei 500°C (Dauer 8h) an Luft, DKI 1747 [13]*

Zu erwähnen ist ferner die Beständigkeit in der aggressiven meeresnahen oder Schwefeldioxid enthaltenden Industrieatmosphäre.

Die Neigung zur selektiven Korrosion (Entaluminierung) ist gering.

Außerdem hat der Aluminiumgehalt einen hemmenden Einfluss auf die Verzunderung (Bild 20). Kupfer-Aluminium-Legierungen können bis zu Temperaturen von ca. 800°C als zunderbeständig angesehen werden.

2.4 Kavitationserosions- und Verschleißbeständigkeit

Kupfer-Aluminium-Legierungen insbesondere der Zusammensetzung CuAl10Fe5Ni5 und CuAl11Ni6Fe6 zeichnen sich durch außerordentlich hohe Kavitationserosionsbeständigkeit in Flüssigkeiten aus. Sie übertreffen in dieser Hinsicht viele andere in der Technik gebräuchliche Werkstoffe (Bild 21). Auch haben sie im Vergleich zu anderen Kupferlegierungen eine hohe Abriebfestigkeit.

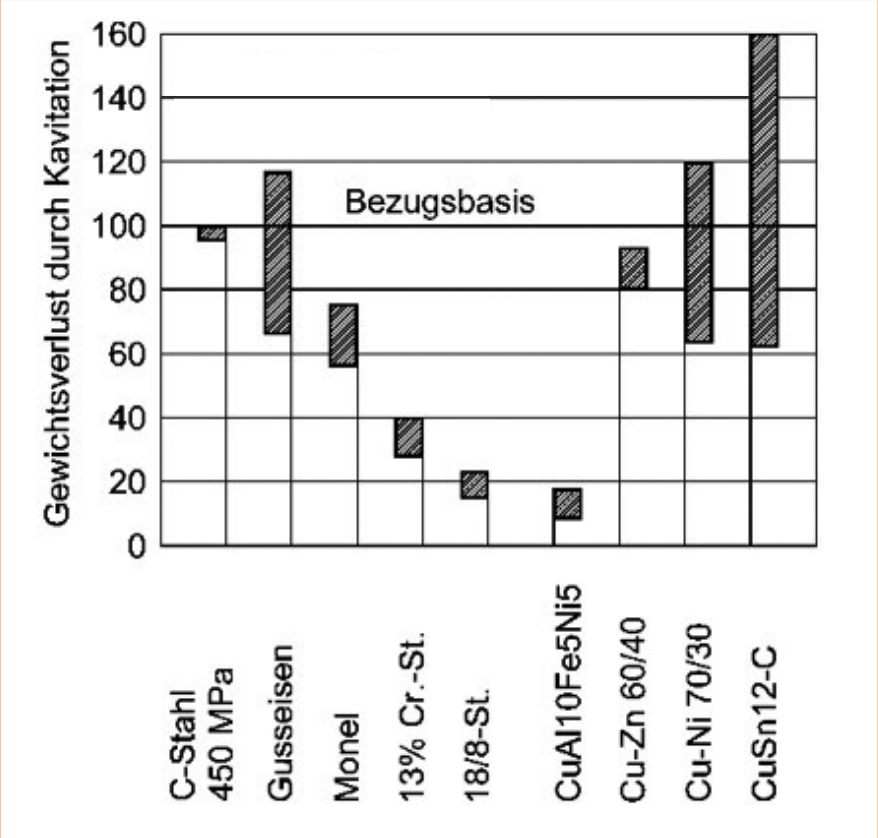


Bild 21: *Kavitationserosionsbeständigkeit von CuAl10Fe5Ni5 Bezugswerkstoff ist Stahl S42, dessen Kavitationsverschleiß mit 100 beziffert wurde (DKI 2270) [16]*

3. Herstellung und Verarbeitung

Kurzzeichen	Warmumformung	Kaltumformung (weichgeglüht)	Zerspanbarkeit	Verbindungsarbeiten						Oberflächenbehandlung	
				Weichlöten	Hartlöten	Gasschweißen	Lichtbogenhandschweißen	Schutzgasschweißen	Widerstandsschweißen	mechanisches Polieren	elektrochemisches Polieren
CuAl5As	schlecht	gut	mittel	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel	gut	mittel	mittel
CuAl8	gut	mittel	gut	mittel	mittel	schlecht	mittel	gut	gut	gut	mittel
CuAl8Fe3	gut	mittel	gut	mittel	mittel	schlecht	mittel	gut	gut	gut	mittel
CuAl9Mn2	gut	mittel	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	gut	gut	gut	mittel
CuAl9Ni3Fe2	gut	schlecht	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	sehr gut	gut	gut	mittel
CuAl10Fe3Mn2	gut	schlecht	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	gut	gut	gut	mittel
CuAl10Ni5Fe4	gut	schlecht	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	sehr gut	gut	gut	mittel
CuAl11Ni6Fe5	gut	schlecht	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	gut	gut	gut	mittel

Tabelle 7: *Hinweise für die Verarbeitung von Kupfer-Aluminium-Knetlegierungen*

Kurzzeichen	Gießbarkeit	Zerspanbarkeit	Verbindungsarbeiten						Oberflächenbehandlung	
			Weichlöten	Hartlöten	Gasschweißen	Lichtbogenhandschweißen	Schutzgasschweißen	Widerstandsschweißen	mechanisches Polieren	elektrochemisches Polieren
CuAl10Fe2-C	gut	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	gut	–	gut	mittel
CuAl10Ni3Fe2-C	gut	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	gut	–	gut	mittel
CuAl10Fe5Ni5-C	gut	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	sehr gut	–	gut	mittel
CuAl11Fe6Ni6-C	gut	mittel	schlecht	mittel	schlecht	mittel	gut	–	gut	mittel

Tabelle 8: *Hinweise für die Verarbeitung von Kupfer-Aluminium Gusslegierungen*

Allgemeine Hinweise auf die Weiterverarbeitung der Kupfer-Alumnium-Legierungen geben die Tabellen 7 und 8.

3.1 Schmelzen

Das Schmelzen der Kupfer-Aluminium-Legierungen erfolgt heute vorzugsweise in induktiv beheizten Öfen. Als Einsatzmaterial dienen fertiglegierte Blöcke (DIN EN 1982) oder Reinmetalle, gegebenenfalls zusammen mit Vorlegierungen (DIN EN 1981) und Rücklaufmaterial bekannter Zusammensetzung. Während des Einschmelzens und Gießens sind Maßnahmen erforderlich, die eine Wasserstoffaufnahme der Schmelze und Verluste durch Oxidation (Krätzebildung) möglichst verhindern. Sie haben insbesondere die starke Löslichkeitszunahme von Wasserstoff mit steigender Temperatur (Bild 22) und die leichte Oxidierbarkeit des Aluminiums zu berücksichtigen. Bisweilen ist eine Entgasungs- und Reinigungsbehandlung der Schmelze durch Spülen mit Stickstoff oder Argon zweckmäßig.

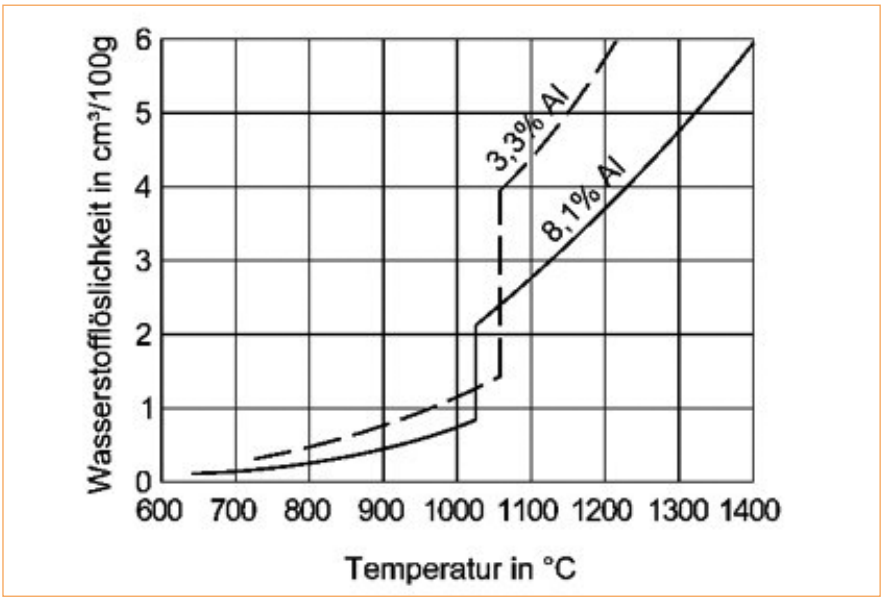


Bild 22: *Wasserstofflöslichkeit in Kupfer-Aluminium-Legierungen, DKI 2271 [10]*

a

b

c

Bild 23: *Gussteile aus Kupfer-Aluminium-Legierungen in Sandguss (a), Kokillen (b) und Stranggussverfahren (c)*

3.2 Gießen
Die Gießtemperaturen liegen je nach Legierungszusammensetzung bei etwa 1130 bis 1180°C. Kupfer-Aluminium-Legierungen zeigen im Erstarrungsintervall ein hohes Volumendefizit.
Dieses kann beim Übergang von flüssiger zu fester Phase bis ca. 4 % betragen. Daher muss der Bildung von Schwindungshohlräumen in Gussteilen durch richtig dimensionierte Speiser entgegengewirkt werden. Bei der Herstellung von Modellen ist ein Schwindmaß von 1,5 bis 2 % zu berücksichtigen (Ausklapptabelle).

Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen lassen sich nach dem Sand-, Kokillen-, Schleuder- und Strang-Gießverfahren zwar einwandfrei vergießen (Bilder 23), stellen jedoch an den Gießer hohe technische Anforderungen.

3.3 Spanlose Formgebung
Die **binären** homogenen Kupfer-Aluminium-Legierungen sind gut warm- und kaltformbar. Bei der Herstellung von Halbzeug und dessen Weiterverarbeitung werden insbesondere ihre gute Kaltformbarkeit und das hohe Kaltverfestigungsvermögen genutzt.

Die **heterogenen** Kupfer-Aluminium-Legierungen sind nur begrenzt kaltumformbar. Eine nennenswerte Erhöhung ihrer bereits hohen legierungsbedingten Festigkeit und Härte durch Kaltformung ist hier nicht möglich. Diese Legierungsgruppe ist jedoch gut warmumformbar. Die günstigste Temperatur für die Warmumformung liegt zwischen 850 und 900°C.

Kupfer-Aluminium-Legierungen lassen sich gut gesenk- und freiformschmieden (Bilder 24). Die genormten Legierungen (u.a. CuAl8Fe3, CuA10Fe3Mn2, CuAl10Ni5Fe4, CuAl11Ni6Fe6, etc.) die hierfür in Frage kommen sind in Normen DIN EN 12165und DIN EN 12420 festgelegt.

3.4 Wärmebehandlung
Bei kaltverfestigten homogenen Kupfer-Aluminium-Legierungen dienen Wärmebehandlungen zur Wiederherstellung der Umformbarkeit durch Rekristallisation des Gefüges („Weichglühen" bei etwa 600°C) oder zum thermischen Abbau von unerwünschten mechanischen Eigenspannungen.
Um die durch Kaltumformung erzielten Festigkeitseigenschaften möglichst beizubehalten, ist die Spannungsarmglühung bei 250 bis 300°C, d.h. unterhalb der Rekristallisationsschwelle durchzuführen.

Bei den heterogenen Kupfer-Aluminium-Legierungen bezwecken etwa dem Vergüten von Stahl entsprechende Wärmebehandlungen im Temperaturbereich von 450 bis 950°C [4, 22, 23] die Werkstoffeinstellung auf bestimmte Festigkeitsanforderungen (siehe Tabelle 3).

3.5 Spanabhebende Bearbeitung
Die Zerspanungseigenschaften der Kupfer-Aluminium-Legierungen sind mäßig (Tab. 7 und 8); sie sind von der Legierungszusammensetzung und dem Gefügezustand abhängig.

Die Legierungen verhalten sich ähnlich wie austenitische Stähle gleicher Festigkeit. Mit modernen Schneidstoffen werden ausreichende Standzeiten erreicht. Heterogene Legierungen lassen sich bei moderaten Schnittgeschwindigkeiten und Materialabtrag gut fräsen [17].

3.6 Verbindungsarbeiten
Schweißen ist das bei weitem wichtigste Verbindungsverfahren für Kupfer-Aluminium-Legierungen. Wegen der schwer löslichen Aluminiumoxidhaut erfolgt das Löten mit Flussmittel.

Weitere Fügeverfahren wie Kleben und mechanische Fügeverfahren u. a. im Apparatebau werden angewendet.

3.6.1 Schweißen
Für Verbindungsschweißen werden vorzugsweise die Schutzgas-Schmelzschweißverfahren MIG und WIG angewendet. Das Gasschweißen ist für Kupfer-Aluminium-Legierungen wenig geeignet. [18]

Als Schweißzusätze enthält DIN EN ISO 24373 eine Anzahl bewährter Legierungen (Tab. 9). Werden wegen einer höheren Sicherheit gegen Rissbildung

a

b

c

Bild 24: *Warmumformung von Kupfer-Aluminium-Legierungen: Schmieden (a), Walzen (b), Ringwalzen (c)*

oder Versprödung Schweißzusätze benutzt, die in ihrer Zusammensetzung vom Grundwerkstoff abweichen, dann ist u.U. auch eine entsprechende Abweichung des Korrosionswiderstands zu beachten.

Das Lichtbogenhandschweißen, kaum noch eingesetzt, ist mit umhüllten Stabelektroden (Tab. 10) durchzuführen, die eine Schlacke bilden, welche die Aluminiumoxide im Schweißbad lösen. Umhüllte Elektroden sind unmittelbar vor dem Verschweißen nach der Herstelleranweisung zu trocknen, um etwa vorhandene Feuchtigkeit in den meist hygroskopischen Umhüllungen zu entfernen.

Höheren Qualitätsansprüchen genügen die am häufigsten eingeststzten und sicher-sten Schutzgasschweißverfahren WIG und MIG. Das WIG- Verfahren ist mit Gleichstrom, noch besser mit Wechselstrom, anwendbar.
Beim Schweißen mit Gleichstrom muss ein Flussmittel zum Lösen der zähen Al_2O_3-Haut verwendet werden.
Das MIG-Verfahren ist bei Blechen ab 6 mm Dicke gut anwendbar. Da die Drahtelektrode am Pluspol liegt, sind Flussmittel nicht erforderlich.
Das Schmelzschweißen von Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen umfasst die Ausbesserung und die Instandsetzung beschädigter oder verschlissener Teile. Für diese Arbeiten werden überwiegend das WIG- und das MIG-Verfahren angewendet [19]. Bei Gusslegierungen hoher Festigkeit empfiehlt es sich, mit einer Vorwärmung von 200°C zu schweißen, um die Gefahr der Spannungsrissbildung zu verringern. Gusslegierungen lassen sich auch mit Knetwerkstoffen einwandfrei verschweißen. Gut geeignet sind hierfür z.B. die Legierungen CuAl10Ni3Fe2-C nach DIN EN 1982 und CuAl9Ni3Fe2 nach DIN CEN/TS 13388. Das Widerstandsschweißen wird an Kupfer-Aluminium-Legierungen selten angewendet, lässt sich jedoch durchführen.

Das Auftragsschweißen findet z.B. in Tribosystemen Verwendung. Dabei

Schweißzusatz		*Schweißverfahren*		
Bezeichnung	***Nummer***	***WIG- Schweißen***	***MIG- Schweißen***	***Gas- Schweißen***
CuAl7	*Cu 6100*	*empfohlen*	*empfohlen*	*nicht geeignet*
CuAl10Fe1	*Cu 6180*			
CuAl8Ni2Fe2Mn2	*Cu 6327*			
CuAl9Ni5Fe3Mn2	*Cu 6328*			
*CuMn13Al8Fe3Ni2**	*Cu 6338*			

** für seewasserbeständige zinkfreie Kupferaluminiumlegierungen*

Tabelle 9: *Schweißzusätze, Schweißdrähte und Drahtelektroden nach DIN EN ISO 24373*

Schweißzusatz		*mittlere Zusammensetzung (Massenanteile) in [%]*
Bezeichnung	***Nummer***	
EL-CuAl9	*2.0926*	*8 Al; Rest Cu*
EL-CuAl9Ni5Fe	*2.0930*	*8 Al; 3,5 Fe; 4,5 Ni; Rest Cu*
EL-CuAl9Ni2Fe	*2.0930*	*8 Al; 2,3 Ni; 2 Fe; 2,3 Mn; Rest Cu*
*EL-CuMn14Al**	*2.1368*	*11,5 Mn; 7 Al; 2 Fe; 2 Ni; Rest Cu*

** für mangan- und nickelhaltige Kupfer-Aluminium-Zinn-Legierungen*

Tabelle 10: *Stabelektroden nach der alten DIN 1733 für Kupfer-Aluminium-Legierungen,*

werden Stahlteile mit Kupfer-Aluminium-Legierungen auftraggeschweißt. Das Verschleißverhalten solcher Werkstoffpaarung ist aufgrund des geringen Reibungskoeffizienten günstig. Schweißzusatzwerkstoffe zum Auftragsschweißen enthält DIN EN 14700.

3.6.2 Löten

Zum Löten von Kupfer-Aluminium-Legierungen sind sowohl beim Weichlöten als auch beim Hartlöten wegen der schwer löslichen Aluminiumoxide Spezialflussmittel erforderlich.

Beim **Weichlöten** wird die Benetzungseignung mit steigendem Aluminiumgehalt schlechter, so dass eine Bindung nur mit Hilfe geeigneter Flussmittel erfolgen kann. Vorzugsweise wird das Weichlötflussmittel 2.1.3 nach DIN EN 29454, diesen Anforderungen gerecht. Außerdem werden in einigen Fällen die Weichlötflussmittel 3.2.2 und 3.1.1 nach DIN EN 29454 angewendet.

Als Weichlote kommen besonders die Legierungen S-Sn96Ag4 (Schmelzpunkt 221°C) oder S-Sn97Cu3 (Schmelzbereich 227 bis 310°C) nach EN ISO 9453 und für höhere Betriebstemperaturen S-Cd95Ag5 (Schmelzbereich 340 bis 395°C) sofern zugelassen, nach DIN 1707-100 infrage.

Zum **Hartlöten** sind die üblichen Hartlötflussmittel des Typs FH12 nach DIN EN 1045, nicht gut geeignet. Es sind Spezialflussmittel erforderlich [21].

Insbesondere werden die Silberhartlote, die cadmiumfreie Legierung AG 203 oder andere Lote nach DIN EN 1044, mit Arbeitstemperaturen bis 730°C eingesetzt. Bei Anforderungen an Meerwasserbeständigkeit sind die Hartlote AG 304 und AG 203 nach DIN EN 1044, zu empfehlen [20, 21].

3.6.3 Kleben

Für das selten vorkommende Kleben von Kupfer-Aluminium-Legierungen werden die auf dem Markt vorhandenen Klebstoffe je nach Anwendungsfall eingesetzt.

Kupfer-Aluminium-Legierungen lassen sich mit geeigneten Klebstoffen auch mit Kunststoffen und anderen Werkstoffen verbinden. Die Richtlinien DIN 53281-1, VDI/VDE 2251, Bl.8, und VDI 2229 geben hierzu weiterführende Angaben.

3.6.4 Mechanische Verbindungen

Im Maschinen- und Apparatebau sind Teile und Werkstücke aus Kupfer-Aluminium-Legierungen vielfach durch Nieten, Schrauben und Schrumpfen zu verbinden. Bei Korrosionsbeanspruchung sollten Niete und Schrauben aus artähnlichen Werkstoffen verwendet werden. In DIN EN 28839 ist mit CU7 eine Kupfer-Aluminium-Legierung als Werkstoff für Schrauben und Muttern genormt, die CuAl10Ni5Fe4 nach DIN CEN/TS 13388 entspricht.
Auch die Kupfer-Aluminium-Legierungen CuAl10Fe3Mn2 ist hervorragend geeignet.

3.7 Oberflächenbehandlung

Kupfer-Aluminium-Legierungen lassen sich mechanisch gut polieren (Tab. 7 und 8). Problematisch ist sowohl eine galvanische Metallbeschichtung als auch eine Feuerverzinnung, weil das aus Gründen der Korrosionsbeständigkeit erforderliche, vollkommen dichte Beschichten der Metalloberfläche nur sehr schwer zu erreichen ist. Die Aluminiumoxidanteile der äußeren Werkstoffzone sind schlecht entfernbar und haftungshindernd für die aufgetragene Schicht. Das Aufbringen von Metall- und Legierungsüberzügen durch galvanische Verfahren und aus Schmelzen erfordert deshalb besondere Maßnahmen. Daher wurden Vorbehandlungsverfahren entwickelt, die beim Galvanisieren und Feuerverzinnen zu einwandfreien Ergebnissen führen. Kleine Bauteile können auch nach Bedampfungsverfahren (PVD- und ähnliche Verfahren) mit zahlreichen Metallen, Legierungen und Cermets beschichtet werden.

4. Verwendung

Der Vielfalt technologisch wertvoller Eigenschaften verdanken die Kupfer-Aluminium-Legierungen ihre Verbreitung bei industriellen Anwendungen. Maßgebend für ihren Einsatz sind:

- gute Festigkeitseigenschaften auch bei tiefen Temperaturen
- Warmfestigkeit
- gute Dauerschwing- und Zeitstandfestigkeit [22]
- hohe Korrosionsbeständigkeit
- Kavitations- und Verschleißfestigkeit
- hohe Zunderbeständigkeit
- geringe Dichte
- niedrige magnetische Kennwerte

Einen allgemeinen Überblick über die bevorzugte Verwendung der Kupfer-Aluminium-Legierungen gibt die Ausklapptabelle. Diese Übersicht soll nachstehend – geordnet nach Anwendungsgebieten – mit einer Anzahl von Bildern ergänzt werden.

Der **Werkzeug-** und **Maschinenbau** verwendet Kupfer-Aluminium-Legierungen für funkensichere Werkzeuge, für hochbelastete Druckmuttern, für Gleitlager insbesondere bei hohen Flächenpressungen und niedrigen Gleitgeschwindigkeiten, für Formen zur Herstellung von Hohlglas (Bild 25) und zum Tiefziehen von austenitischem Stahl bzw. für hochbeanspruchte Teile dieser Formen, ferner für viele andere Zwecke, so z.B. für die Herstellung von Kunststoffspritzformen. Wegen der Oxidationsbeständigkeit dieser Legierungen sind sie auch geeignet für Spannbacken in Schweißmaschinen, wo hohe Härte und gute elektrische Leitfähigkeit verlangt werden. Weiter werden sie eingesetzt für Pumpenkörper, Pumpenlaufräder (Bild 26), -wellen und andere Pumpenteile sowie für Laufräder oder Schaufeln in Wasserturbinen. Für Gelenksteine, Getriebeteile (Bild 27), Schneckenradkränze, Schalträder und Zahnscheiben haben sich Kupfer-Aluminium -Legierungen bewährt. Im Papier- und Textilmaschinenbau dienen sie als Siebbleche, Drahtgewebe und Metalltücher, für geschleuderte und stranggegossene Saugwalzen, für Rohre und Rohrarmaturen, Heißdampfarmaturen, Holländermesser und ähnliche Teile, ferner als Flammspritz- und Elektrodendraht für Gleitlager, Reparaturen und korrosionsfeste harte Auftragsschichten.

In **Stahlwerken** werden Kupfer-Aluminium-Legierungen wegen ihrer guten Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit eingesetzt, so für Gleitschuhe, Druckschrauben in Walzwerken, Verschleißplatten von Wendevorrichtungen, stoßbeanspruchte Gleitlager usw.

Der Apparatebau verwendet aus Kupfer-Aluminium-Legierungen gefertigte Rohre, Bleche, gewalzte und gegossene Rohrendplatten, Armaturen aller Art für Wärmeaustauscher, für Hochdruck-Armaturen und Leitungssysteme sowie gegossene oder geschweißte Verteilerköpfe. Sowohl Guss- als auch Knetlegierungen kommen bei der Herstellung von Schweißkonstruktionen zur Anwendung. Die Anwendungen im Apparatebau sind nicht zuletzt auf die ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit gegen reduzierende und leicht oxidierende Medien zurückzuführen. Außerdem ist die Wärmeleitfähigkeit mit 40 bis 80 W/m · K weitaus besser als bei austenitischen Stählen oder Nickellegierungen.

Die **chemische Industrie** setzt Kupfer-Aluminium-Legierungen für Beizanlagen wie Beizkörbe, -ketten, -haken, -rollen und andere Teile ein, desgleichen für Rohrleitungen, in Form korrosionsbeständiger Pumpen, Armaturen (Bild 28) , Zentrifugen, Kessel usw.

In der **Petro-** und **Kalichemie** werden Kupfer-Aluminium-Legierungen ebenfalls verwendet für den Bau korrosionsbeständiger Wärmeaustauscher, für Kondensatorrohre und Rohrendplatten, für Pumpen, Rohre, Flansche und Umlenkbleche, korrosionsbeständige Plattierungen, Rohre für Kalisalzlösungen sowie für den Bau von Verdampfern. Für Arbeiten in Ölraffinerien, Ölanlagen und Ölfeldern sowie in Benzinlagern ist die Benutzung von funkensicheren

Bild 25: *Umformwerkzeug aus der Legierung CuAl10Ni5Fe4*

Bild 26: *Pumpengehäuse aus Kupfer-Aluminium-Legierung CuAl10Fe5Ne5-C*

Bild 27: *Zahnrad aus CuAl10Fe2-C-GM auf Stahlrohr aufgegossenes Zahnrad, Formschluss durch Nuten und Rändel für Nutzfahrzeuge*

Bild 28: *Korrosionsbeständige Pumpengehäuse aus CuAl10Fe5Ni5-C zum Einsatz in Meeresumgebung*

Werkzeugen aus Kupfer-Aluminium-Legierungen ratsam.

Auch die **Erdgasindustrie** greift auf die Kupfer-Aluminium-Legierungen zurück, und zwar für Armaturen, Pumpen usw.

In der **Nahrungsmittelindustrie** sind Siebbleche, Destillationsanlagen, Behälter und andere Teile zu finden, die unter Verwendung von Kupfer-Aluminium-Legierungen hergestellt werden (Bilder 29).

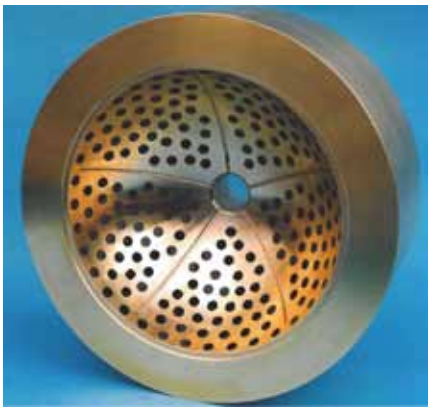


Bild 29: *Sieb aus Kupfer-Aluminium-Legierung für die Nahrungsmittelindutsrie*

Bild 30: *Tragkranz für Verstellpropeller aus CuAl10Fe5Ni5-C*

Im **Schiffbau** werden Kupfer-Aluminium-Legierungen für Maschinenarmaturen, für Rohre von Ölleitungen ebenso wie von Süßwasser-, Abwasser- und Meerwasserleitungen, für Wärmeaustauscher, Kondensatoren, Boiler, für Verdampfer und die hierfür erforderlichen Armaturen, für Teile von Meerwasser- und Brackwasserpumpen, z.B. Pumpengehäuse, für Laufräder, Wellen und Tragkränze (Bild 30), Schiffsantriebswellen, Stevenrohre, Ruder, Ruderschäfte und Ruderblöcke, für Teile von hydraulischen und pneumatischen Anlagen, z.B. Ventile, hydraulische und pneumatische Zylinder, Kolben von Hydraulikzylindern, Hydraulikpumpen und Absperrorganen (Schieber) (Bild 31), Lager, für Teile von Löscheinrichtungen, Schäkel, Kauschen und Haken, Hals- und Blockbeschläge, Blockgehäuse, Trommellager, Schneckenräder, Zahnstangen und Gleitleisten, ebenso für Teile von Anker- und Vertäu-Einrichtungen, Poller und Kokerflansche, Bolzen, Schrauben, Muttern und Schiffsbeschläge eingesetzt.
Insbesondere werden Kupfer-Aluminium-Legierungen auch als Werkstoffe mit niedriger Permeabilität für Teile von Verstellpropellern wie z.B. Flügelblätter, Propellerhauben und Propellernaben verwendet. Schiffspropeller (Bild 32) werden ausschließlich aus Kupfer-Aluminium-Legierungen – meist mit weiteren Legierungszusätzen – gegossen. Hauptursachen dafür sind neben der hohen Meerwasserbeständigkeit gute Gießbarkeit und Schweißeignung, das Fehlen eines Sprödbruchbereichs bei Temperaturveränderung und hoher Widerstand gegen Kavitationsbeanspruchungen.

Auch im Schiffbau kommen in explosionsgefährdeten Räumen – z.B. auf U-Booten – für Reparaturarbeiten funkensichere Werkzeuge aus Kupfer-Aluminium-Legierungen zum Einsatz.

Bild 31: *Absperrorgane aus Kupfer-Aluminium-Legierungen*

In **Entsalzungsanlagen** finden Kupfer-Aluminium-Legierungen wegen ihrer Korrosionsbeständigkeit mannigfache Verwendung, so u.a. für Rohrendplatten in Verdampferanlagen, meerwasserbeanspruchte Pumpen usw.

Die **Off-Shore-Technik** setzt Kupfer-Aluminium-Legierungen wegen ihrer Meerwasserbeständigkeit für Steigleitungen, Meerwasserpumpen usw. ein.

Der **Kraftwerksbau** bedient sich der Kupfer-Aluminium-Legierungen ebenfalls für Pumpen, Absperrklappen und andere korrosionsbeanspruchte Teile.

Im **Automobil-** (Bild 27), **Kraftrad-, Flugzeug-** und **Eisenbahnbau** bestehen gegossene Zylinderköpfe und Zündkerzenfassungen sowie Gesenkschmiedestücke und Gussteile für Motoren wegen ihrer Oxidationsbeständigkeit bei erhöhten Temperaturen vielfach aus Kupfer-Aluminium-Legierungen.

Im **Bergbau** finden Bremsbänder, funkensichere Werkzeuge und Pumpenteile aus Kupfer-Aluminium-Legierungen Verwendung.

Die **Elektroindustrie** setzt Kupfer-Aluminium-Legierungen für Spannelemente, Kurzschlussläuferstäbe, Kohlehalterungen usw. ein.

Im **Bauwesen** ermöglichen das gute Aussehen und die hohe Beständigkeit der Kupfer-Aluminium-Legierungen ihre Verwendung für konstruktive und gestalterische Metallbauarbeiten,

Bild 33: *Rollenhebel CuAl11Fe6Ni6-C-GM Jeweils 0,110 kg Eingegossener Stahlbolzen, der nach dem Eingießen induktiv gehärtet wird für die Textiltechnik*

z.B. für Fassadenbau Gitter, Roste, Tore, Türen, im Ladenbau für Geländer und Türbeschläge sowie für Zapfventile und andere sanitäre Armaturen.

Auch die **Metallwarenindustrie** greift auf die beständigen Kupfer-Aluminium-Legierungen zurück, so für Tabletts und dekorative Schalen, Metallbuchstaben, Wandteller, Galanteriewaren, Firmenschilder, Medaillen, Türschilder, Statuen- und Denkmalguss usw.

Bild 32: *Propeller aus CuAl10Fe5Ni5-C; Verstellpropeller (links), Festpropeller (rechts)*

5. Literatur / Normen

(1) Die Aluminiumbronzen (Fachbuch). Deutsches Kupferinstitut, Berlin 1958

(2) M. Hansen, K. Anderko: Constitution of binary alloys. McGraw Hill book Co., Inc., New York, Toronto, London 1958

(3) G. Lindén: Erneute Bestimmung des (α +β)-Zweiphasengebietes im System Cu-Al. Praktische Metallographie 9 (1972), S. 3-14

(4) H. J Meigh: Cast and Wrought Aluminum Bronzes – Properties, processes and structure, (2000)

(5) B.A, Lloyd, J.W. Pyemont: Das Zustandsdiagramm Kupfer-Aluminium-Silizium. Metals Technol. 1 (1974), S. 534-537

(6) M. Leoni, G.Fortina, L.D. Schetky: Gefüge, mechanische Eigenschaften und Korrosions-beständigkeit von neuen Kobalt-Aluminiumbronzen. Metallurgia ital. (1972), S. 470-480

(7) R.J. Severson: Laufende Entwicklungen auf dem Gebiet der Kupferlegierungen. Metallurgia, Manchr. 83 (1971), S. 102-104

(8) W. Thury: Die Eigenschaften von kobalthaltigen Guss-Aluminiumbronzen. Bericht No. PE-13 an die „International Copper Research Ass.", New York (1971)

(9) Werkstoff-Handbuch „Nichteisenmetalle", Teil III Cu. VDI-Verlag, Düsseldorf 1960

(10) K. Dies: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik. Springer-Verlag, Berlin 1967

(11) Metals Handbook (ASM) , 9. Aufl., Metals Park Ohio, USA, 1981

(12) W. Köster, W. Rauscher: Beziehungen zwischen dem Elastizitätsmodul von Zweistofflegierungen und ihrem Aufbau. Zeitschr. f. Metallk. 39 (1948), S. 111-120

(13) H.-J. Wallbaum: Kupfer. In Landolt-Börnstein „Zahlenwerte und Funktionen", Teil 2, Bandteil b, S. 639/890, Springer-Verlag, Berlin 1964

(14) E. Tuschy: Nickel-Aluminiumbronzen. International Nickel GmbH, Düsseldorf 1962

(15) H. Dietrich: Eigenschaften der nichtmagnetisierbaren NE-Metalle und ihre metallkundliche Deutung. Metall 20 (1966) S. 957-974

(16) P. Weill-Couly: Les cupro-aluminiums et leurs applications dans l'industrie. Centre Belge D'Information Du Cuivre, Bruxelles, Mai 1963

(17) Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen, i18

(18) Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen. Deutsches Kupferinstitut, i12

(19) P. Weill-Couly: Schweißen von Gussstücken aus Aluminiumbronze. Fonderie 27 (1978), S. 69-76

(20) W. Mahler, K.F. Zimmermann: Hartlöten von Kupfer und seinen Legierungen. Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS), Düsseldorf 1966

(21) Normenteile Marine – VG 81245, Teil 3 (8.1978): Nichteisen-Schwermetalle; Schweißzusatz-werkstoffe und Hartlote; Auswahl

(22) K. Drehfahl, M. Kleinau u. W. Steinkamp: Zeitstandeigenschaften und Bemessungskennwerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau. Metall, 36. Jg., H. 5 (1982)

(23) P. Brezina: Heat Treatment of Complex Aluminium Bronzes. Int. Met. Rev., 1982, vol. 27, pp. 77-120

(24) F. Hasan, A. Johanafrooz u.a.: The morphology, crystallography and chemistry of phases in as-cast nickel-aluminum bronze. Metallurgical Transactions A, Vol. 13 A, 1982

(25) C.H. Thornton, S. Harper u.a.: A critical survey of available high temperature mechanical property data for copper and copper alloys. Chapter XII from Incra series on the metallurgy of copper

Normen

Grundnormen

DIN CEN/TS 13388
Kupfer und Kupferlegierungen - Übersicht über Zusammensetzungen und Produkte

DIN EN 1173
Kupfer und Kupferlegierungen – Zustandsbezeichnungen

DIN EN 1412
Kupfer und Kupferlegierungen – Europäisches Werkstoffnummernsystem

DIN EN 1655
Kupfer und Kupferlegierungen – Konformitätserklärungen

DIN EN 12861
Kupfer und Kupferlegierungen - Schrotte

Gussstücke
DIN EN 1982
Kupfer und Kupferlegierungen – Blockmetalle und Gussstücke

DIN EN 1981
Kupfer und Kupferlegierungen – Vorlegierungen

DIN ISO 4382-1
Gleitlager; Kupferlegierungen; Kupfer-Gusslegierungen für Massiv und Verbundlager

DIN ISO 4383
Gleitlager; Metallische Verbundwerkstoffe für dünnwandige Gleitlager

Halbzeug
Walzflacherzeugnisse: Bleche, Bänder, etc.
DIN EN 1652
Kupfer und Kupferlegierungen – Platten. Bleche, Bänder, Streifen und Ronden zur allgemeinen Verwendung

DIN EN 1653
Kupfer und Kupferlegierungen – Platten, Bleche, Ronden für Kessel, Druckbehälter und Warmwasserspeicheranlagen

Rohre
DIN EN 12451
Kupfer und Kupferlegierungen– Nahtlose Rundrohre für Wärmeaustauscher

Stangen, Profil, Drähte
DIN EN 12163
Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen zur allgemeinen Verwendung

DIN EN 12167
Kupfer und Kupferlegierungen – Profile und Rechteckstangen zur allgemeinen Verwendung 1958

Schmiedeteile
DIN EN 12165
Kupfer und Kupferlegierungen - Vormaterial für Schmiedestücke

DIN EN 12420
Kupfer und Kupferlegierungen - Schmiedestücke

Allgemeintoleranzen
DIN 1687-1
Gussrohteile aus Schwermetalllegierungen – Sandguss – Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben; Nicht für Neukonstruktionen

DIN 1687-3
Gussrohteile aus Schwermetalllegierungen; Kokillenguss, Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben

DIN 1687-4
Gussrohteile aus Schwermetalllegierungen; Druckguss, Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben

Verbindungsarbeiten
DIN EN 29453
Weichlote; Chemische Zusammensetzung und Lieferformen

DIN 1707-100
Weichlote; Chemische Zusammensetzung und Lieferformen

DIN EN 29454-1
Flussmittel zum Weichlöten, Einteilung und Anforderungen; Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung

DIN EN 1044
Hartlöten; Lötzusätze

DIN EN 1045
Hartlöten – Flussmittel zum Hartlöten – Einteilung und technische Lieferbedingungen

DIN EN 923
Klebstoffe – Benennungen und Definitionen

DIN EN 53281-1
Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Klebflächenvorbehandlung

DIN EN 53281-2
Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Herstellung

DIN EN 53281-3
Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Proben, Kenndaten des Klebvorgangs

DIN 13347
Kupfer und Kupferlegierungen - Stangen und Drähte für Schweißzusatzwerkstoffe und Fugenlote

DIN EN ISO 24373
Schweißzusätze - Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Kupfer und Kupferlegierungen - Einteilung

DIN EN 14700
Schweißzusätze - Schweißzusätze zum Hartauftragen

DIN EN 28839
Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben und Mutter aus Nichteisenmetallen

VDI 2229
Metallkleben; Hinweise für Konstruktion und Fertigung

Weitere Normen
DIN 50131
Prüfung metallischer Werkstoffe; Schwindmaßbestimmung

VDG P 378
Gießen von Probestäben aus Kupfer-Gusslegierungen für den Zugversuch (Sandguss und Kokillenguss)

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

6. Verlagsprogramm

Dach und Wand
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
.....
Kupferwerkstoffe in der
Trinkwasseranwendung – den Anforderungen
an die Zukunft angepasst;
Bestell-Nr. s. 196
.....
Metallene Werkstoffe in der
Trinkwasser-Installation;
Bestell-Nr. i. 156
.....
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
Bemessungskennwerte
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-Zink-Legierungen
(Messing und Sondermessing)
Bestell-Nr. i. 5
.....
Kupfer-Aluminium-Legierungen
Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung,
Verwendung
Bestell-Nr. i. 6
.....
Kupfer-Zinn-Knetlegierungen
(Zinnbronzen)
Bestell-Nr. i. 15
.....
Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-
Gusslegierungen (Zinnbronzen)
Bestell-Nr. i. 25
.....
Kupfer - Werkstoff der Menschheit
.....
Messing – Ein moderner Werkstoff
mit langer Tradition
.....
Von Messing profitieren – Drehteile im
Kostenvergleich
.....
Messing ja – Entzinkung muss nicht sein!
.....
Bronze – unverzichtbarer Werkstoff
der Moderne

Verarbeitung
Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung
von Gesenkschmiedestücken;
Bestell-Nr. s. 194
.....
Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen;
Bestell-Nr. i. 7
.....
Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen;
Bestell-Nr. i. 12
.....
Trennen und Verbinden von Kupfer
und Kupferlegierungen;
Bestell-Nr. i. 16
.....
Richtwerte für die spanende Bearbeitung von
Kupfer und Kupferlegierungen;
Bestell-Nr. i. 18
.....
Chemische Färbungen von Kupfer und
Kupferlegierungen

Elektrotechnik
Optimale Auswahl und Betriebsweise von
Vorschaltgeräten für Leuchtstofflampen;
Bestell-Nr. s. 180
.....
Verteiltransformatoren;
Bestell-Nr. s. 182
.....
Energiesparen mit Spartransformatoren;
Bestell-Nr. s. 183
.....
Wechselwirkungen von Blindstrom-
Kompensationsanlagen mit
Oberschwingungen;
Bestell-Nr. s. 185
.....
Messungen und Prüfungen an
Erdungsanlagen;
Bestell-Nr. s. 190
.....
Sparen mit dem Sparmotor;
Bestell-Nr. s. 192
.....
Bedarfsgerechte Auswahl von
Kleintransformatoren;
Bestell-Nr. s. 193
.....
Kupfer spart Energie

Umwelt / Gesundheit
Antibakterielle Eigenschaften von Kupfer;
Bestell-Nr. s. 130
.....
Versickerung von Dachablaufwasser;
Bestell-Nr. s. 195
.....
Kupfer in kommunalen Abwässern und
Klärschlämmen;
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
Recycling von Kupferwerkstoffen;
Bestell-Nr. i. 27
.....
Kupfer und Kupferwerkstoffe ein Beitrag zur
öffentlichen Gesundheitsvorsorge;
Bestell-Nr. i. 28
.....
Kupfer – der Nachhaltigkeit
verpflichtet
Doorknobs: a source of nosocomial infection?

Spezielle Themen
Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau;
Bestell-Nr. s. 160
.....
Die Korrosionsbeständigkeit metallischer
Automobilbremsleitungen - Mängelhäufigkeit
in Deutschland und Schweden;
Bestell-Nr. s. 161
.....
Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?;
Bestell-Nr. s. 210
.....
Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen;
Bestell-Nr. s. 211
.....
Kupferrohre in der Kälte-Klimatechnik,
für technische und medizinische Gase
Bestell-Nr. i. 164

DKI-Fachbücher*
Kupfer in der Landwirtschaft
.....
Kupfer im Hochbau
EUR 10,00****
.....
Planungsleitfaden Kupfer – Messing – Bronze
EUR 10,00****
.....
Architektur und Solarthermie
Dokumentation zum Architekturpreis
EUR 10,00

CD-ROM des Deutschen Kupferinstituts
Solares Heizen
EUR 10,00
.....
Neue Last in alten Netzen
EUR 10,00
.....
Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer
Muster für Ausbildungsvorlagen in der
Klempnertechnik
EUR 10,00
.....
Werkstofftechnik – Herstellungsverfahren
EUR 10,00

Lernprogramm
Die fachgerechte Kupferrohr-Installation
EUR 10,00***

Filmdienst des DKI
„Kupfer in unserem Leben"
Videokassette oder DVD, 20 Min.
Schutzgebühr EUR 10,00
.....
„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren"
Lehrfilm, DVD, 15 Min.
Schutzgebühr EUR 10,00
.....
„Kupfer in der Klempnertechnik"
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.
Schutzgebühr EUR 10,00

* Fachbücher des DKI sind über den Fachbuchhandel zu beziehen oder ebenso wie Sonderdrucke, Informationsdrucke und Informationsbroschüren direkt vom Deutschen Kupferinstitut, Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf.

*** Sonderkonditionen für Berufsschulen

**** Sonderkonditionen auf Anfrage

Ausklapptabelle: Genormte Kupfer-Aluminium Knet-und Gusslegierungen (Auszug aus DIN EN 1652, DIN EN 1653, DIN EN 12163, DIN EN 12420, DIN EN 1982)

Für Anwendung maßgebend ist die Norm in der jeweiligen gültigen Fassung

1. Normbezeichnung					2. Chemische Zusammensetzung														3. Physikalische Eigenschaften							4. Technologische Eigenschaften			5. Mechanische Eigenschaften				
Kennzeichnung nach DIN EN	Werkstoff-Nummer nach DIN EN 1412	Altes Kennzeichen nach DIN	Alte Werkstoffnr. nach DIN	Werkstoff-Nummer nach UNS	Kupfer Cu Gew.	Aluminium Al Gew. %	Arsen As Gew. %	Wismut Bi Gew. %	Chrom Cr Gew. %	Eisen Fe Gew. %	Magnesium Mg Gew. %	Mangan Mn Gew. %	Nickel Ni Gew. %	Blei Pb Gew. %	Silizium Si Gew. %	Zinn Sn Gew. %	Zink Zn Gew. %	Sonstiges insgesamt Gew. %	Dichte g/cm³	Schmelzbereich °C	Schwindmaß %	Elektrische Leitfähigkeit bei 20°C K MS/m	Wärmeleitfähigkeit bei 20°C λ W/m.K	Längenausdehnungskoeffizient α (20–200°C) 10^{-6}/K	Permeabilität (H=80A/cm) μ	Elastizitätsmodul bei 20°C E GPa	Schubmodul GPa	Produktnorm	Zugfestigkeit R_m N/mm²	0,2% Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm²	Bruchdehnung A%	Brinallhärte HB	Hinweise für die Anwendung
Kupfer-Aluminium Knetlegierungen																																
CuAl5As	CW300G	CuAl5As	2.0918	C60800	Rest	4,0 – 6,5	0,1 – 0,4	–	–	< 0,2	–	< 0,2	< 0,2	< 0,02	–	< 0,05	< 0,3	< 0,3	8,2	1060 – 1070	–	10	83	18	0,99995 – 1,01	123	45	DIN EN 12451 (Rohr)	350	110	50	75–100	Rohre in der Kali-Industrie für Wärmeüberträger und Kondensatoren, in Kaliwerken und im Salinenbetrieb, im Bergbau und in der chemischen Industie
																												–	–	–	–	–	
CuAl8Fe3	CW303G	CuAl8Fe3	2.0932	C61400	Rest	6,5 – 8,5	–	–	–	1,5 – 3,5	–	< 1,0	< 1,0	< 0,05	< 0,2	< 0,1	< 0,5	< 0,2	7,7	–	–	–	–	–	–	–	45	DIN EN 1652 (Blech)	480	210	30	110	Platten für Kondensator- und Wärmeübertägerböden, Bleche für den chemischen Apparatebau
																												DIN EN 12420 (Schmiedestück)	460	180	30	110	
CuAl9Ni3Fe2	CW304G	CuAl9Ni3Fe2	2.0971	–	Rest	8,0 – 9,5	–	–	–	1,0 – 3,0	–	< 2,5	2,0 – 4,0	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,3	7,4	1030 – 1050	–	8	65	17	1,01 – 1,2	120	44	DIN EN 1653 (Platten)	490	180	20	125	Lagerteile für stoßweise Beanspruchung; Teile für die Futtermittelindustrie, Platten für Kondensator- und Wärmeübertragerböden.
																												DIN EN 12420 (Schmiedestück)	500	180	30	80	
CuAl10Fe1	CW305G	–	–	C61800	Rest	9,0 – 10,0	–	–	–	0,5 – 1,5	–	< 0,5	< 1,0	< 0,02	< 0,2	< 0,1	< 0,5	< 0,2	7,6	–	–	–	–	–	–	–	–	DIN EN 12163 (Stange)	420 – 630	210 – 480	5 – 20	105 – 170	Konstruktionswerkstoff höherer Festigkeit Formguss, Gussstücke für die chemische Industrie; Kohlehalterungen in der Elektro-Industrie; Schaltsegmente und Schaltgabeln im Textilmaschinen- und Automobilbau; Beschläge in der Möbelindustrie; Ritzel, Kegelräder, Synchronringe, Hebel, Gehäuse, Buchsen; mechanisch beanspruchte Teile.
																												DIN EN 12420 (Schmiedestück)	420	180	20	100	
CuAl10Fe3Mn2	CW306G	CuAl-10Fe3Mn2	2.0936	–	Rest	9,0 – 11,0	–	–	–	2,0 – 4,0	–	1,5 – 3,5	< 1,0	< 0,05	< 0,2	< 0,1	< 0,5	< 0,2	7,6	1040 – 1050	–	7	57	17	1,05 – 1,4	120	43	DIN EN 12163 (Stange)	590 – 690	330 – 510	6 – 12	140 – 180	Konstruktionswerkstoff für den chemischen Apperatebau; besonders geeignet für stoßartig, schwingend oder verschleißbeanspruchte Teile im Motoren- und Getriebebau; zunderbeständige Teile, Bolzen, hochfeste Schrauben und Muttern; Wellen, Spindeln, Schnecken- und Zahnräder, Radkränze; Steuerungsteile in der Hydraulik; Lager und Gleitelemente
																												DIN EN 12420 (Schmiedestück)	500	250	12	120	
CuAl10Ni5Fe4	CW307G	CuAl10Ni-5Fe4	2.0966	C63000	Rest	8,5 – 11,0	–	–	–	3,0 – 5,0	–	< 1,0	4,0 – 6,0	< 0,05	< 0,2	< 0,1	< 0,4	< 0,2	7,6	1050 – 1080	–	6	50	17	1,05 – 1,3	120	45	DIN EN 1653 (Platten)	–	–	8 – 10	170 – 210	Platten für Kondensator- und Wärmeüberträgerböden; Wellen, Schrauben, Verschleißteile; Steuerungsteile für hydraulische Anlagen; Heissdampfarmaturen, Hochspannungsschalter, Saugwalzen in der Papierindustrie; Zylindereinsatzbuchsen für Verbrennungsmotoren; mechanisch und chemisch beanspruchte Teile im Maschinen-, Schiff- und Bergbau
																												DIN EN 12420 (Schmiedestück)	650	350	12	180	
CuAl11Fe6Ni6	CW308G	CuAl11Ni-6Fe5	2.0978	–	Rest	10,5 – 12,5	–	–	–	5,0 – 7,0	–	< 1,5	5,0 – 7,0	< 0,05	< 0,2	< 0,1	< 0,5	< 0,2	7,4	1060 – 1080	–	5	40	17	1,2 – 1,5	127	45	DIN EN 12163 (Stange)	750 – 830	450 – 680	10	190 – 235	Konstruktionsteile höherer Festigkeit, höchstbelastete Lagerteile, Zapfenlager bei stoßartiger Beanspruchung; Ventile, Ventilsitze; Deckplatten, Gleitsteine, Verschleißteile; Matrizen für spanlose Umformtechnik; Heissdampfarmaturen
																												DIN EN 12420 (Schmiedestück)	750	450	5	190	
Kupfer-Aluminium Gusslegierungen nach DIN EN 1982																																
CuAl9-C-GM	CC330G	–	–	–	88,0 – 92,0	8,0 – 10,5	–	–	–	< 1,2	–	< 0,50	< 1,0	< 0,30	< 0,20	< 0,30	< 0,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–			500	180	20	100	Kleine und komplexe Duckgussteile
CuAl9-C-GZ		–	–																										450	160	15	100	
CuAl10Fe2-C-GS	CC331G	G-CuAl10Fe	2.0940.01	C95200	83,0 – 89,5	8,5 – 10,5	–	–	–	1,5 – 3,5	< 0,05	< 1,0	< 1,5	< 0,10	< 0,2	< 0,20	< 0,50	–	7,5	1040 – 1060	1,5 – 2	5 – 8	55	16 – 17	1,3	110 – 116	–		500	180	18	100	Konstruktionswerkstoff höherer Festigkeit für Formguss; Gussstücke für die chemische Industrie; Kohlehalterungen in der Elektro-Industrie; Schaltsegmente und Schaltgabeln im Textilmaschinen- und Automobilbau; Beschläge in der Möbelindustrie; Ritzel, Kegelräder, Synchronringe, Hebel, Gehäuse, Buchsen; mechanisch beanspruchte Teile
CuAl10Fe2-C-GM		GK-CuAl10Fe	2.0940.02																										600	250	20	130	
CuAl10Fe2-C-GZ		GZ-CuAl10Fe	2.0940.03																										550	200	18	130	
CuAl10Fe2-C-GC		–	–																										550	200	15	130	
CuAl10Ni3Fe2-C-GS	CC332G	G-CuAl9Ni	2.0970.01	–	80,0 – 86,0	8,5 – 10,5	–	–	–	1,0 – 3,0	< 0,05	< 2,0	1,5 – 4,0	< 0,10	< 0,2	< 0,20	< 0,50	–	7,5	980 – 1000	1,5 – 2	6 – 8	60	17 – 19	1,01 – 1,5	110 – 125	–		500	180	18	100	Konstruktionswerkstoff hoher statischer und dynamischer Festigkeit für Formguss; korrosionsbeanspruchte Teile, Armaturen für aggressive Wässer; Gussstücke, Beizkörbe und Kontaktbehälter für die chemische Industrie; Gussstücke für die Nahrungsmittel- und Ölindustrie, für Bergbau und Schiffbau (Schiffspropeller, Verstellpropeller, Steventeile, Flanschen); Konstruktionsteile für Nahrungsmittelmaschinen; Schnecken- und Schneckenräder, Zahnräder, Gleitbacken, Heissdampfarmaturen
CuAl10Ni3Fe2-C-GM		GK-CuAl9Ni	2.0970.02																										600	250	20	130	
CuAl10Ni3Fe2-C-GZ		GZ-CuAl9Ni	2.0970.03																										550	220	20	120	
CuAl10Ni3Fe2-C-GC		–	–																										550	220	20	120	
CuAl10Fe5Ni5-C-GS	CC333G	G-CuAl10Ni	2.0975.01	–	76,0 – 83,0	8,5 – 10,5	–	< 0,01	< 0,05	4,0 – 5,5	< 0,05	< 3,0	4,0 – 6,0	< 0,03	< 0,1	< 0,1	< 0,50	–	7,6	1020 – 1040	1,75 – 2	4 – 6	60	17 – 19	1,4 – 2,0	110 – 128	–		600	250	13	140	Konstruktionswerkstoff; Verteilerköpfe und Umkehrböden im Apparatebau und in der Petrochemie; Laufräder, Schiffspropeller, Stevenrohre; Heissdampfarmaturen, Pumpengehäuse; allgemein für hinsichtlich Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit hochbeanspruchte Teile
CuAl10Fe5Ni5-C-GM		GK-CuAl10Ni	2.0975.02																										650	280	7	150	
CuAl10Fe5Ni5-C-GZ		GZ-CuAl10Ni	2.0975.03																										650	280	13	150	
CuAl10Fe5Ni5-C-GC		GC-CuAl10Ni	2.0975.04																										650	280	13	150	
CuAl11Fe6Ni6-C-GS	CC334G	G-CuAl11Ni	2.0980.01	–	72,0 – 82,5	10 – 12	–	–	–	4,0 – 7,0	< 0,05	< 2,5	4,0 – 7,5	< 0,05	< 0,1	< 0,2	< 0,50	–	7,6	1030 – 1050	1,75 – 2	2 – 5	60	17 – 19	1,2 – 1,5	110 – 128	–		680	320	5	170	Konstruktionswerkstoff; für Teile mit erhöhten Anforderungen an Kavations- und Verschleißfestigkeit; Schnecken- und Schraubenräder bei höchsten Zahndrücken (gute Schmierung erforderlich); Gleitlager mit sehr hohen Stoßbelastungen; Kurbel- und Kniehebellager für Lastspitzen bis 2500 N/cm²; Innenteile für Höchstdruckarmaturen in der Hydraulik; Gelenkbacken und Druckmuttern; Francisräder und Kaplanschaufeln, Pumpenlaufräder
CuAl11Fe6Ni6-C-GM		GK-CuAl11Ni	2.0980.02																										750	380	5	185	
CuAl11Fe6Ni6-C-GZ		GZ-CuAl11Ni	2.0980.03																										750	380	5	185	

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

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