



Kupfer-Nickel-Legierungen

Eigenschaften – Bearbeitung – Anwendung



Deutsches
Kupferinstitut
Copper Alliance

Vorwort

Obgleich es sich beim elementaren Nickel um ein relativ spät entdecktes Element handelt, liegt seine Anwendung in Legierungen – ohne Kenntnis der Legierungszusammensetzung – mindestens zwei Jahrtausende zurück. Das bestätigen Münzfunde aus dem Altertum, die neben Kupfer bis zu 10 % Nickel enthalten [1].

Die älteste Kupfer-Nickel-Münze, die der Nachwelt erhalten geblieben ist, stammt aus der Zeit um 235 v. Chr. Sie besteht aus einer ähnlichen Legierung wie z. B. der Ring der Zwei-Euro-Münze (etwa 75 % Cu und 25 % Ni). Die gut erhaltenen, antiken Münzen sind ein hervorragendes Beispiel für die hohe Korrosionsbeständigkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen.

1751 gelang A. F. Cronstedt erstmalig die Darstellung von Nickel. Doch bereits viel früher gab es Kupfer-Nickel-Legierungen, die meist durch Aufarbeitung von Erzen entstanden waren.

Die für die Elektrotechnik wichtigen Kupfer-Nickel-Legierungen mit Zusätzen von Mangan wurden 1895 erstmals von Feussner und Lindeck in einer Arbeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Berlin über „Elektrische Eigenschaften von Kupfer-Nickel-Legierungen“ erwähnt. Etwa 1925 wurde erkannt, dass Zusätze von Eisen die Beständigkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen gegen Erosionskorrosion im strömenden Meerwasser und anderen aggressiven Wassern entscheidend verbessern.

In England wurde die Bezeichnung „cupronickel“ bereits Anfang des 20. Jahrhunderts für eine Legierung aus 80 % Cu und 20 % Ni verwendet. In Deutschland war für die Werkstoffgruppe mit weniger als 50 % Ni die Bezeichnung „Kupfer-Nickel-Legierungen“ allgemein üblich.

Inzwischen gehören Kupfer-Nickel-Legierungen insbesondere aufgrund ihrer guten Korrosionsbeständigkeit und Festigkeitskennwerte vor allem im Schiff-, Automobil- und Fahrzeugbau, aber auch im Apparate- und Maschinenbau zu den wichtigsten Werkstoffen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung Kupfer-Nickel-Legierungen	6
1.1 Einfluss der Legierungselemente	7
1.2 Kupfer-Nickel-Legierungen in den Normen	10
1.3 Gegenüberstellung vergleichbarer Werkstoffbezeichnungen in verschiedenen Ländern	16
2. Eigenschaften	17
2.1 Physikalische Eigenschaften	17
2.2 Mechanische Eigenschaften	23
2.3 Korrosionsbeständigkeit	31
3. Herstellung und Bearbeitung	40
3.1 Schmelzen	40
3.2 Gießen	42
3.3 Umformung	42
3.4 Wärmebehandlung	42
3.5 Spanabhebende Bearbeitung	42
3.6 Verbindungsarbeiten	43
3.7 Oberflächenbehandlung	45
4. Anwendung	46
Literatur	52
Normen	54
Bildnachweis	55

Herausgeber:
Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e. V.

Heinrichstraße 24
40239 Düsseldorf

Tel.: +49 211 239469-0
Fax: +49 211 239469-10

info@kupferinstitut.de
www.kupferinstitut.de

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

1. Einführung

Heute haben sich die Kupfer-Nickel-Legierungen aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften eine Vielzahl interessanter Anwendungsgebiete erobert [2-4].

Kupfer und Nickel stehen im periodischen System der Elemente mit den Ordnungszahlen 29 bzw. 28 und den Atomgewichten 63,54 bzw. 58,71 nebeneinander.

Beide Metalle sind nah verwandt und sowohl im flüssigen als auch im festen Zustand vollständig mischbar. Die Kupfer-Nickel-Legierungen kristallisieren im gesamten Konzentrationsbereich in einem kubisch-flächenzentrierten Gitter. Der Gitterabstand des kubisch-zentrierten Mischkristalls ändert sich fast gradlinig mit der Atomkonzentration zwischen den Werten des Kupfers ($3,6153 \cdot 10^{-8}$ cm) und des Nickels ($3,5238 \cdot 10^{-8}$ cm).

Kupfer-Nickel-Legierungen sind Legierungen aus Kupfer (Basismetall mit dem größten Einzelgehalt) und Nickel mit oder ohne weitere Elemente, wobei jedoch der Zinkgehalt in jedem Fall nicht mehr als 1 % betragen darf. Wenn andere Elemente vorhanden sind, hat Nickel nach Kupfer den größten Einzelanteil, verglichen mit jedem anderen Element.

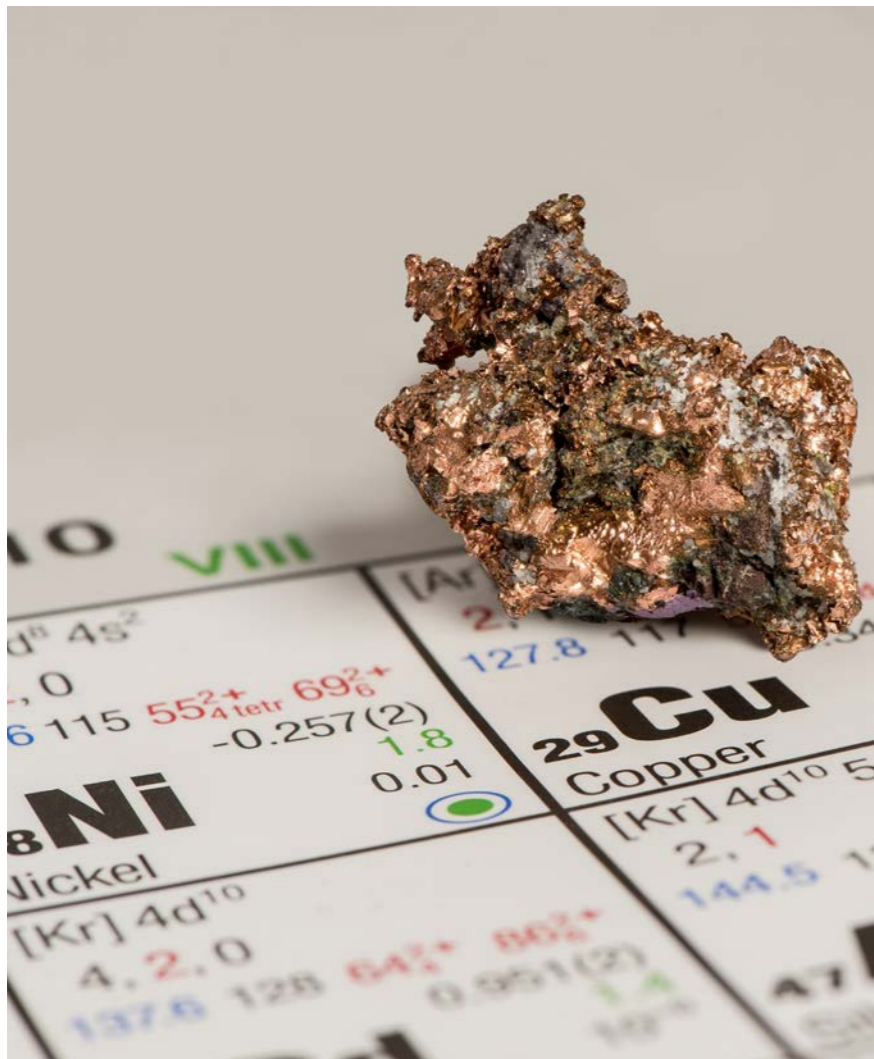
Es ist – wie bei anderen Kupferwerkstoffen auch – zwischen Knetlegierungen, die zu Halbzeug verarbeitet, und Gusslegierungen, aus denen nach verschiedenen Gießverfahren Gussstücke hergestellt werden, zu unterscheiden.

Die gebräuchlichen Legierungen enthalten außer 8,5 bis 45 % Nickel zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften meist noch Mangan, Eisen sowie Zinn; die Gusslegierungen außerdem hauptsächlich Zusätze von Niob und Silicium.

Nicht behandelt werden hier die aushärtbaren Kupfer-Nickel-Silizium-Legierungen mit 1,0 bis 4,5 % Nickel und 0,4 bis 1,3 % Silicium sowie die aushärtbare Kupfer-Nickel-Beryllium-Legierung CuNi2Be mit 1,4 bis 2,0 % Ni und 0,2 bis 0,6 % Be, da diese Legierungen in der Normung nicht den Kupfer-Nickel-Legierungen, sondern den „Niedriglegierten Kupfer-Knetlegierungen“ zugeordnet werden.

Das Zustandsschaubild von Kupfer-Nickel wurde erstmalig von Guertler und Tammann aufgestellt und später u. a. von Pilling und Kihlgren verbessert (Abb. 1) [5].

Die Legierungen beider Metalle bilden eine lückenlose Reihe von Mischkristallen mit einphasigem, kubisch-flächenzentriertem Gitter, d. h., das System Kupfer-Nickel weist sowohl im festen als auch im flüssigen Zustand völlige Löslichkeit auf. Daher ist das Zustandsschaubild sehr einfach. Die Schmelzpunkte der beiden Komponenten verbreitern



sich bei den Legierungen zu einem Schmelzintervall. Die obere Kurve, die das Gebiet der Schmelze nach unten begrenzt, wird „Liquiduslinie“ genannt. Die Kurve, die das Gebiet der α -Kristalle nach oben begrenzt, bezeichnet man als „Soliduslinie“. Zwischen Liquidus- und Soliduslinie existiert ein Zweiphasengebiet, in dem Schmelze und α -Kristalle nebeneinander vorliegen.

1.1 Einfluss der Legierungselemente

Nickel beeinflusst die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Kupfer-Nickel-Legierungen entscheidend. Während sich mit steigendem Nickelgehalt Zugfestigkeit, 0,2-%-Dehngrenze, Warmfestigkeit, Solidus- bzw. Liquidustemperaturen und Korrosionsbeständigkeit erhöhen, nimmt die Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität ab. In Abbildung 2 sind die Zugfestigkeit und die Dehnung in Abhängigkeit vom Nickelgehalt dargestellt.

Dort zeigt die Zugfestigkeit mit zunehmendem Nickelgehalt eine stetige Zunahme, die Dehnung bleibt nach einer leichten Abnahme (bis 5 % Ni) in etwa konstant.

Mangan wird zur Desoxidation der Schmelze zugesetzt. Es bindet den für die Warmumformung schädlichen Schwefel als unschädliches Mangansulfid, verbessert die Gießereigenschaften und erhöht die Entfestigungstemperatur (Abb. 3).

Eisen – im Mischkristall gelöst – erhöht die Korrosionsbeständigkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen. Es fördert im Wasser die Ausbildung einer fest haftenden, gleichmäßigen Schutzschicht und verbessert damit die Korrosionsbeständigkeit, vor allem im schnell strömenden Meerwasser. Die Löslichkeit von Eisen im Kupfer-Nickel-Mischkristall nimmt

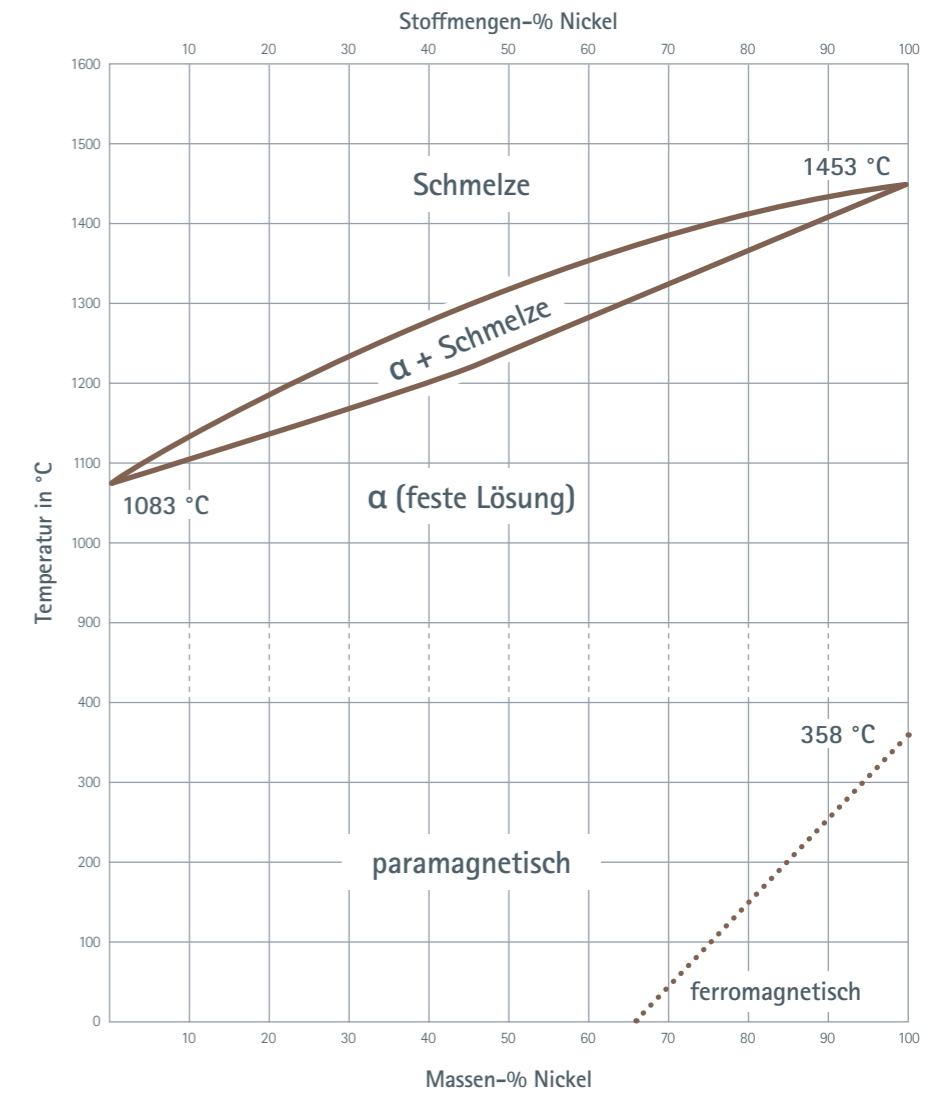


Abbildung 1: Zustandsschaubild Kupfer-Nickel (DKI A 4049). Unterhalb der unten rechts eingezeichneten gestrichelten Gerade liegt ein ferromagnetisches, oberhalb ein paramagnetisches Verhalten vor. So sind dann z. B. bei 150 °C alle Legierungen bis 80 % Ni paramagnetisch, während bei 20 °C Legierungen mit über 68,5 % Ni bereits ferromagnetisches Verhalten zeigen.

mit sinkender Temperatur ab (Abb. 4), d. h., diese Legierungen – bevorzugt die mit höheren Eisengehalten – sind aushärtbar. Die Löslichkeit des Eisens hängt auch vom Nickelgehalt der Legierung ab: sie nimmt mit Nickelgehalt zu, erreicht bei 30 % Ni ein Maximum und fällt bei weiter steigenden Nickelgehalten wieder ab.

Den Einfluss des Eisens auf die Härte gibt Abbildung 5 wieder. Die Festigkeitseigenschaften werden durch Eisen etwas verbessert; die Kaltumformbarkeit wird leicht beeinträchtigt.

Zinn erhöht als Zusatzelement die Zugfestigkeit, die Anlaufbeständigkeit und die Verschleißfestigkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen. Kupfer-Nickel-Legierungen mit ca. 2 % Sn zeichnen sich durch eine sehr gute Relaxationsbeständigkeit aus und finden daher als Federwerkstoffe Anwendung. Legierungen mit noch höheren Zinngehalten (4 bis 10 %) lassen sich auch aushärten (Abb. 6).

Silicium verbessert in den Gusslegierungen die Gießbarkeit und wirkt zugleich desoxidierend. Im System Kupfer-Nickel nimmt die Löslichkeit von Silicium mit steigendem Nickelgehalt zu. Bis zur Löslichkeitsgrenze erhöhen zunehmende Siliziumgehalte die Festigkeit und vermindern die Duktilität.

Niob steigert Zugfestigkeit und Dehngrenze, wobei die Dehnung abfällt. Entscheidend ist der günstige Einfluss von Niob auf die Schweißbeignung der Gusslegierungen (s. Kap. 3.6.1).

Blei wird in den zur Warmbearbeitung bestimmten genormten Knetlegierungen unter 0,02 % gehalten. Bereits Bleigehalte von über 0,01 % beeinträchtigen die Schweißbeignung. Bekannt sind allerdings Gusslegierungen mit hohen Bleigehalten, wie z. B. in ASTM B 584 von 1 bis 11 % Pb (C97300 bis C97800), die für die spanende Bearbeitung eingesetzt werden.

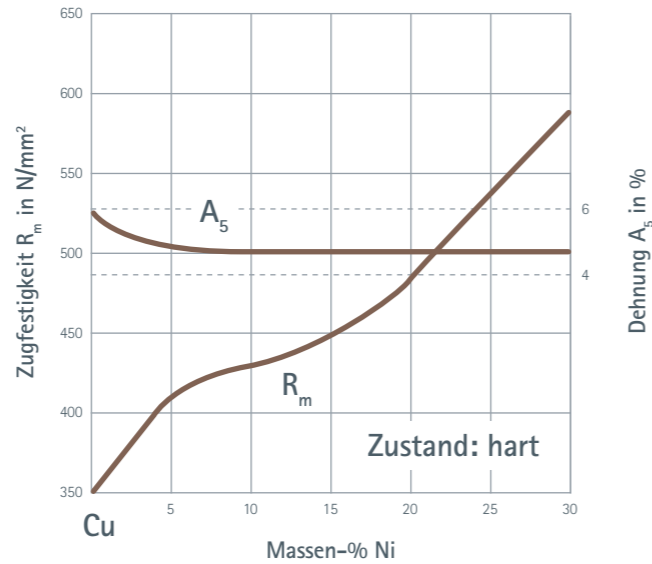


Abbildung 2: Zugfestigkeit und Dehnung von Kupfer-Nickel-Legierungen in Abhängigkeit vom Nickelgehalt [8] (DKI A 4963)

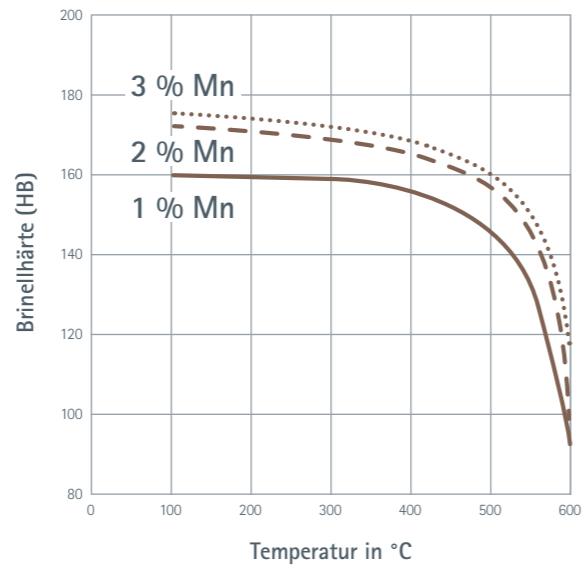


Abbildung 3: Entfestigungsverhalten von einer Kupfer-Nickel-Legierung mit 20 % Ni bei verschiedenen Manganzusätzen [2] (DKI A 4050)

Der Gehalt von **Zink** bei Kupfer-Nickel-Legierungen wird bis auf max. 1 % begrenzt. Als Einbauwerkstoffe in Elektronenröhren werden zur Vermeidung einer Zinkausdampfung zinkfreie Legierungen gefordert. Zink ist jedoch ein Hauptbestandteil der Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (früher „Neusilber“). Diese Legierungen werden hier jedoch nicht behandelt.

Titan fördert die Ausbildung porenfreier Schweißnähte, weil es aufgrund seiner hohen Affinität zu Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff diese Gase abbinden kann. Daher ist Titan ein wesentlicher Bestandteil der Schweißzusatzwerkstoffe.

Phosphor wirkt in Kupfer-Nickel-Legierungen sehr versprödet und verschlechtert die Schweißbeignung (Warmbrüchigkeit und Rissbildung). Deshalb hält man den Phosphorgehalt so niedrig wie möglich, höchstens jedoch bei 0,015 bis 0,05 %. Als Legierungselemente sind ferner noch Chrom, Aluminium und Beryllium interessant. Diese Zusätze machen die Kupfer-Nickel-Legierungen aushärtbar.

Chrom steigert die Festigkeit und hat einen überraschend günstigen Einfluss auf die Beständigkeit gegen Erosionskorrosion im schnell strömenden Meerwasser und gegen Feststofferosion.

Aluminium erhöht die Festigkeit, Meerwasser- und Zunderbeständigkeit. Beryllium hat nach der Aushärtung den stärksten Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften.

Die Löslichkeit von **Kohlenstoff** in Nickel (max. 0,18 %) wird mit zunehmendem Kupfergehalt stark verringert – bei einem Kupfergehalt von 90 % liegt sie bei etwa 0,01 %. Kohlenstoff ist in Kupfer-Nickel-Legierungen nicht störend.

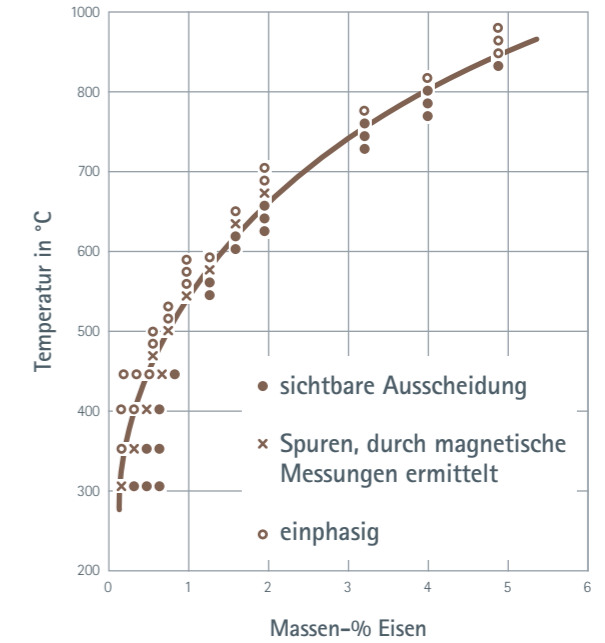


Abbildung 4: Löslichkeitsgrenze von Eisen für eine Kupfer-Nickel-Legierung mit 10 % Ni in Abhängigkeit von der Temperatur [8] (DKI A 4053)

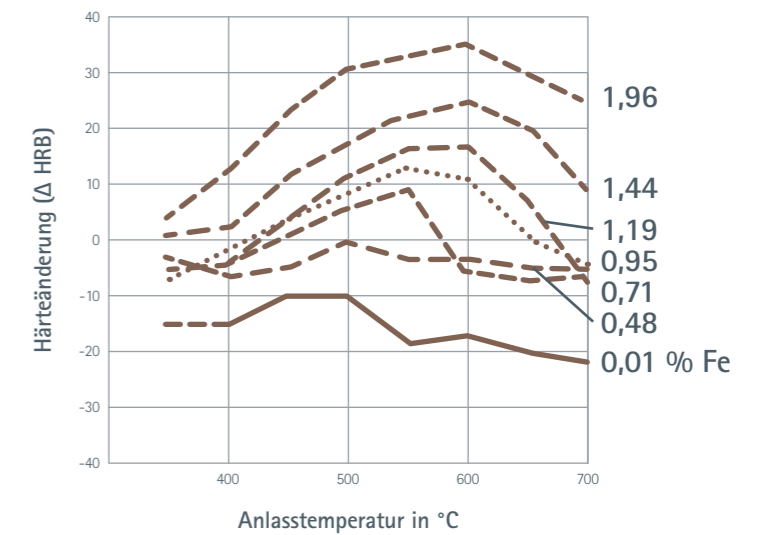


Abbildung 5: Einfluss des Eisens auf die Härteänderung einer CuNi10-Legierung, 900 °C abgeschreckt und 2 h bei verschiedenen Temperaturen gegläht [10] (DKI A 4054)

Kobalt kann oft als unkontrollierter Bestandteil in Kupfer-Nickel-Legierungen vorkommen, je nach Kobaltgehalt des eingesetzten Nickels.

Antimon, Arsen, Schwefel, Tellur und **Wismut** wirken schon in geringen Mengen allein oder in Kombinationen verspröden und sollten in Kupfer-Nickel-Legierungen praktisch nicht vorhanden sein.

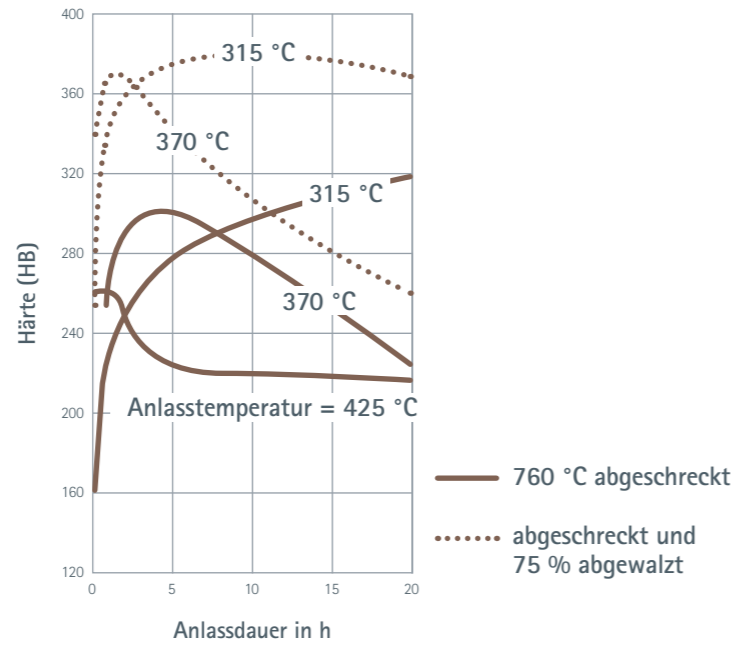


Abbildung 6: Aushärtung einer Kupfer-Nickel-Zinn-Legierung – 84,5 % Cu, 7,5 % Ni, 8 % Sn [11] (DKI A 4964)

1.2 Kupfer-Nickel-Legierungen in den Normen

Kupfer-Nickel-Knetlegierungen sind in DIN CEN/TS 13388 genormt. Tabelle 1 gibt die Zusammensetzung dieser Legierungen wieder. Nach den DIN EN-Normen gilt für Kupfer-Nickel-Knetlegierungen das Kurzzeichen CuNi mit einer nachgestellten Zahl, die den mittleren Nickelgehalt angibt. CuNi25 enthält demnach rd. 75 % Cu und 25 % Ni. Weitere Zusatzelemente werden im Kurzzeichen durch das Anhängen der chemischen Symbole und sehr oft auch durch Angabe der mittleren Gehalte angegeben.

Kupfer-Nickel-Knetlegierungen werden in Form von Bändern, Blechen, Platten, Rohren, Stangen, Drähten und Schmiedestücken geliefert (Tab. 2). Die Festigkeitsdaten sind in den entsprechenden Produktnormen für die jeweiligen Legierungen angegeben.

Etliche binäre Legierungen mit 2,6 und 10 % Ni können bei Anwendungstemperaturen von max. 300 bis 400 °C eingesetzt werden und sind als **Widerstandslegierungen** in DIN 17 471 u. a. genormt (Tab. 3). Die dort ebenfalls

genormten und Mangan bzw. Eisen enthaltenden Legierungen werden durch das nachgestellte chemische Symbol für Mangan oder Eisen gekennzeichnet, wenn und soweit dies zur Unterscheidung von ähnlichen Werkstoffen erforderlich ist, z. B. CuNi30Fe2Mn2 (30 % Ni, 2 % Fe, 2 % Mn und etwa 66 % Cu) oder CuNi44 für die Legierung mit 44 % Ni, 1 % Mn und 55 % Cu, in deren Kurzzeichen nur die Zahl des mittleren Nickelgehaltes angegeben wird. Die eben genannten zwei Werkstoffe sind für maximale Anwendungstemperaturen von 500 bis 600 °C geeignet.

Die Zusammensetzung der in DIN EN 1982 genormten Kupfer-Nickel-Gusslegierungen ist in Tabelle 4 angegeben. DIN EN 1982 enthält auch Festigkeitskennwerte. Bei den Gusslegierungen wird dem Kurzzeichen ein C mit Bindestrich danach gestellt. Die dem Kurzzeichen CuNi angehängte Zahl gibt den mittleren Nickelgehalt an – z. B. CuNi-10Fe1Mn1-C. Die Gusslegierungen können außer Kupfer und Nickel noch Zusätze von Eisen, Mangan, Silicium sowie Niob enthalten, die im Kurzzeichen nicht immer berücksichtigt

sind. Kupfer-Nickel-Gusslegierungen mit höheren Bleigehalten sind in den USA genormt, in Europa jedoch nicht.

Von den Normen, die u. a. auch Kupfer-Nickel-Legierungen berücksichtigen, sind insbesondere noch AD 2000-Merkblätter für Druckbehälter, Rohrleitungen und Ausrüstungsteile, DIN 17234 (Hydraulische Bremsanlagen, Rohre, Bördel), DIN EN ISO 24373 (Massivdrähte und -stäbe zum Schmelzschweißen von Kupfer und Kupferlegierungen), DIN 17471 (Widerstandslegierungen) zu erwähnen.

Knetlegierungen
nach DIN CEN/TS 13388

Werkstoffbezeichnung		Zusammensetzung in % (Massenanteile)													Dichte ^a g/cm ³
Kurzzeichen	Nummer	Element	Cu	C	Co	Fe	Mn	Ni	P	Pb	S	Sn	Zn	Sonstige insgesamt	ungefähr
CuNi25	CW350H	min. max.	Rest –	– 0,05	– 0,1	– 0,3	– 0,5	24,0 26,0	– –	– 0,02	– 0,05	– 0,03	– 0,5	– 0,1	8,9
CuNi9Sn2	CW351H	min. max.	Rest –	– –	– –	– 0,3	– 0,3	8,5 10,5	– –	– 0,03	– –	1,8 2,8	– 0,1	– 0,1	8,9
CuNi10Fe1Mn	CW352H	min. max.	Rest –	– 0,05	– 0,1 ^b	1,0 2,0	0,5 0,1	9,0 11,0	– 0,02	– 0,02	– 0,05	– 0,03	– 0,5	– 0,2	8,9
CuNi30Fe2Mn2	CW353H	min. max.	Rest –	– 0,05	– 0,1 ^b	1,5 2,5	1,5 2,5	29,0 32,0	– 0,02	– 0,02	– 0,05	– 0,05	– 0,5	– 0,2	8,9
CuNi30Mn1Fe	CW354H	min. max.	Rest –	– 0,05	– 0,1 ^b	0,4 1,0	0,5 1,5	30,0 32,0	– 0,02	– 0,02	– 0,05	– 0,05	– 0,5	– 0,2	8,9

^a Nur zur Information.
^b Co max. 0,1 % wird als Ni gezählt.

nach WL 2.1504

Werkstoffbezeichnung		Zusammensetzung in % (Massenanteile)													Dichte ^a g/cm ³
Kurzzeichen	Nummer	Element	Cu	Si	Mn	Zn	S	Cr	Fe	Ni	Ti	Al	Sonstige insgesamt	ungefähr	
CuNi14Al3	2.1504	min. max.	78,0 84,0	– 0,1	– 1,0	– 0,3	– –	– –	– 1,5	13,0 16,0	– –	2,0 3,0	– 0,5	8,5	

Tabelle 1: Kupfer-Nickel-Legierungen nach DIN CEN/TS 13388 und WL 2.1504

Werkstoffbezeichnung		Produktformen und verfügbare Werkstoffe																														
		Walzflacherzeugnisse								Rohre								Stangen, Profile, Drähte								Schmiedevor- material und Schmiedestücke						
Kurzzeichen	Nummer	EN 1172:2011	EN 1652:1997	EN 1653:1997	EN 1654:1997	EN 1758:1997	EN 13148:2010	EN 13599:2014	EN 14436:2004	EN 1057:2006 + A1:2010	EN 12449:2012	EN 12450:2012	EN 12451:2012	EN 12452:2012	EN 12735-1:2010	EN 12735-2:2010	EN 13348:2008	EN 13349:2002	EN 13600:2013	EN 1977:2013	EN 12163:2011	EN 12164:2011	EN 12166:2011	EN 12167:2011	EN 12168:2011	EN 13601:2013	EN 13602:2013	EN 13605:2013	EN 12165:2011	EN 12420:2014	EN 13604:2013	
CuNi25	CW350H		X																													
CuNi9Sn2	CW351H		X		X		X		X																							
CuNi10Fe1Mn	CW352H		X	X							X		X	X								X								X	X	
CuNi30Fe2Mn2	CW353H												X																			
CuNi30Mn1Fe	CW354H		X	X							X		X	X								X								X	X	

Anmerkungen:
 - CuNi14Al3 ist als Stange und Schmiedestücke lieferbar.
 - CuNi44Mn1 für elektrische Widerstände sind nach DIN 17471 genormt
 - CuNi10Mn1Fe1-C, CuNi30Mn1Fe1-C, CuNi30Cr2FeMnSi-C und CuNi30Fe1Mn1NbSi-C für Gussstücke sind nach DIN EN 1982 genormt

Tabelle 2: Halbzeugformen für Kupfer-Nickel-Knetlegierungen nach DIN CEN/TS 13388

Werkstoff	Ni (+Co)	Cu	Fe	Mn	C
CuNi2	2	Rest	-	-	-
CuNi6	6	Rest	-	-	-
CuNi10	≤ 11,0	Rest	≤ 0,1	≤ 0,3	-
CuNi23Mn	23	Rest	-	1,5	-
CuNi30Mn	29,0–32,0	Rest	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,5
CuNi44Mn1	43,0–45,0	Rest	≤ 0,5	0,5–2,0	≤ 0,1

Tabelle 3: Kupfer-Nickel-Legierungen für Widerstände nach DIN 17471 (1983)

Werkstoffbezeichnung		Zusammensetzung in % (Massenanteile)																						Gießverfahren und Bezeichnung		
Kurzzeichen	Nummer	Element	Al	B	Bi	C	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Nb	Ni	P	Pb	S	Se	Si	Te	Ti	Zn	Zr	Strangguss GC	Sandguss GS	Schleuderguss GZ
CuNi10Fe1Mn1-B	CB380H	min. max.	- 0,01	- -	- -	- 0,10	- -	- -	84,5 -	1,2 1,8	- -	1,2 1,5	- 1,0	9,2 11,0	- -	- 0,03	- -	- -	0,10 -	- -	- -	- 0,50	- -	X	X	X
CuNi10Fe1Mn1-C	CC380H	min. max.	- 0,01	- -	- -	- 0,10	- -	- -	84,5 -	1,0 1,8	- -	1,0 1,5	- 1,0	9,0 11,0	- -	- 0,03	- -	- -	0,10 -	- -	- -	- 0,5	- -	X	X	X
CuNi30Fe1Mn1-B	CB381H	min. max.	- 0,01	- -	- -	- 0,02	- -	- -	64,5 -	0,5 1,5	- -	0,7 1,2	- -	29,2 31,0	- 0,01	- 0,03	- 0,01	- -	0,10 -	- -	- -	- 0,50	- -	X	X	X
CuNi30Fe1Mn1-C	CC381H	min. max.	- 0,01	- -	- -	- 0,03	- -	- -	64,5 -	0,5 1,5	- -	0,6 1,2	- -	29,0 31,0	- 0,01	- 0,03	- 0,01	- -	0,1 -	- -	- -	- 0,5	- -	X	X	X
CuNi30Cr2FeMnSi-C ^a	CC382H ^a	min. max.	- 0,01	- 0,01	- 0,002	- 0,03	- -	1,5 2,0	Rest -	0,5 1,0	- 0,01	0,5 1,0	- -	29,0 32,0	- 0,01	- 0,005	- 0,01	- 0,005	0,15 0,50	- 0,005	- 0,25	- 0,2	- 0,15	X	X	X
CuNi3Fe1Mn1NbSi-C ^a	CC383H ^a	min. max.	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,03	- 0,02	- -	Rest -	0,6 1,5	- 0,01	0,6 1,2	0,5 1,0	29,0 31,0	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,01	0,3 0,7	- 0,01	- -	- 0,50	- -	X	X	X

^a Eigenschaften von Blockmetallen zur Herstellung dieser Gussstücke* sind in EN 1982 nicht festgelegt. Die Grenzwerte für die Zusammensetzung von Blockmetallen bleiben dem Käufer überlassen und müssen in der Anfrage und in der Bestellung angegeben werden (siehe EN 1982:2008, Abschnitt 5 I).

* Bei der Herstellung von Modellen ist ein Schwindmaß von 1,9 bis 2 % zu berücksichtigen

Tabelle 4: Kupfer-Nickel-Gusslegierungen nach DIN CEN/TS 13388

EN	DIN	BS ²	NF ³	UNS ¹	ISO ⁴
CuNi9Sn2	CuNi9Sn2	-	-	C 72500	CuNi9Sn2
CuNi10Fe1-Mn	CuNi10Fe1Mn	CN 102	CuNi10Fe1Mn	C 70600	CuNi10Fe1Mn
CuNi25	CuNi25	CN 105	CuNi25	C 71300	CuNi25
CuNi30Mn1-Fe	CuNi30Mn1Fe	CN 107	CuNi30Mn1Fe	C 71500	CuNi30Mn1Fe
CuNi30Fe2-Mn2	CuNi30Fe2Mn2	CN 108	CuNi30Fe2Mn2	C 71640	CuNi30Fe2Mn2
CuNi44Mn1	CuNi44Mn1	-	CuNi44	C 72150	CuNi44Mn1
CuNi10Fe1-Mn1-C	G-CuNi10	-	-	C 96200	-
CuNi30Fe1-Mn1-C	-	-	-	-	-
CuNi30Cr2-FeMnSi-C	-	-	-	-	-
CuNi30Fe1-Mn1NbSi-C	G-CuNi30	CN 2	-	C 96400	G-CuNi30Nb
CuNi14Al3 ⁵	2.1504	-	CuNi14Al2	C 72420	-

¹ UNS = United Numbering System
² BS = British Standards
³ NF = Norme Francaise
⁴ ISO = International Organisation for Standardization
⁵ nur in WL genormt

Tabelle 5: Normenvergleich von Kupfer-Nickel-Legierungen

1.3 Gegenüberstellung vergleichbarer Werkstoffbezeichnungen in verschiedenen Ländern

Die Toleranzbereiche der Zusammensetzung der in anderen Ländern genormten Legierungen sind nicht in allen Fällen gleich mit den Festlegungen nach DIN EN. Daher wird in Tab. 5 eine Gegenüberstellung der in etwa vergleichbaren Werkstoffbezeichnungen für verschiedene Länder (einschl. ISO) für Kupfer-Nickel-Legierungen gegeben.

2. Eigenschaften

Kupfer-Nickel-Legierungen haben interessante physikalische Eigenschaften, gute Festigkeitskennwerte – auch bei Dauerbeanspruchung und erhöhten Temperaturen – sowie eine hohe Korrosionsbeständigkeit gegenüber vielen Medien – vor allem Meerwasser.

Die Eigenschaften der **binären** Kupfer-Nickel-Legierungen sind für manche Anwendungsfälle noch nicht ausreichend. Durch einige Zusätze werden bestimmte Eigenschaften der Kupfer-Nickel-Legierungen

entscheidend verbessert. Von den zusätzlichen Legierungselementen sind insbesondere Mangan, Eisen und Zinn sowie Niob und Silicium, ferner Chrom, Beryllium und Aluminium technisch bedeutungsvoll.

2.1 Physikalische Eigenschaften

Nickel beeinflusst die Farbe der Kupfer-Nickel-Legierungen entscheidend. Die rötliche Kupferfarbe wird mit steigendem Nickelzusatz

hellgrauer. Ab etwa 15 % Ni sind die Legierungen fast silberweiß. Glanz und Reinheit der Farbe nehmen mit dem Nickelgehalt zu; etwa ab 40 % Ni ist die polierte Fläche kaum noch von der des Silbers zu unterscheiden.

Die wichtigen physikalischen Eigenschaften der genormten Kupfer-Nickel-Knetlegierungen sind in Tabelle 6 und die der in DIN 17471 genormten Kupfer-Nickel-Widerstandslegierungen in Tabelle 7 zusammengestellt.

EN-Bezeichnung	Schmelzbereich °C	Elektrische Leitfähigkeit bei 20 °C MS/m bzw. m/Ω · mm ²	Thermische Leitfähigkeit bei 20 °C W/(m · K)	Ausdehnungskoeffizient (25 bis 300 °C) 10 ⁻⁶ /K	Elastizitätsmodul (E) GPa bzw. kN/mm ²
CuNi9Sn2	1060-1130	6,4	48	17,6	140
CuNi10Fe1Mn3	1100-1145	5,3	46	17,0	130
CuNi25	1150-1210	3,1	29	15,5	145
CuNi30Mn1Fe3	1180-1240	2,7	29	16,0	150
CuNi30Fe2Mn2	1160-1240	2,0	21	15,0	140
CuNi14Al3	1130-1175	5,0	46	12,0	143

Tabelle 6: Physikalische Eigenschaften von Kupfer-Nickel-Legierungen (Richtwerte)

Bezeichnung nach DIN 17471	Dichte bei 20 °C (ρ ₂₀)	Solidus-temperatur °C	Spezifische Wärme bei 20 °C J/(g · K)	Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C W/(m · K)	Mittlerer Längenausdehnungskoeffizient		Thermospannung gegen Kupfer bei 20 °C μV/K
	kg/dm ³				(20 bis 100 °C) 10 ⁻⁶ /K	(20 bis 400 °C) 10 ⁻⁶ /K	
CuNi2	8,9	1090	0,38	130	16,5	17,5	-15
CuNi6	8,9	1095	0,38	92	16	17,5	-20
CuNi10	8,9	1100	0,38	59	16	17,5	-25
CuNi23Mn	8,9	1150	0,37	33	16	17,5	-30
CuNi30Mn	8,8	1180	0,40	25	14,5	16	-25
CuNi44	8,9	1230-1290 ²	0,41	23	13,5	15	-40

¹ Elektrischer Widerstand siehe Tabelle 8.
² Schmelzbereich

Tabelle 7: Physikalische Eigenschaften¹ von Kupfer-Nickel-Widerstandslegierungen (Richtwerte)

Die **Dichte** des Kupfers beträgt 8,93 kg/dm³ bei 20 °C. Durch einen ansteigenden Nickelgehalt (Dichte des Nickels bei 20 °C = 8,90 kg/dm³) wird dieser Wert nur wenig verändert. Die hohe **Wärmeleitfähigkeit** des reinen Kupfers von 394 W/(m · K) wird durch Nickelzusatz jedoch stark vermindert (Abb. 7); sie erreicht mit ca. 21 W/(m · K) einen Kleinstwert bei etwa 45 % Ni. Der **Längenausdehnungskoeffizient** nimmt mit dem Nickelzusatz zunächst stärker, dann langsamer ab (Abb. 8). Die **spezifische Wärme** (bei 20 °C) von Kupfer liegt bei 0,385 J/(g · K) und von Nickel bei 0,452 J/(g · K). Mit zunehmendem Nickelgehalt nimmt sie zunächst geringfügig ab: man kann im Mittel mit einem Wert von 0,377 J/(g · K) rechnen.

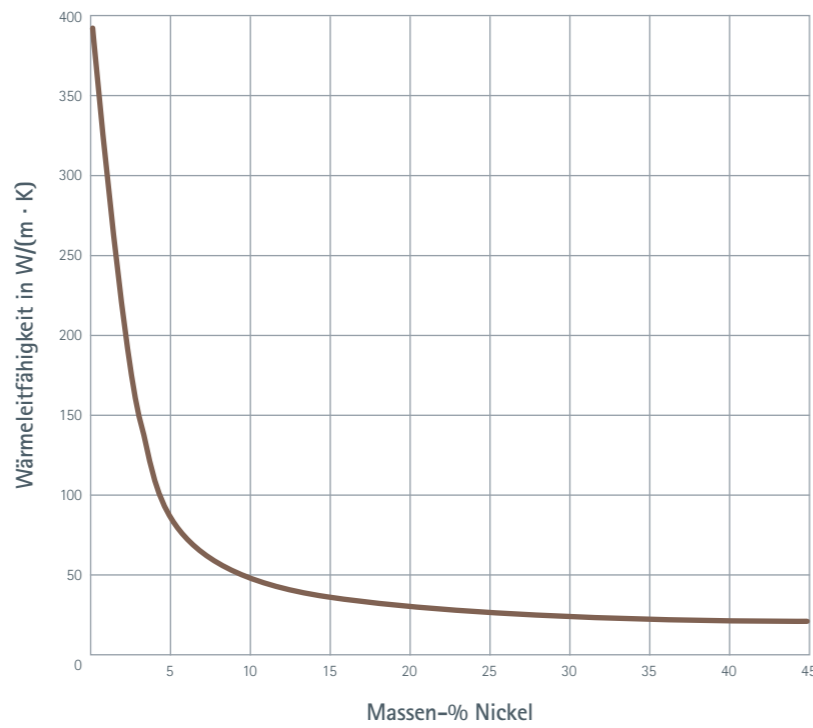


Abbildung 7: Wärmeleitfähigkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen bei 20 °C in Abhängigkeit vom Nickelgehalt [2] (DKI A 4055)

Der **elektrische Widerstand** der Kupfer-Nickel-Widerstandslegierungen ist für verschiedene Temperaturen in Tabelle 8 angegeben. Er steigt mit dem Nickelgehalt stark an, sodass die Kupfer-Nickel-Legierungen als Widerstandswerkstoffe geeignet sind. Es tritt ein Maximum bei ca. 45 % Ni auf. Ungefähr im gleichen Konzentrationsbereich liegt das Minimum des Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes (Abb. 9).

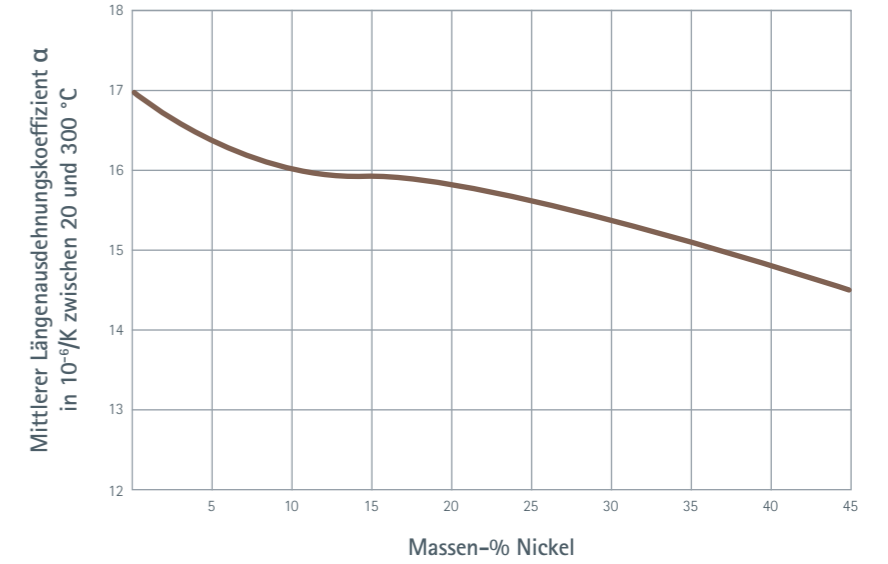


Abbildung 8: Mittlerer Längenausdehnungskoeffizient der Kupfer-Nickel-Legierungen in Abhängigkeit vom Nickelgehalt [2]

Bezeichnung nach DIN 17471	Spezifischer Widerstand in Ω · mm ² /m						Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes zwischen 20 und 105 °C 10 ⁻⁶ /K	Obere Anwendungstemperatur an Luft °C
	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C		
CuNi2	0,05 ¹	0,057	0,064	-	-	-	+1000 bis +1600	300
CuNi6	0,10 ¹	0,107	0,114	0,123	-	-	+500 bis +900	300
CuNi10	0,15 ¹	0,156	0,162	0,169	0,175	-	+350 bis +450	400
CuNi23-Mn	0,30 ²	0,308	0,315	0,323	0,331	0,339	+220 bis +280	500
CuNi30-Mn	0,40 ²	0,404	0,410	0,417	0,424	0,432	+80 bis +130	500
CuNi44	0,49 ²	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	-80 bis +40	600

¹ Zulässige Abweichung 10 %
² Zulässige Abweichung 5 %

Tabelle 8: Elektrischer Widerstand von Kupfer-Nickel-Widerstandslegierungen im weichen Zustand und obere Anwendungstemperaturen (Richtwerte)

Besonders hervorzuheben ist die hohe Thermospannung der Kupfer-Nickel-Legierungen im Bereich zwischen 40 und 50 % Ni gegen andere Metalle wie beispielsweise Eisen (Abb. 10), Kupfer oder Platin. Sie sind daher zur Anwendung in Thermopaaren für Temperaturmessungen im mittleren Temperaturbereich besonders geeignet. In Abbildung 11 ist die Thermospannung von CuNi44 gegen Kupfer und Eisen in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Die hohe Thermospannung von CuNi44 schließt seine Verwendung als Widerstandsmaterial in Niederspannungsgeräten aus, weil die Kupferanschlüsse mit CuNi44 ein Thermoelement bilden.

Der **Elastizitätsmodul** (s. Tab. 6) steigt mit dem zunehmenden Nickelgehalt an (CuNi-10Fe1Mn: 130 GPa; CuNi44Mn1: 165 GPa). Kupfer-Nickel-Legierungen zeigen **keinen Ferromagnetismus**. Kupfer ist diamagnetisch, Nickel ferromagnetisch. **Nickel-Kupfer-Legierungen** gehen mit steigendem Nickelgehalt vom diamagnetischen über den paramagnetischen in den ferromagnetischen Zustand über. Eisen hat je nach Legierung einen geringen Einfluss, wenn es in fester Lösung vorhanden ist. Liegt das Eisen in ausgeschiedener Form vor, so führen diese ferromagnetischen, mikroskopischen Partikel zu einem makroskopischen Anstieg des Ferromagnetismus.

Die ausscheidungsfreie Matrix bleibt dia- bzw. paramagnetisch. Kupfer-Nickel-Legierungen mit 20 bis 25 % Ni und 20 % Fe oder etwa 25 % Co sind ausgesprochene Magnetwerkstoffe. Infolge ihrer hohen Remanenz und Koerzitivkraft eignen sie sich auch für Dauermagnete. Alle physikalischen Eigenschaften der beiden Kupfer-Nickel-Knetlegierungen **CuNi10Fe1Mn** und **CuNi30Mn1Fe** sind eingehend untersucht und von Raumtemperatur bis 1000 °C gut bekannt [10].

Für die Kupfer-Nickel-Gusslegierungen nach DIN EN 1982 sind einige physikalische Eigenschaften Tabelle 9 zu entnehmen.

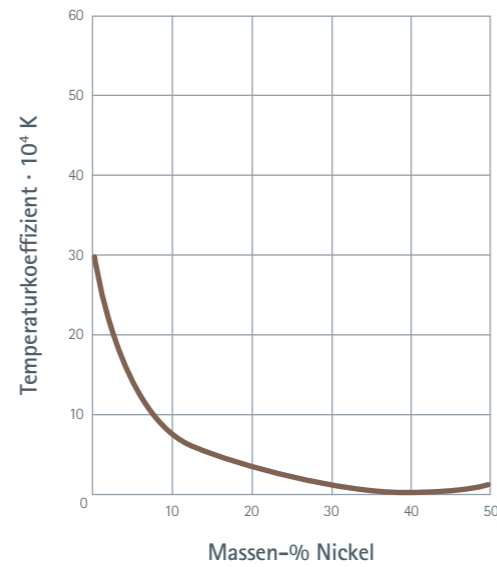
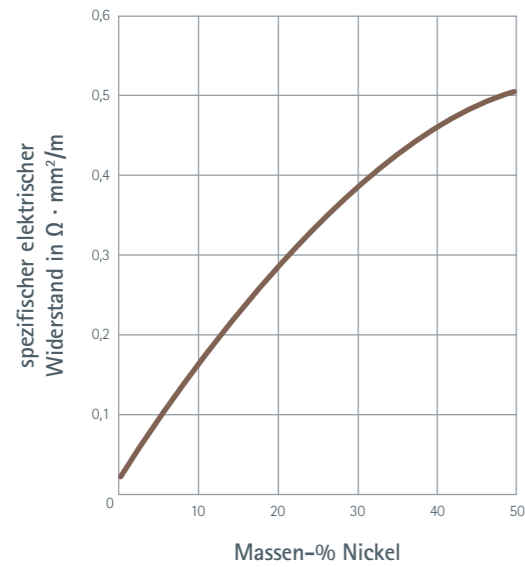


Abbildung 9: Elektrischer Widerstand und Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes der Kupfer-Nickel-Legierungen in Abhängigkeit vom Nickelgehalt [2] (DKI A 4057)

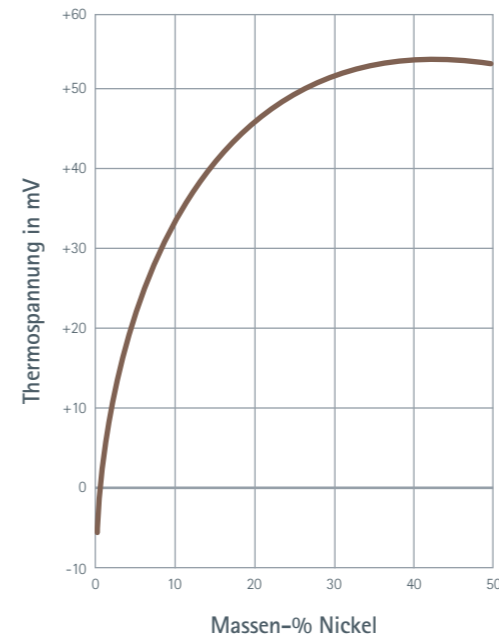


Abbildung 10: Thermospannung der Kupfer-Nickel-Legierungen gegen Eisen bei 816 °C in Abhängigkeit vom Nickelgehalt [2] (DKI A 4058)

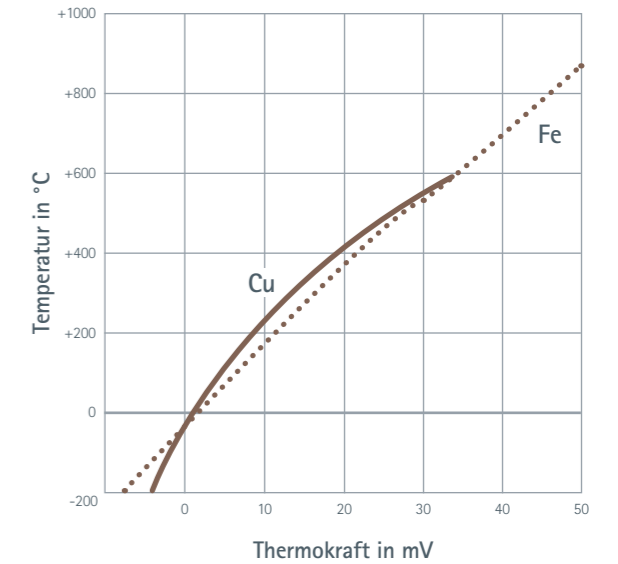


Abbildung 11: Thermospannung von CuNi44 gegen Kupfer und Eisen nach DIN 43710 [8] (DKI A 4059)

Bezeichnung	Schmelzbereich °C	Elektrische Leitfähigkeit bei 20 °C MS/m oder m/(Ω · mm²)	Thermische Leitfähigkeit bei 20 °C W/(m · K)	Längenausdehnungskoeffizient (25 bis 300 °C) 10 ⁻⁶ /K	Elastizitätsmodul (E) GPa bzw. kN/mm²
CuNi10Fe1Mn1-C	1105-1140	5,5	59	17	123
CuNi30Fe1Mn1NbSi-C	1170-1240	2,5	29	16	145

¹ Die Dichte beträgt für beide Werkstoffe 8,9 kg/dm³

Tabelle 9: Physikalische Eigenschaften von Kupfer-Nickel-Gusslegierungen

Bezeichnung	Nummer	Dicke mm	Zugfestigkeit (Rm) N/mm ²	0,2-%-Dehngrenze (R _{p0,2}) N/mm ²	Elongation		Vickers Härte HV	
					A 50 mm für Dicken bis zu 2,5 mm % min.	A für Dicken über 2,5 mm % min.		
DIN EN 1652: Bänder und Bleche								
CuNi9Sn2	R340	CW351H	0,2 bis 5	340 bis 410	(max. 250)	30	40	-
	H075		-	-	-	-	-	75 bis 110
	R380		0,2 bis 5	380 bis 470	(min. 200)	8	10	-
	H110		-	-	-	-	-	110 bis 150
	R450		0,2 bis 2	450 bis 530	(min. 370)	4	-	-
	H140		-	-	-	-	-	140 bis 170
	R500		0,2 bis 2	500 bis 580	(min. 450)	2	-	-
	H160		-	-	-	-	-	160 bis 190
	R560		0,2 bis 2	560 bis 650	(min. 520)	-	-	-
H180	-	-	-	-	-	180 bis 210		
CuNi10-Fe1Mn	R300	CW352H	0,3 bis 15	min. 300	(min. 100)	20	30	-
	H070		-	-	-	-	-	70 bis 120
	R320		0,3 bis 15	min. 320	(min. 200)	-	15	-
	H100		-	-	-	-	-	min. 100
CuNi25	R290	CW350H	0,3 bis 15	min. 290	(min. 100)	-	-	-
	H070		-	-	-	-	-	70 bis 100
CuNi30-Mn1Fe	R350	CW354H	0,3 bis 15	350 bis 420	(min. 120)	-	35	-
	H080		-	-	-	-	-	80 bis 120
	R410		0,3 bis 15	min. 410	(min. 300)	-	14	-
	H110		-	-	-	-	-	min. 110
DIN EN 12163: Stangen gepresst / gezogen								
CuNi10Fe1Mn	R280	CW352H	- 80	min. 280	90	-	30	70 bis 100
CuNi30Mn1Fe	R280	CW354H	- 80	min. 340	120	-	30	80 bis 110
DIN EN 12420: Schmiedestücke								
CuNi10Fe1Mn	R280	CW352H	80	min. 280	100	-	25	70
CuNi30Mn1Fe	R280	CW354H	80	min. 340	120	-	25	90

Tabelle 10: Mechanische Eigenschaften (Auszug) von Kupfer-Nickel-Legierungen nach DIN EN 1652, 12163 und 12420

2.2 Mechanische Eigenschaften

2.2.1 Festigkeitswerte bei Raumtemperatur

2.2.1.1 Kupfer-Nickel-Knetlegierungen
Tabelle 10 enthält Festigkeitskennwerte für Bleche und Bänder nach DIN EN 1652 sowie für Rohre nach DIN 86019, DIN 86018 und DIN EN 12451 aus Kupfer-Nickel-Knetlegierungen. Weitere Festigkeitsdaten sind in den jeweiligen Halbzeugnormen enthalten. Der Werkstoffzustand wie z. B. die Festigkeit wird in den Normen durch ein Anhängen des Buchstaben **R** an das Legierungskurzzeichen

mit einer nachfolgenden Zahl gekennzeichnet, z. B. CuNi10Fe1Mn R420. Für den Festigkeitszustand R420 wird eine Zugfestigkeit von mindestens 420 N/mm² gewährleistet. Durch den Festigkeitszustand werden auch 0,2-%-Dehngrenze und Bruchdehnung mit festgelegt. Durch Anhängen des Buchstaben **H** mit einer nachfolgenden Zahl wird nur eine Mindesthärte (Vickershärte) garantiert, so z. B. CuNi10Fe1Mn H85.

In Tabelle 11 sind die Werte der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung für **Widerstandslegierungen** aus Kupfer-Nickel-Legierungen wiedergegeben.

Bezeichnung	Zugfestigkeit ¹ (Rm) N/mm ² min.	Bruchdehnung (L ₀ = 100 mm) A % bei Nenndurchmesser in mm				
		0,02 bis 0,063 ²	≥ 0,063 bis 0,125 ²	≥ 0,125 bis 0,5 ²	≥ 0,5 bis 1	≥ 1 ³
CuNi2	220	-	ca. 15	ca. 18	≥18	≥25
CuNi6	250	-	ca. 15	ca. 18	≥18	≥25
CuNi10	290	-	ca. 15	ca. 20	≥20	≥25
CuNi23Mn	350	ca. 12	ca. 18	ca. 20	≥20	≥25
CuNi30Mn	400	ca. 12	ca. 18	ca. 20	≥20	≥25
CuNi44	420	ca. 12	ca. 18	ca. 20	≥20	≥25

¹ Werte gelten für Drähte mit Durchmessern 2 mm, bei kleineren Durchmessern sind diese Werte erheblich höher.
² Werte gelten für Flachdrähte und Bänder, deren Dicke gleich dem Durchmesser sind.
³ Nur Anhaltswerte.
³ Bei Drahtdurchmessern über 3 mm kann als Messlänge L₀ = 10·d₀ vereinbart werden.

Tabelle 11: Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Nickel-Widerstandslegierungen nach DIN 17471 bei 20 °C im weichen Zustand

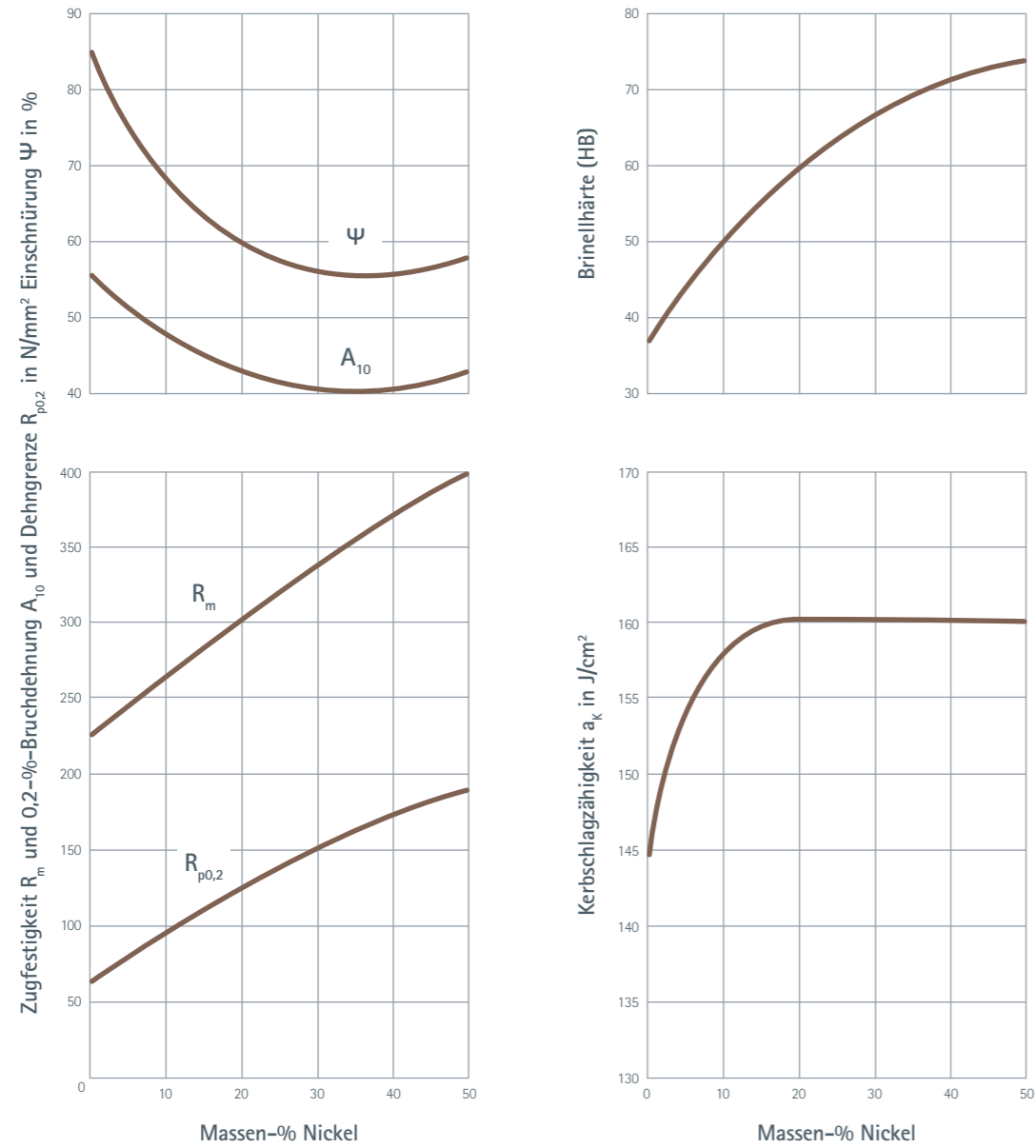


Abbildung 12: Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Nickel-Legierungen (Laborprobe) in Abhängigkeit vom Nickelgehalt; 15 min bei 600 °C gegläht; Kerbschlagproben bei 800 bis 1100 °C geschmiedet [2] (DKI A 4060)

Abbildung 12 zeigt die Zunahme der Zugfestigkeit, der 0,2-%-Dehngrenze und der Härte mit steigendem Nickelgehalt. Mit wachsender Zugfestigkeit ist ein nur verhältnismäßig geringer Abfall von Bruchdehnung und Einschnürung verbunden. Dagegen weist die Härte eine starke Zunahme mit steigendem Nickelgehalt auf. Die Kerbschlagzähigkeit wird durch den Nickelgehalt nur geringfügig beeinflusst.

Eisen hat einen günstigen Einfluss auf die Festigkeitskennwerte der Kupfer-Nickel-Legierungen. Abbildung 13 zeigt dies am Beispiel einer Legierung mit 10 % Ni. Zusätzliche Verbesserungen der Festigkeitseigenschaften von CuNi30Mn1Fe werden durch Erhöhung der Eisen- und Mangengehalte auf jeweils 2 % erreicht, so haben z. B. Bänder und Bleche aus der Legierung CuNi30Fe2Mn2 eine Zugfestigkeit von 440 N/mm^2 und eine 0,2-%-Dehngrenze von 145 N/mm^2 .

Eine weitere Steigerung der Festigkeitswerte bewirken z. B. Zusätze von Aluminium oder Chrom. So sind in Tabelle 12 drei Werkstoffe mit verbesserten Festigkeitseigenschaften aufgeführt.

Außerdem steigen, wie bei allen metallischen Werkstoffen, bei Kupfer-Nickel-Knetlegierungen mit zunehmender Kaltumformung die Zugfestigkeit, die 0,2-%-Dehngrenze und die Härte an, wobei die Bruchdehnung dagegen abnimmt (Abb. 14).

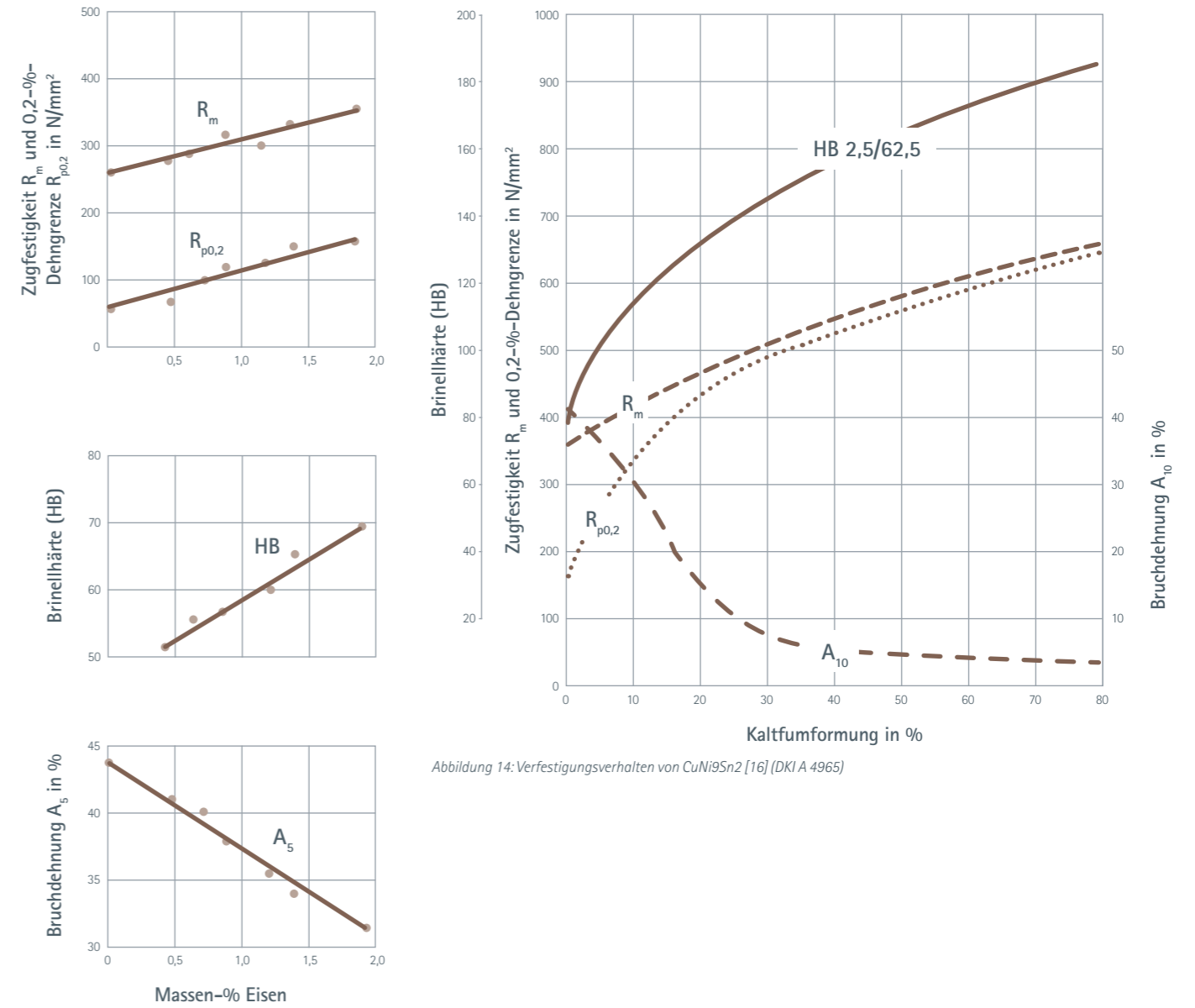


Abbildung 14: Verfestigungsverhalten von CuNi9Sn2 [16] (DKI A 4965)

Abbildung 13: Einfluss des Eisengehaltes auf die mechanischen Eigenschaften einer CuNi10-Legierung (von 900 °C abgeschreckt und 2 h ausgelagert) [13] (DKI A 4065)

Bezeichnung	Mittlere Zusammensetzung (Masse %)	Werkstoffzustand	Zugfestigkeit (Rm) N/mm^2	0,2-%-Dehngrenze ($R_{p0,2}$) N/mm^2	Bruchdehnung A_5 %	Härte HB
CuNi5Al4Mn2Cr	5 Ni; 4 Al; 0,8 Cr; 2,5 Mn; Rest. Cu	weich	450 bis 550	170 bis 230	35 bis 50	110 bis 130
		ausgehärtet	1000 bis 1090	940 bis 1040	1 bis 3	320 bis 340
CuNi30Cr3FeMn	30 Ni; 3 Cr; 0,5 Fe; 0,5 Mn; Rest. Cu	ausgehärtet	590	≥ 360	27	110
CuNi14Al3	14 Ni, 3 Al	geschmiedet	780	590	10	225

Tabelle 12: Mittlere Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften von weiter nicht in DIN EN genormten Kupfer-Nickel-Legierungen

2.2.1.2 Kupfer-Nickel-Gusslegierungen

Tabelle 13 enthält Festigkeitskennwerte von Kupfer-Nickel-Gusslegierungen nach DIN EN 1982.

Zu erwähnen sind noch drei aushärtbare Kupfer-Nickel-Gusslegierungen mit Zusätzen von Aluminium, Chrom oder Beryllium

(Tab. 14). Die Legierung mit etwa 2 % Al kann im Gusszustand oder in einem ausgehärteten Zustand Anwendung finden. Die größte Festigkeitssteigerung wird durch Zusatz von Beryllium – nach Aushärtung – erreicht. Eine solche Legierung wird in den USA in der Meerestechnik bereits eingesetzt [13]. Aushärtbare Kupfer-Nickel-Gusslegierungen

hoher Festigkeit mit Zinngehalten bis 6 %, die meist noch weitere Zusätze wie Blei und Zink enthalten, sind in ASTM B 584 genormt.

Bezeichnung	Lieferform	Kurzzeichen	Zugfestigkeit (R _m) N/mm ²	0,2-%-Dehngrenze (R _{p0,2}) N/mm ²	Bruchdehnung A % min.	Härte HB min.	Elastizitätsmodul (E) GPa bzw. KN/mm ² Ungef. Werte ¹
CuNi10-Fe1Mn1-C	Sandguss	-GS	280	120	20	70	123 ¹
	Schleuderguss	-GZ	280	100	25	70	-
	Strangguss	-GC	280	100	25	70	-
CuNi30-Fe1Mn1-C	Sandguss	-GS	340	120	18	80	-
	Schleuderguss	-GC	340	120	18	80	-
CuNi30Cr2-FeMnSi-C	Sandguss	-GS	440	250	18	115	-
CuNi30Fe1-Mn1NbSi-C	Sandguss	-GS	440	230	18	115	145 ¹

¹ Werte aus alter Norm DIN 17658

Tabelle 13: Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Nickel-Gusslegierungen nach DIN EN 1982

Bezeichnung	Mittlere Zusammensetzung (Masse %)	Werkstoffzustand	Zugfestigkeit (R _m) N/mm ²	0,2-%-Dehngrenze (R _{p0,2}) N/m	Bruchdehnung A5 % min.
CuNi14Mn10Fe5Al2-C	14 Ni; 10 Mn; 5 Fe; 2 Al; Rem. Cu	gegossen	460	260	35
		wärmebehandelt	460 bis 620	310 bis 420	20 bis 40
CuNi30Cr2Mn1FeSi-C	30 Ni; 2 Cr; 1 Mn; 1 Fe; 0,5 Si; Rem. Cu	gegossen	520 bis 580	330 bis 380	22
CuNi20Fe1Mn1Be-C	30 Ni; 1 Fe; 1 Mn; 0,5 Be; Rem. Cu	wärmebehandelt	750 bis 850	520 bis 620	7 bis 24

Tabelle 14: Mittlere Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften von weiter nicht genormten Kupfer-Nickel-Gusslegierungen [13]

2.2.2 Festigkeitskennwerte bei tiefen Temperaturen

Bei tiefen Temperaturen besitzen die Kupfer-Nickel-Legierungen wie auch andere Kupferwerkstoffe ausgezeichnete Festigkeitseigenschaften, die für eine Legierung mit 20 % Ni in Abbildung 15 dargestellt sind. Die Zugfestigkeit steigt dort mit fallender Temperatur an, ohne dass Bruchdehnung und Einschnürung merklich abnehmen.

Diese Legierungen zeigen bei tiefen Temperaturen keinerlei Versprödung. Deshalb sind sie für Anwendungen in der Kryotechnik sowie für weitere Tieftemperaturanwendungen wie z. B. in der Marine- und Offshoretechnik oder Flüssiggastechnik und -anlagen sehr gut geeignet.

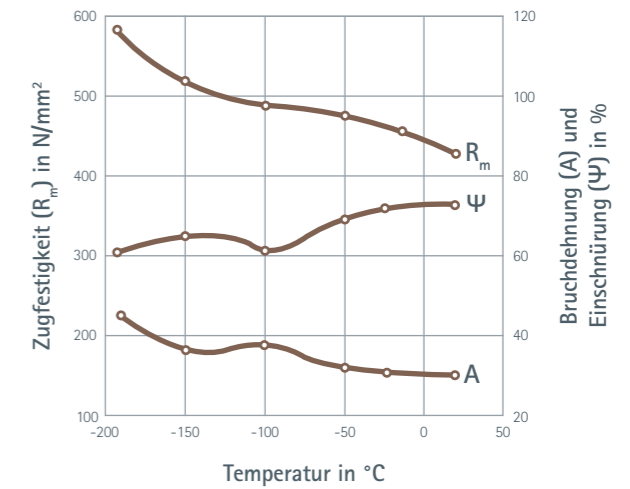


Abbildung 15: Mechanische Eigenschaften von einer CuNi20-Legierung (Querschnitt 16 x 14,8 mm) bei tiefen Temperaturen [10] (DKI A 1219)



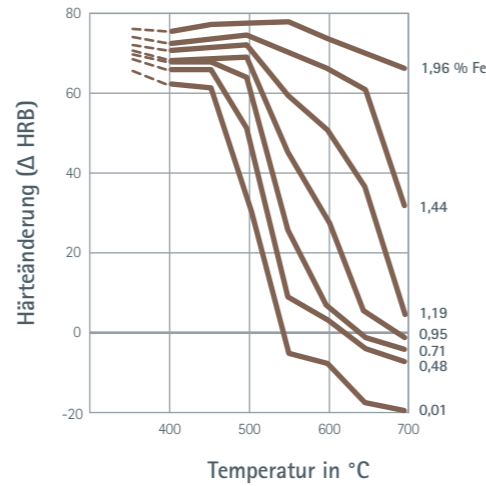
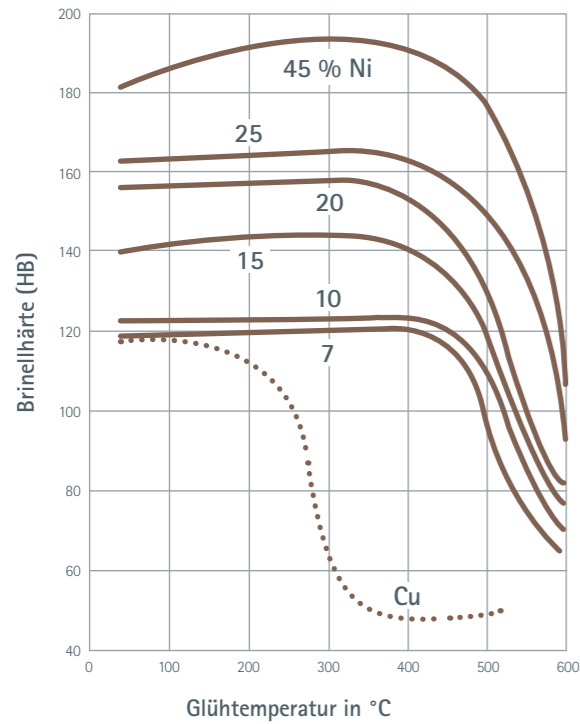


Abbildung 16: Entfestigung von Kupfer-Nickel-Legierungen in Abhängigkeit von der Glühtemperatur und vom Nickelgehalt (von der Glühung 50 % kaltgewalzt [2] (DKI A 4063))

Abbildung 17: Entfestigung einer kaltgewalzten CuNi10-Legierung in Abhängigkeit vom Eisengehalt und von der Temperatur (von 900 °C abgeschreckt und 50 % kaltgewalzt und jeweilige Glühdauer 2 h) [13] (DKI A 4066)

2.2.3 Festigkeitskennwerte bei erhöhten Temperaturen (Warmfestigkeit)

Kupfer-Nickel-Legierungen haben bei höheren Temperaturen noch gute Festigkeitseigenschaften. Bereits durch geringe Nickelzusätze wird die Warmfestigkeit gesteigert. Den Einfluss des Nickelgehaltes auf die Entfestigung von kaltgewalzten Kupfer-Nickel-Legierungen bei höheren Temperaturen zeigt Abbildung 16. Durch Zusatz von Eisen werden die Festigkeitskennwerte nicht nur bei Raumtemperatur, sondern auch bei erhöhten Temperaturen verbessert. Abbildung 17 stellt dies am Beispiel der Legierung mit 10 % Ni dar. Im Druckbehälterbau z. B. kann CuNi-10Fe1Mn bis 300 °C, CuNi30Mn1Fe bis 350 °C eingesetzt werden. Oberhalb dieser Grenztemperaturen fallen die Festigkeitswerte (Abb. 18), insbesondere die Zeitstandfestigkeitswerte bzw. Zeitdehngrenzen, stark ab.

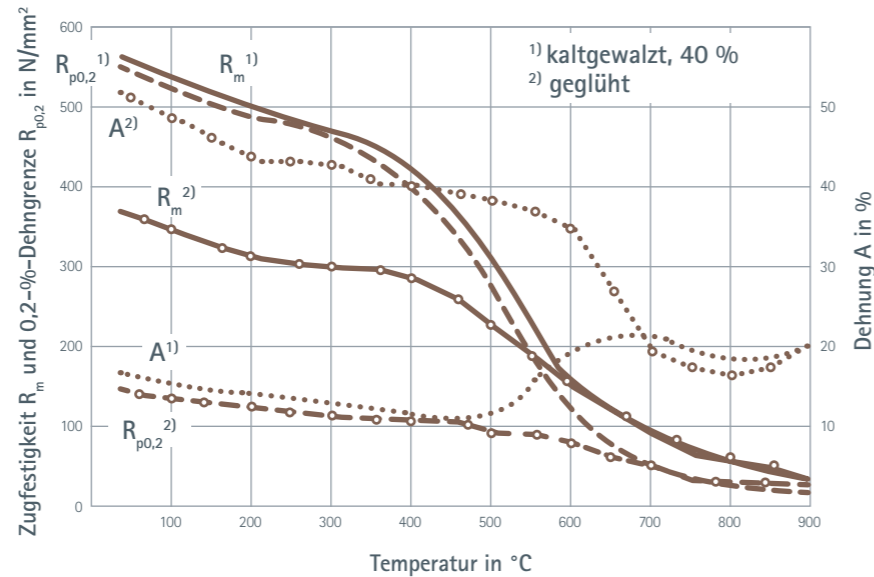


Abbildung 18: Entfestigung von CuNi30Mn1Fe [16] (DKI A 4966)

Die Werte für den Elastizitätsmodul nehmen mit steigender Temperatur um etwa 50–100 N/mm² je °C ab.

Temperatur °C	Legierung CuNi10Fe1Mn ²							
	Zeitstandfestigkeit in N/mm ² für die Zeit [h]				1-%-Zeitdehngrenze in N/mm ² für die Zeit [h]			
	100	1000	10000	100000	100	1000	10000	100000
20	-	-	-	-	-	123	116	-
300	239	212	172	(121)	-	105	(93)	-
350	194	143	91	(55)	-	108	65	-
400	121	73	41	-	-	76	45	-
450	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-
550	-	-	-	-	-	-	-	-
600	-	-	-	-	-	-	-	-

Temperatur °C	Legierung CuNi30Mn1Fe ³							
	Zeitstandfestigkeit in N/mm ² für die Zeit [h]				1-%-Zeitdehngrenze in N/mm ² für die Zeit [h]			
	100	1000	10 000	100 000	100	1000	10 000	100 000
20	-	-	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-	-
350	(391)	(363)	(326)	-	361	317	(258)	-
400	351	305	244	-	299	232	(166)	-
450	292	221	153	-	211	145	(97)	-
500	208	139	92	-	138	87	(50)	-
550	133	85	50	-	83	44	(14)	-
600	84	46	18	-	44	12	-	-

¹ Werte in Klammern wurden extrapoliert
² Werkstoffzustand: geglüht
³ Werkstoffzustand: kaltgewalzt, 40 %

Tabelle 15: Zeitstandfestigkeit¹ und 1-%-Zeitgrenze¹ für die Werkstoffe CuNi10Fe1Mn

2.2.3.1 Zeitstandverhalten, Kriechen

Nicht selten werden metallische Werkstoffe bei erhöhten Temperaturen einer dauerhaften, statischen Beanspruchung ausgesetzt. Dabei verformt sich der Werkstoff. Dieser Vorgang wird als Kriechen bezeichnet.

Kriechen ist eine zeitabhängige, plastische Formänderung bei konstanter Temperatur. Im Zeitstandversuch nach DIN EN 10291 werden Kriechkurven unter konstanter Spannung bzw.

unter konstanter Kraft bei konstanter Temperatur aufgenommen und im Zeitstand-schaubild dargestellt.

Die **Zeitdehngrenze** ist diejenige Spannung bei konstanter Temperatur, die nach einer bestimmten Zeit eine bestimmte bleibende Dehnung hervorruft. Die Zeitstandfestigkeit zeigt anlog die Spannung, die nach einer bestimmten Zeit zum Bruch führt.

In Tabelle 15 sind Werte für die 1-%-Zeitdehngrenze und die Zeitstandfestigkeit der Legierungen CuNi10Fe1Mn sowie CuNi30Mn1Fe angegeben, welche die Grenztemperaturen für den Einsatz dieser Legierungen bei Langzeitbelastung bestimmen.

2.2.4 Schwingfestigkeit

Da viele Bauteile einer schwingenden Beanspruchung unterliegen, ist auch die Schwingfestigkeit eine wichtige Kenngröße. Die Schwingfestigkeit wird im Ermüdungsversuch, dem sogenannten Wöhlerversuch (vgl. DIN 50100) ermittelt. Sie bezeichnet das Verformungs- und Versagensverhalten von Werkstoffen bei zyklischer Belastung. Dabei wird die ertragbare Spannungsamplitude über der dazugehörigen Schwingzahl ermittelt und als Zeitschwingfestigkeit angegeben. Bei sehr kleiner Spannungsamplitude werden unendliche Schwingspiele erreicht und man spricht von einer Dauerschwingfestigkeit. Aufgrund des kubisch-flächenzentrierten Gitters existiert keine klare Abgrenzung zwischen dem Zeit- und dem Dauerschwingfestigkeitsbereich. Bei den Kupfer-Nickel-Werkstoffen wird vereinbarungsgemäß eine Dauerschwingfestigkeit ab ca. $2 \cdot 10^7$ Zyklen festgelegt, da hier nur noch ein verschwindend geringer Abfall der Festigkeit beobachtet wird.

Tabelle 16 gibt die Dauerschwingfestigkeiten für eine Lastspielzahl von 10^8 für die Kupfer-Nickel-Werkstoffe CuNi10Fe1Mn, CuNi25, CuNi30Mn1Fe und CuNi44Mn1 an [17].

Legierung	Dauerschwingfestigkeit in N/mm ² für 10 ⁸ Lastspiele
CuNi10Fe1Mn ¹	150
CuNi25 ²	275
CuNi30Mn1Fe ³	245
CuNi44Mn1 ⁴	290

¹ keine Angaben zu Materialform, kaltgewalzt.
² Draht (2 mm Durchm.), kaltgewalzt: 88 %.
³ Stange (14 mm Durchm.), kaltgewalzt (33 %).
⁴ Stange, kaltgewalzt und spannungsfreigelegt.

Tabelle 16: Dauerschwingfestigkeit verschiedener Kupfer-Nickel-Werkstoffe bei 10⁸ Lastspielen [17]

2.3 Korrosionsbeständigkeit

Die Kupfer-Nickel-Legierungen gehören zu den korrosionsbeständigsten Kupferwerkstoffen. Sie sind beständig gegen Feuchtigkeit, nicht oxidierende Säuren, Laugen und Salzlösungen, organische Säuren und gegen trockene Gase wie Sauerstoff, Chlor, Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Schwefeldioxid und Kohlendioxid. Die Gefahr einer Spannungsrissskorrosion besteht bei ihnen nicht, die Neigung zu selektiver Korrosion ist äußerst gering und auch Lochfraß wird selten beobachtet. Die Beständigkeit dieser Legierungen beruht – ähnlich wie auch bei den Cu-Al-Legierungen – auf einer stabilen Deckschicht der Oberfläche durch zulegierte Metalle [18]. Der Korrosionswiderstand von CuNi-Rohren in Wärmeaustauschern hängt auch von deren Oberflächenstruktur ab und kann über diese günstig beeinflusst werden [19].

Da Kupfer und Nickel eine lückenlose Mischkristallreihe bilden, kann bei diesen Legierungen kein heterogenes Gefüge auftreten. Legierungen mit 10 % und mit 30 % Ni haben gute Beständigkeit, auch gegen heißes Meerwasser und bei hoher Strömungsgeschwindigkeit. So sind diese Legierungen bis zu mittleren Strömungsgeschwindigkeiten von 6 m/s beständig. Zur Vermeidung von Korrosionsproblemen ist auch die Aufrechterhaltung einer Mindestströmungsgeschwindigkeit von 0,6 m/s erforderlich. Es handelt sich bei den Geschwindigkeiten um Richtwerte [18].

Die manganhaltigen Legierungen **CuNi44Mn1** und **CuNi30Mn1Fe** werden als Werkstoffe für elektrische Widerstände von verdünnten Säuren kaum, von Säuredämpfen – insbesondere Salzsäuredämpfen – stärker angegriffen. Gegen ammoniakhaltige Luft sind sie gut

beständig. In der Norm DIN 17 471 ist die Beständigkeit dieser Widerstandslegierungen gegenüber verschiedenen Atmosphären angegeben. Außerdem ist CuNi44Mn1 auch gegenüber Alkalimetallen bis etwa 600 °C beständig. Von den **eisenhaltigen** Knetlegierungen enthält CuNi10Fe1Mn außer 0,5 bis 1,0 % Mn noch 1,0 bis 2,0 % Fe und CuNi30Mn1Fe außer 0,5 bis 1,5 % Mn noch 0,4 bis 1,0 % Fe (s. Tab. 1). Eisengehalte in dieser Höhe verbessern die Haftfestigkeit der Korrosionsschutzschichten erheblich und damit die Beständigkeit gegen Erosionskorrosion, insbesondere im Meerwasser und in sonstigen aggressiven Wassern wie z.B. Brack- und Grubenwasser entscheidend. Wenn die Eisengehalte in diesem optimalen

Bereich liegen, zeigen die Kupfer-Nickel-Legierungen auch keinerlei selektive Korrosion. Zu niedrige Eisengehalte beeinträchtigen die Beständigkeit gegen Kavitation im strömenden Meerwasser, zu hohe Eisengehalte vermindern die Beständigkeit gegen Belagkorrosion im stehenden Meerwasser. Die Bedeutung des Eisengehalts für die Meerwasserbeständigkeit von CuNi30Mn1Fe ist aus Abbildung 19 und Tabelle 17 ersichtlich. CuNi30Mn1Fe ist auch beständig gegen ammoniakalische Kondensate. Durch die Erhöhung der Eisen- und Mangangehalte in der Legierung mit 30 % Ni auf je 2 % (s. CuNi30Fe2Mn2 in Tab. 1) wird der mechanische Abrieb durch im Kühlwasser enthaltene Feststoffe (z. B. Sand) weiter vermindert.

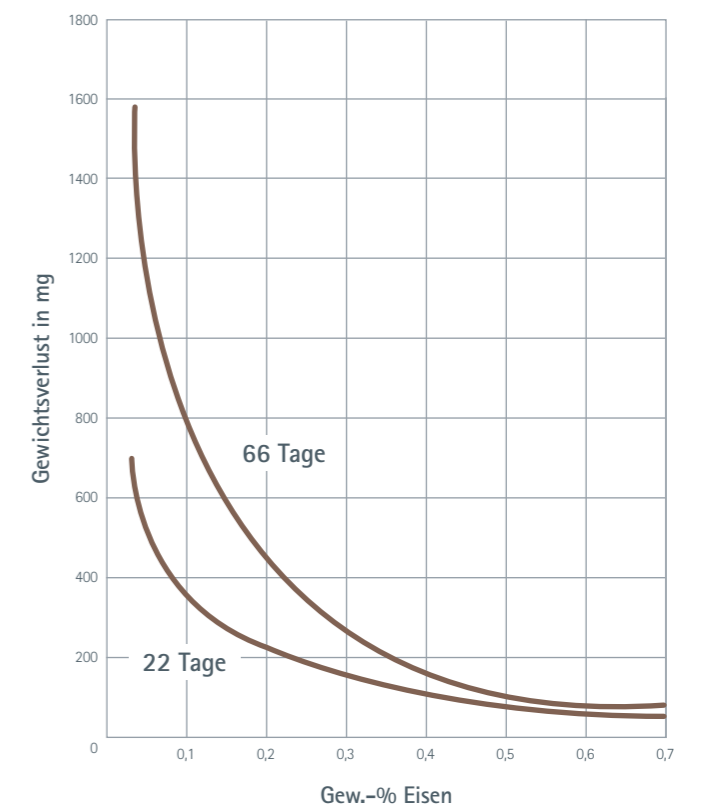


Abbildung 19: Einfluss von Eisen auf die Beständigkeit von Kondensatoren aus CuNi30Mn1Fe im Meerwasser. Strömungsgeschwindigkeit 6 m/s; Wassertemperatur 32 °C [2] (DKI A 4051)

Eisengehalt %	Halbzeugform	Korrosionsabtrag in g/m ² · d bei einer Strömungsgeschwindigkeit in m/s von:			
		3	4,12	6,1	8,23
0,04	Rohre	27,5	-	35,5	-
0,49		2,2	-	2,7	-
0,03	Stangen	-	24,7	-	22,9
0,48		-	2,5	-	3,2

Tabelle 17: Korrosionsabtrag einer CuNi30 mit unterschiedlichen Eisengehalten im Meerwasser bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten (30 °C, 60 Tage) [8]

Die Anlaufbeständigkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen wird durch **Zinn** zusätzlich gesteigert. Die Beständigkeit insbesondere gegenüber schnell strömendem Meerwasser kann durch Zusatz von **Chrom** noch weiter erhöht werden. Auf die Korrosions- und Zunderbeständigkeit der Kupfer-Nickel-Knetlegierungen und -Gusslegierungen haben **Aluminium**gehalte einen günstigen Einfluss.

Tabelle 18 enthält einige vergleichende Angaben über das Verhalten von Kupfer-Nickel-Legierungen gegenüber verschiedenen Agenzien.

Aceton	1	Eisen(III)-sulfat	4	Magnesiumchlorid	2	Salpetersäure	4
Alkohol ¹⁾	1	Eisen(II)-chlorid	2	Magnesiumhydroxid	1	Salzsäure, trocken	2
Aluminiumchlorid	2	Eisen(II)-sulfat	2	Magnesiumsulfat	1	Schwefel, fest	1
Aluminiumsulfat	1	Erdgas	1	Melasse ¹⁾	1	Schwefelchlorid, trocken	1
Ameisensäure	2	Essig ¹⁾	1	Milch ¹⁾	1	Schwefeldioxid, trocken	1
Ammoniak, trocken	1	Essigsäure (20–50 %) ¹⁾	1	Milchsäure	1	Schwefeldioxid, feucht	3
Ammoniak, feucht	3	Essigsäureester	1			Schwefeltrioxid, trocken	1
Ammoniumchlorid	3			Natriumbikarbonat	1	Schwefelsäure (unter 78 %)	2
Ammoniumhydroxid	3	Firnis	1	Natriumbisulfat	1	Schwefelsäure (über 78 %)	3
Ammoniumnitrat	3	Fluorkieselsäure	2	Natriumchlorid	1	Seewasser	1
Ammoniumsulfat	2	Flusssäure	2	Natriumcyanid	4	Seifenlösung	1
Anilin und Anilinfarben	1	Formaldehyd	1	Natriumhydroxid	1	Stearinsäure	1
Asphalt	1	Freon	1	Natriumhypochlorid	2		
Äther	1	Furfurol	1	Natriumkarbonat	1	Terpetin	1
Äthylenglykol	1			Natriumnitrat	1	Tetrachlorkohlenstoff, trocken	1
Azetylen ²⁾	4	Gelatine ¹⁾	1	Natriumperoxid	2	Tetrachlorkohlenstoff, feucht	1
		Gerbsäure	1	Natriumphosphat	1	Toluol	1
Bariumchlorid	2	Getränke mit Kohlensäure ¹⁾	1	Natriumsilikat	1	Trichloräthylen, trocken	1
Bariumsulfat	1	Glukose ¹⁾	1	Natriumsulfat	1	Trichloräthylen, feucht	1
Baumwollsamöl ¹⁾	1	Glycerin	1	Natriumsulfid	1		
Benzin	1			Natriumthiosulfat	1	Wasser, saures Grubenwasser	3
Benzol	1	Heizöl	1	Nickelchlorid	3	Wasser, Kondenswasser	1
Bier ¹⁾	1			Nickelsulfat	3	Wasser, Trinkwasser	1
Borsäure	1	Kaliumchlorid	1			Wasserstoff	1
Butan	1	Kaliumcyanid	4	Ölsäure	2	Wasserstoffperoxid	2
		Kaliumhydroxid	1	Oxalsäure	1	Weinsäure	1
Calciumbisulfat	2	Kaliumsulfat	1			Whisky	1
Calciumchlorid (sauer)	2	Kohlendioxid, trocken	1	Phosphorsäure	2		
Calciumchlorid (basisch)	2	Kohlendioxid, feucht ¹⁾	1	Pikrinsäure	4	Zinkchlorid	2
Calciumhydroxid	1	Kreosit	1	Propan	1	Zinksulfat	1
Calciumhypochlorid	2	Kupfersulfat	1			Zitronensäure ¹⁾	1
Chlor, trocken	1			Quecksilber	4	Zuckerrübensirup ¹⁾	1
Chlor, feucht	2	Lack	1	Quecksilbersalze	4		
Chromsäure	4	Lackverdünnung	1				
		Leim	1	Rohrzuckersirup ¹⁾	1		
Eisen(III)-chlorid	4	Leinöl	2				

¹⁾ In der Getränke- und Lebensmittelindustrie ist eine Verzinnung erforderlich.
²⁾ Wegen der Bildung von Kupferazetylid besteht Explosionsgefahr.
³⁾ 1 = sehr gut beständig; 2 = beständig; 3 = annehmbar; 4 = nicht empfohlen.

Tabelle 18: Korrosionsverhalten³⁾ der Kupfer-Nickel-Legierungen gegenüber verschiedenen Agenzien [16]

2.3.1 Deckschichtbildung und Korrosionsverhalten von Rohren aus CuNi-Werkstoffen für den Einsatz im Meerwasser

Die hervorragende Beständigkeit der CuNi-Legierungen im Meerwasser ist auf die Bildung einer dünnen, kompakten und gut haftenden, elektrisch schlecht leitenden Deckschicht zurückzuführen, die hauptsächlich aus ein- und zweiwertigen Cu-Oxiden besteht (Abb. 20). Allerdings ist zu beachten, dass in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und von den Umgebungsbedingungen deutliche Abweichungen von diesem Aufbau möglich sind. Für den Aufbau einer gut ausgebildeten Schutzschicht ist es zwingend notwendig, dass das Rohrleitungssystem bei der ersten Inbetriebnahme mit frischem, sauerstoffreichem Meerwasser beaufschlagt wird. Hohe pH-Werte und hohe Bi-Karbonat-Alkalität begünstigen den Vorgang. Werden die Schutzschichten allerdings im verunreinigten Meerwasser (z. B. Sulfide, O₂-Mangel) im Bereich von Werft- und Hafenanlagen gebildet, sind diese meist weniger resistent. Bei einer alternierenden Betriebsweise (z. B. Wechsel im O₂-Angebot) werden die Schutzschichten unwirksam, auf der anderen Seite ist bei geeigneten Bedingungen mit reichlich hohem O₂-Angebot die Möglichkeit einer Selbstheilung der Deckschichten gegeben, auch wenn die Korrosionsraten zu Anfang hoch sind. Stillstandszeiten bei abgelassenem Wasser sind zu vermeiden, da die Deckschichten spröde werden und abplatzen können.

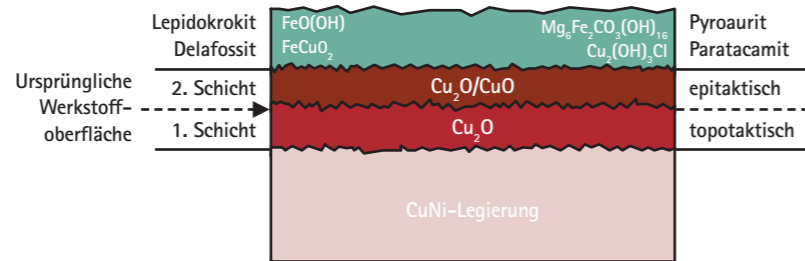
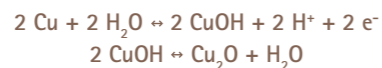


Abbildung 20: Entstehung und Aufbau der Schutzschicht im Meerwasser auf CuNi-Werkstoffen [20, 29]

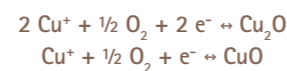
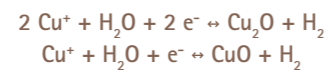
Zu den wichtigsten Variablen, welche die Zusammensetzung und Morphologie bzw. Struktur der Deckschichten im Meerwasser beeinflussen, gehören [20]:

- Gasgehalt des Meerwassers: O₂, CO₂
- Gehalt an Verunreinigungen: Sulfide, Ammoniak, org. Bestandteile, Sand usw.
- Temperatur, pH-Wert, Strömungsgeschwindigkeit, Dauer der Auslagerung
- Bewuchs durch Meeresorganismen

Die Entstehung ebenmäßiger Deckschichten erfolgt in mehreren Schritten. Durch anodische Auflösung von Cu entsteht zunächst über Hydrolyse an der Phasengrenze Cu₂O/Cu-Legierung eine topotaktisch aufgebaute Schicht aus Cu₂O:



Eine anschließende kathodische Abscheidung von Cu⁺-Ionen lässt eine zweite Schicht aus Cu₂O/CuO epitaktisch entstehen:



Die eigentliche Kathodenreaktion ist die Reduktion des im Wasser gelösten O₂ an der Phasengrenze epitaktisches Cu₂O/Wasser:



Zuletzt kommt es mit den Meerwasserbestandteilen und unter CO₂-Einwirkung zur Ausbildung einer weiteren Schicht aus komplexen Cu-Verbindungen, die bei Einwirkung von Eisensulfat (FeSO₄) auch nennenswerte Mengen an Fe (z. B. FeCuO₂ Delafossit) enthalten kann. Es bilden sich dabei auch Fe-Verbindungen, in die kein Cu eingebunden ist [z. B. FeO(OH) Lepidokrokit] [20].

2.3.2 Einflussparameter auf die Deckschichtbildung und Korrosion

2.3.2.1 Legierungselementeinfluss

Mit steigendem Ni-Gehalt nimmt die Beständigkeit von CuNi-Legierungen im Meerwasser und in verdünnten oder konzentrierten Chloridlösungen zu (Abb. 21). Fe-Gehalte verbessern die Haftfestigkeit der Deckschichten erheblich und damit die Beständigkeit gegen Erosionskorrosion, insbesondere im strömenden Meerwasser und sonstigen aggressiven Wassern, z. B. Brack- und Grubenwassern, entscheidend (Abb. 22). Es wird vermutet, dass Fe unter turbulenten Strömungsbedingungen eine äußere Schutzschicht aus hydratisierten Fe-Oxiden (FeO(OH)) bildet, die als mechanische Barriere dient. Mn besitzt nur 1/5 der Effektivität von Fe. Voraussetzung für eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit ist, dass Fe ebenso wie Mn im Mischkristall in Lösung gehalten werden [20].

2.3.2.2 Temperatureinfluss

Die Anreicherung der Oxidschicht mit Ni und Fe hängt von der Temperatur ab. Bei Umgebungstemperaturen (10–30 °C) wird die Oxidschicht verstärkt mit Ni angereichert, während bei erhöhten Temperaturen (40–50°C) eine mit Fe angereicherte Schicht entsteht. Zudem wird bei 40 °C kein auffälliger Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 0–1 m/s auf die gleichmäßige Flächenkorrosion beobachtet. Dies ist auf eine beschleunigte Deckschichtbildung zurückzuführen bzw. es entstehen dünnere und besser haftende Deckschichten mit zunehmender Schutzwirkung.

Allgemein steigt die Korrosionsintensität in Meerwasser mit zunehmendem Sauerstoffgehalt und mit zunehmender Temperatur.

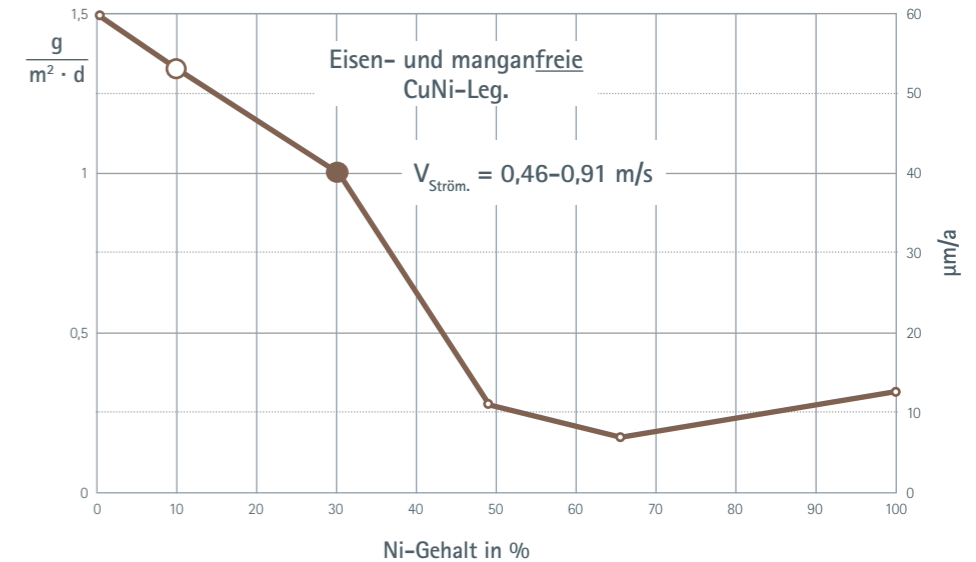


Abbildung 21: Einfluss von Ni auf die gleichmäßige Flächenkorrosion von CuNi-Legierungen [20, 11]

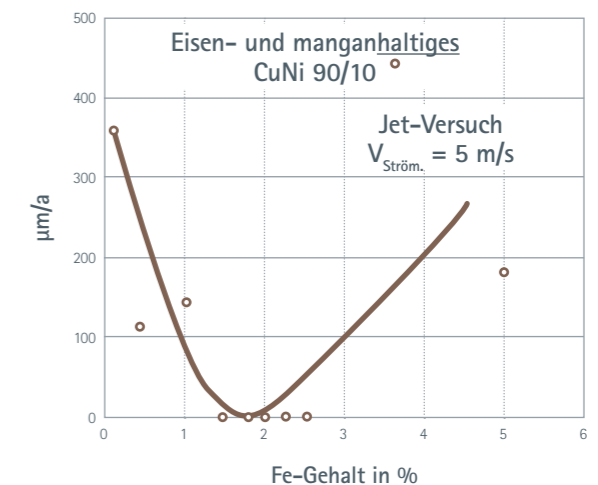


Abbildung 22: Einfluss von Fe auf die lokale Angriffstiefe von CuNiFe10 im Meerwasser [20, 11]

Mit steigender Temperatur und zunehmendem Salzgehalt nehmen die elektrische Leitfähigkeit und die Neigung zu Lokalkorrosion zu. Bei Kupfer-Legierungen nimmt der Materialangriff mit zunehmender Temperatur ab. Kupfer-Legierungen sind imstande, auch in sauerstoffarmen Meerwasser Schutzschichten auszubilden. Dies beruht auf dem Potenzial der Kupfer-Legierungen im Meerwasser, welches deutlich positiver ist als das Potenzial, bei dem H₂ entsteht. Bei Abwesenheit von O₂ ist die Korrosion zu vernachlässigen. Die Kupfer-Nickel-Legierungen sind auch unter diesen Bedingungen gegenüber den anderen Kupfer-Legierungen deutlich beständiger (Abb. 23–24) [20].

Erhitztes Meer- oder Brackwasser begünstigt die Bildung von Ablagerungen aus Ca- und Mg-Verbindungen unterschiedlicher Dicke und Haftfestigkeit auf Metalloberflächen. Diese Beläge vermindern z. B. den Wärmeübergang der Rohre und initiieren bzw. beschleunigen lokale Korrosionserscheinungen wie Loch- und Spaltkorrosion. Andererseits wird die Korrosion auf CuNi-Legierungen durch Kalkablagerungen (CaCO₃) auf ein Minimum herabgesetzt, da diese als mechanische Barriere dienen und die O₂-Reduktion hemmen. Ein Anstieg der Temperatur führt auch zu einer Beschleunigung der biologischen Aktivität im Meerwasser und beeinflusst somit die Entstehung und Art des Biofoulings [20, 31, 32].

2.3.2.3 pH-Wert Einfluss

Der pH-Wert von natürlichem Meerwasser liegt für gewöhnlich immer im schwach alkalischen Bereich zwischen 7,7–8,2. Eine Erhöhung des pH-Wertes mit/ohne Temperaturerhöhung bewirkt einen schnelleren Abfall der Korrosionsrate bzw. eine geringfügige Erniedrigung des pH-Wertes im Meerwasser

allein bewirkt keine Zunahme der Korrosionsintensität von CuNi-Legierungen. Jedoch kann dies aber Deckschichten in ihrer Schutzwirkung beeinträchtigen. Eine Deckschichtbildung auf CuNi-Legierungen wird im 32 °C warmen Meerwasser bei pH-Werten < 6 und O₂-Gehalten > 500 µg/l nicht beobachtet. Die Deckschichtbildung wird erst wieder

begünstigt, wenn der gelöste O₂-Gehalt auf 100 µg/l reduziert oder der pH-Wert > 6 erhöht wird. Der Einsatz von Kupfer und Kupfer-Legierungen wird normalerweise für den kontinuierlichen Betrieb in Frisch- oder Meerwasser bei pH-Werten < 6 nicht empfohlen [29, 31, 33].

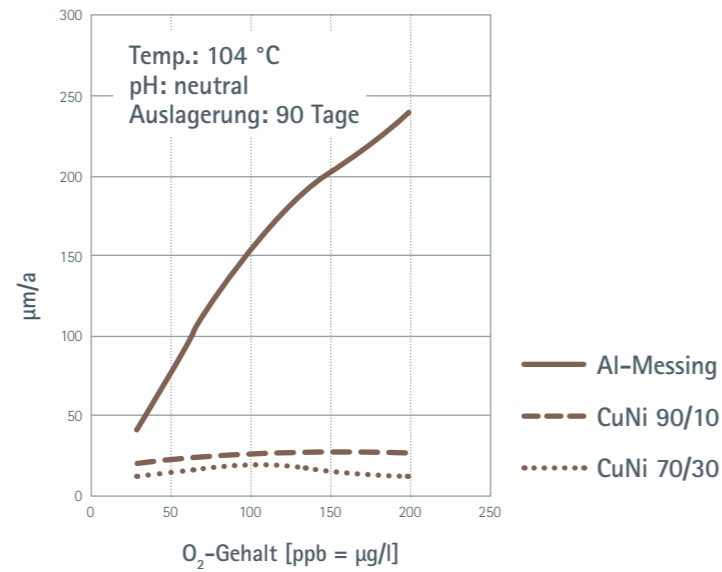


Abbildung 23: Korrosionsraten von Cu-Legierungen in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt im Meerwasser [20, 30].

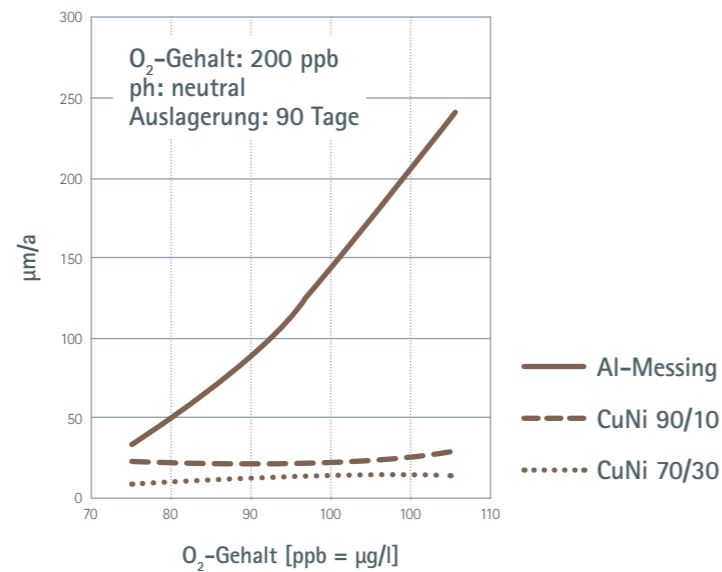


Abbildung 24: Cu-Legierungen in Abhängigkeit von der Temperatur unter nahezu vollständigem O₂-Ausschluss des Meerwassers [20, 30].

2.3.2.4 Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit

Die in der Literatur für CuNiFe-Werkstoffe im Meerwasser angegebenen mittleren Abtragsraten weichen nur geringfügig voneinander ab. Sie sind für CuNiFe10 und CuNiFe30 sehr niedrig und liegen im Bereich von 2–10 µm/Jahr (0–1 m/s). Ein Werkstoff gilt dann als praktisch beständig, wenn die lineare Korrosionsgeschwindigkeit bei gleichmäßigem Flächenangriff deutlich unterhalb 100 µm/Jahr liegt. Für den Großteil der Anwendungen in der Meerestechnik ist somit eine lange Inbetriebnahme der CuNiFe-Legierungen gewährleistet [20, 34].

Untersuchungen mit natürlichem Meerwasser (~ 20 °C) über einen Zeitraum von 14 Jahren bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten haben gezeigt, dass die Korrosionsrate von CuNiFe-Legierungen stetig abnimmt (Abb. 25). Nach 14 Jahren lag die Korrosionsrate für alle drei Auslagerungszustände bei < 2 µm/Jahr [20].

Im Gegensatz zur unterhöhlenden Lochkorrosion der nichtrostenden Stähle sind die lokalen Angriffsstellen der CuNi-Werkstoffe deutlich breiter als tief und somit ungefährlicher und können deshalb als Muldenkorrosion beschrieben werden. Vor allem die durch Biofouling hervorgerufene Loch- und Spaltkorrosion kann durch Erhöhen der Strömungsgeschwindigkeit auf > 1 m/s verringert werden, da es Meeresorganismen zunehmend erschwert wird, sich unter diesen Bedingungen auf der Metalloberfläche festzusetzen [20, 34]. Die vorgegebenen Durchflussgeschwindigkeiten müssen auch eingehalten werden, um die Ablagerung von Schmutzstoffen zu vermeiden (Beeinträchtigung des Wärmedurchgangs, Korrosion unter Ablagerungen).

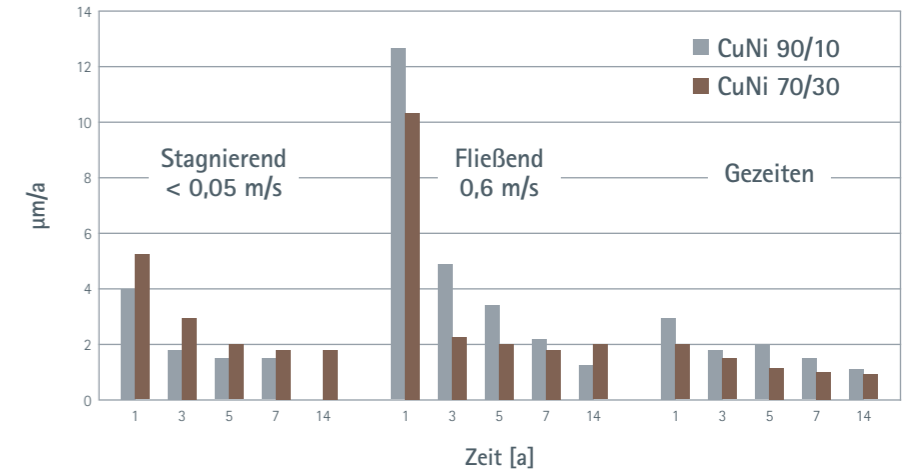


Abbildung 25: Abnahme der Korrosionsintensität von CuNiFe10 und CuNiFe30 bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Zeit (a = Jahre) [20]

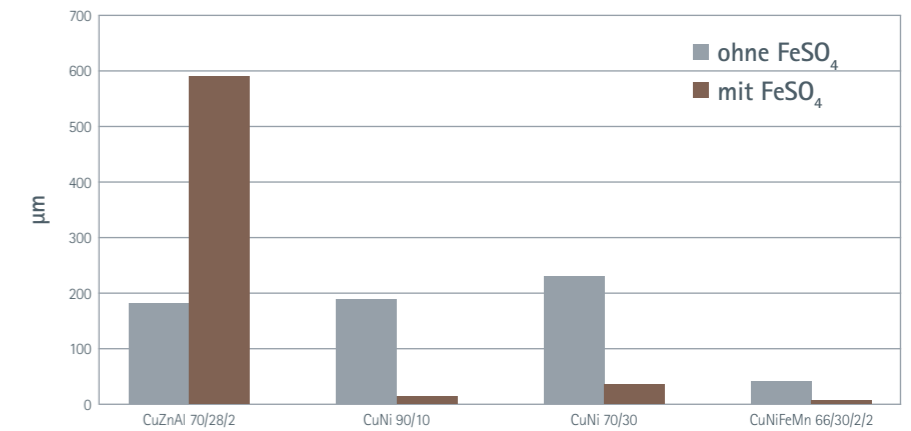


Abbildung 26: Einfluss der FeSO₄-Dosierung auf die lokale Angriffstiefe bei 9 m/s [20, 29]

2.3.2.5 Einfluss der FeSO₄-Behandlung

Eine FeSO₄-Behandlung des Meerwassers ist besonders bei Anwesenheit von korrosiven Verunreinigungen zu empfehlen. Ammoniak (NH₃) und seine Verbindungen verursachen bei allen Kupfer-Legierungen verstärkte Flächenkorrosion, die durch Zugabe von FeSO₄ stark reduziert werden kann. In Anwesenheit von sporadisch auftretenden schwefelhaltigen Verbindungen wie z. B. Schwefelwasserstoff

(H₂S) besteht ohne bzw. bei diskontinuierlicher FeSO₄-Dosierung keine oder nur eine sehr geringe Schutzwirkung. Eine kontinuierliche Zufuhr hat sich besonders bei CuNiFe30 als sehr effizient erwiesen (Abb. 26). FeSO₄ sollte nicht gleichzeitig mit Chlorgas (Cl₂) oder anderen chlorhaltigen Verbindungen zudosiert werden, da sonst der Schutzeffekt von FeSO₄ beeinträchtigt wird [20, 35].

2.3.3 Einflussfaktoren der selektiven Korrosion

Die Neigung von CuNi-Legierungen zu selektiver Korrosion (Entnickelung) ist sehr gering. Selektive Korrosion erfolgt vorzugsweise an Stellen mit geschädigter Schutzschicht, unter Ablagerungen und bei Kontakt mit Werkstoffen höheren Potentials. Sulfide und/oder Ammoniumverbindungen begünstigen bzw. verstärken die Entnickelung noch weiter. Unter diesen Bedingungen genügen bereits sehr geringe Temperaturunterschiede ($\sim 10^\circ\text{C}$), um eine Entnickelung in Form von Lokalkorrosion auszulösen. Bei zeitweilig auftretenden Ammoniumkontaminationen bis $\leq 2\text{ mg/l}$ kann zur Vermeidung von Entnickelung FeSO_4 zugegeben werden. Die Dosierung ist kontinuierlich 1 h einmal am Tag ($1\text{ mg Fe}^{2+}/\text{l}$) anzuwenden. FeSO_4 hat in Anwesenheit von Sulfiden mit/ohne Ammoniumverbindungen keinen Einfluss auf die Entnickelung. Hier empfiehlt sich die Zugabe von geringen Mengen Chlor oder Natriumhypochlorit (NaOCl) [20].

2.3.3.1 Maritimer Bewuchs

Oberflächen, die ständig mit Meerwasser in Kontakt sind, werden je nach Werkstoff innerhalb von Wochen oder Monaten mehr oder weniger stark von maritimem Bewuchs (Biofouling) befallen. Bei der Bewuchsart wird zwischen Mikro- und Makrobewuchs unterschieden.

Unter Mikrobewuchs wird die Besiedelung von metallischen Oberflächen durch Bakterien in Form eines schleimbildenden Biofilms verstanden. Die Besiedelung durch Bakterien findet im Gegensatz zum Makrobewuchs innerhalb von Stunden/Tagen statt. Das Wachstum und die Entwicklung des Biofilms hängen dabei stark von der Temperatur ab. Weitere wichtige Einflussfaktoren sind der

pH-Wert, Salzgehalt, Strömungsgeschwindigkeit und die Oberflächenrauigkeit. Auf glatten Oberflächen und bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten haftet ein Biobewuchs weniger gut.

Makrobewuchs bezeichnet das Anhaften und die Akkumulation von organischen Lebewesen, wie z. B. Algen, Weichtieren und Seepocken auf den Oberflächen. Ein Makrobewuchs kann zu Rohrverengungen führen und Strömungshindernisse, Wärmeübergangsprobleme und Korrosion verursachen. Ein weiteres Problem ist die Gewichtszunahme von Offshore-Bauten, die zu hohen Strukturspannungen bei Wellenlast führen kann. Mit der Ummantelung der Stahlpfeiler mit z. B. CuNiFe10 können die regelmäßigen Reinigungsintervalle und Tauchgänge zum Entfernen von biologischem Bewuchs auf ein Minimum reduziert werden (Abb. 27, 28).

2.3.3.2 Mikrobiell induzierte Korrosion

CuNi-Rohrleitungen sind bei längeren Stillständen unter anaeroben Bedingungen durch die Aktivität von sulfatreduzierenden Bakterien (SRB) und der Zersetzung organischer Schwefelverbindungen aus pflanzlichen und tierischen Überresten anfällig gegen eine mikrobiell induzierte Korrosion (MIK). Verantwortlich für die Initiierung der MIK sind die im Biofilm enthaltenen kupferresistenten Bakterien. Die Korrosion wird also nicht durch direkte Reaktion der Bakterien mit dem Metall verursacht, sondern durch korrosive organische Säuren und H_2S , welche die Bakterien selbstständig bilden [20]. Oftmals werden durch MIK verursachte Schäden an CuNi-Rohrleitungen stromabwärts im Bereich der Schweißnähte beobachtet, da diese Spalte und andere Unregelmäßigkeiten enthalten und daher bevorzugt von SRB besiedelt werden [20].

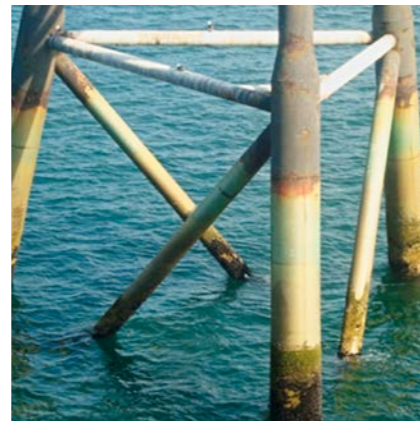


Abbildung 27–28: Bewuchsresistenz von CuNi-Ummantellungsblech der Säulen einer Plattform; links: Inbetriebnahme der Plattform im Jahr 1984; unten: 30 Jahre später

Im Meerwasser enthaltene Sulfide entstehen fast immer durch SRB. Im sauerstoffhaltigen Meerwasser sind SRB normalerweise inaktiv und benötigen daher anaerobe Bedingungen, um aktiv zu werden. In stehenden Wassern und überall dort, wo Sauerstoff schwer zugänglich ist (z. B. im Meeresboden und in Spalten), wird der gelöste Sauerstoff sukzessive durch aerobe Bakterien verbraucht. Erst wenn kein Sauerstoff mehr im Meerwasser vorhanden ist, werden anaerobe Bakterien aktiv. SRB wandeln als Teil ihres metabolischen Prozesses das im Meerwasser vorhandene Sulfat (SO_4^{2-}) zu H_2S um. Dies liegt aufgrund der pH-Verhältnisse im Meerwasser als Hydrogensulfid (HS^-) vor.

Sulfidbelastetes Meerwasser ohne Sauerstoff wirkt sich nicht nachteilig auf die Korrosionsbeständigkeit von Kupfer-Nickel-Legierungen aus. Die Korrosionsraten sind niedrig und entsprechen in etwa denen im frischen, sauerstoffhaltigen Meerwasser. Dieser Fall trifft z. B. auf ständig befüllte CuNi-Feuerlöschleitungen zu [36].

Hohe Korrosionsraten in CuNi-Rohrleitungen werden nur dann beobachtet, wenn ein länger stagnierendes System neu angefahren und mit neuem Wasser vermischt wird. Diese Mischung aus sauerstoffreichem, sulfidbelastetem Meerwasser und frischem, sauerstoffhaltigem Meerwasser verhält sich gegenüber CuNi-Legierungen äußerst aggressiv. In turbulenten Strömungen sind durchaus lokale Korrosionsraten von bis zu 10 mm/Jahr möglich. Verantwortlich dafür sind poröse, aus Kupfer-Sulfiden bestehende Deckschichten, die keinerlei Schutzwirkung besitzen, und bereits bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten abgetragen werden. Erfolgt in solch einem System ein Wasserwechsel, so ist die Leitung ausreichend lang mit frischem Meer- oder Frischwasser zu spülen. Der alte Zustand kann durch Zufuhr von frischem Meerwasser wiederhergestellt werden. Die Sulfidschichten werden nach und nach abgetragen und die Oxidschicht neu gebildet. Der Vorgang kann Tage oder Wochen dauern, bis die dabei auftretenden hohen Korrosionsraten das normale Niveau wieder erreichen [36].

Untersuchungen mit CuNi10Fe und CuNi30Fe im strömenden, sauerstoffhaltigen Meerwasser zeigten bereits bei geringen Sulfidgehalten von $0,01\text{ mg/l}$ bzw. $0,05\text{ mg/l}$ Lokalkorrosion. CuNi30Fe erwies sich dabei als geringfügig beständiger [37]. Dauerhaft mit frischem Meerwasser betriebene CuNiFe-Rohrleitungen erzeugen Deckschichten, die in der Lage sind, einem sulfidbelasteten Meerwasser für längere Zeit standzuhalten

[36, 38]. Bei einer 120 Tage anhaltenden Vorauslagerung von CuNi10Fe und CuNi30Fe im strömenden, frischen Meerwasser konnte ein nahezu vollständiger Schutz im sulfidbelasteten Meerwasser ($0,2\text{ mg/l}$) für die Dauer von 15 Tagen aufrechterhalten werden. Dies war auf die Entstehung einer vollständig intakten Cu_2O -Schicht zurückzuführen. Eine Vorauslagerung von nur 30 Tagen reichte nicht aus, um einen vollständigen Schutz gegen einen nachträglichen Sulfidangriff zu bewirken [38].

Im warmen Meerwasser und diskontinuierlich betriebenen CuNi-Rohrleitungssystemen hat sich bei Bewuchsproblemen der Einsatz einer zusätzlichen Antibewuchseinheit in Form einer Kupfer-Anode oder einer Chlorung als sehr hilfreich erwiesen. Bei kontinuierlich betriebenen CuNi-Rohrleitungen kann bei ausreichend hoher Strömungsgeschwindigkeit unabhängig von der Meerwassertemperatur jedoch auf eine zusätzliche Antibewuchseinheit oder Chlorung verzichtet werden.



2.3.3.3 Einfluss des Flächenverhältnisses bei der bimetalenen Korrosion

Im natürlichen Meerwasser durchgeführte Untersuchungen zur bimetalenen Korrosion haben gezeigt, dass die Korrosionsrate der meisten Kupferlegierungen um etwa das Siebenfache ansteigt, wenn das Flächenverhältnis zum rostfreien Edelstahl gleichbleibt. Da jedoch das freie Korrosionspotenzial sehr niedrig ist, kann die Zunahme bei dickwandigen Bauteilen toleriert werden. Eine weitere Zunahme der Flächenverhältnisse beim rostfreien Edelstahl wirkt sich auf die Korrosion von CuNiFe sehr nachteilig aus [20, 39].

3. Herstellung und Bearbeitung

Kurzzeichen	Gießbarkeit	Umformung		Spanbarkeit	Verbindungsarbeiten							Oberflächenbehandlung		
		Warm-	Kalt-		Schweißen				Löten			mechanisches Polieren	elektrochemisches Polieren	
					Gas-	Metall-Lichtbogen-	Schutzgas-		Widerstands-	Hart-	Weich-			
							WIG-	MIG-						
Kupfer-Nickel-Knetlegierungen														
CuNi9Sn2	-	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut
CuNi10Fe1Mn	-	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut
CuNi25	-	gut	gut	mittel	schlecht	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut
CuNi30Mn1Fe	-	gut	gut	mittel	schlecht	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut
CuNi30Fe2Mn2	-	gut	gut	mittel	schlecht	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut
CuNi44Mn1	-	gut	gut	mittel	schlecht	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut
Kupfer-Nickel-Gusslegierungen														
CuNi10Fe1Mn1-C	gut	-	-	mittel	schlecht	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut
CuNi30Fe1Mn1NbSi-C	gut	-	-	mittel	schlecht	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut

Tabelle 19: Hinweise für die Weiterverarbeitung von Kupfer-Nickel-Legierungen

Tabelle 2 ist zu entnehmen, in welchen Produktformen die genormten Kupfer-Knetlegierungen lieferbar sind. Tabelle 19 gibt Hinweise auf die Bearbeitung der Kupfer-Nickel-Knet- und -Gusslegierungen.

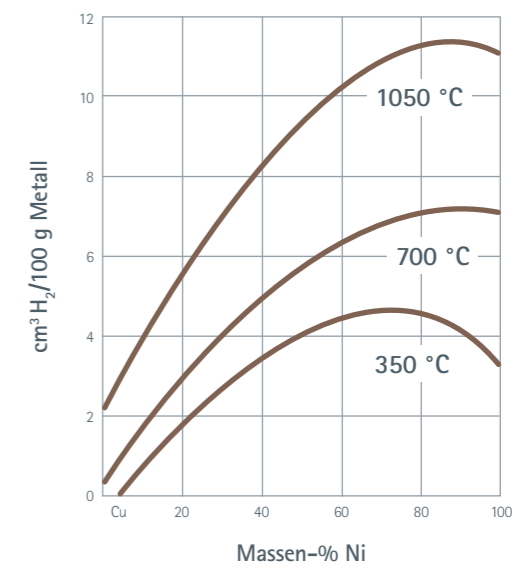
3.1 Schmelzen

Kupfer-Nickel-Legierungen neigen mit steigenden Nickelgehalten und höheren Temperaturen sehr stark zur Aufnahme von Gasen. Die Löslichkeit für Wasserstoff und Sauerstoff nimmt bekanntlich beim Übergang in den festen Zustand sprunghaft ab, und es entstehen dann Poren und Blasen, da die Gase dabei meist nicht entweichen können. In Abbildung 29 ist die Wasserstofflöslichkeit in Abhängigkeit von Nickelgehalt und Temperatur dargestellt.

Durch oxidierende bzw. neutrale Schmelzweise wird die Wasserstoffaufnahme weitgehend vermieden. Dabei ist auf Kohlenstofffreiheit der Schmelze zu achten. Bei oxidierender Schmelzweise ist eine anschließende Desoxidation mit einer Kupfer-Mangan-Vorlegierung (CuMn30) oder Lithium erforderlich. Bei neutraler Schmelzweise ist die sichere Wasserstoffentfernung durch eine Spülgasbehandlung, z. B. mit trockenem Stickstoff, zu erreichen. Die Abdeckung des Schmelzbades erfolgt bei neutraler Schmelzweise durch

neutrale Abdeckmittel. Kohlenstoffhaltige Abdeckmittel, z. B. Holzkohle, sind zu vermeiden.

Abbildung 29: Entfestigung von Kupfer-Nickel-Legierungen in Abhängigkeit von der Glüh Temperatur und vom Nickelgehalt (von der Glühung 50 % kaltgewalzt [2] (DKI A 4063))



3.2 Gießen

Je nach Abmessungen und dem Gewicht der Gussstücke liegen die **Gießtemperaturen** etwa 100 bis 200 °C über der Liquidustemperatur. Bei der Herstellung von Formen ist ein **Schwindmaß** von etwa 2 % zu berücksichtigen.

Kupfer-Nickel-Legierungen können sowohl nach dem Sand-, Kokillen-, Strang- oder Schleudergießverfahren bearbeitet werden. Formguss wird in trockenen Sandformen mittlerer Durchlässigkeit hergestellt. Zum Gießen von Formaten dienen gusseiserne oder wassergekühlte Kupferkokillen. Das Vergießen der Kupfer-Nickel-Legierungen zu Formgussteilen ist nicht einfach und stellt an den Gießer hohe Anforderungen.

3.3 Umformung

Warmumformen (Walzen, Pressen, Schmieden usw.) erfolgt im Halbzeugwerk nach dem Vorwärmen in schwefelfreier Atmosphäre. Die Warmumformbarkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen wird durch Mangan und Eisen nicht wesentlich beeinflusst. Bereits geringe Zusätze bestimmter Elemente (Bismut, Tellur etc.) haben dagegen auf die Warmumformbarkeit einen entscheidenden Einfluss [17]. Die Warmumformung erfolgt zwischen 850 und 1100 °C.

Kaltumformen bereitet ebenfalls keine Schwierigkeiten, wenn die Legierungen aluminiumfrei sind. Bei einer Kupfer-Nickel-Legierung, z. B. mit 20 % Ni, sind Kaltumformungsgrade von 95 % ohne Zwischenglühungen möglich. Aber auch Legierungen mit noch kleineren Nickelgehalten lassen sich verhältnismäßig gut kaltumformen. Die besten Tiefziehfähigkeiten haben binäre Kupfer-Nickel-Legierungen mit 15 bis 20 % Ni.

3.4 Wärmebehandlung

Wärmebehandlungen dienen bei den Kupfer-Nickel-Legierungen im Allgemeinen nur zum Weichglühen und Entspannen. Je nach Kaltumformungsgrad, den Gehalten an Nickel und zusätzlichen Bestandteilen können die Temperaturen für das rekristallisierende Weichglühen in den weiten Grenzen von etwa 620 bis 900 °C liegen. Die hohen Temperaturen sind kurzen Glühzeiten (Durchlaufglühungen) und die niedrigen Temperaturen langen Glühzeiten (stationären Glühungen) zuzuordnen. Das Spannungsfreiglühen wird bei 280 bis 500 °C vorgenommen. Das Glühen erfolgt zweckmäßigerweise unter Luftabschluss oder in leicht reduzierender Atmosphäre, um das bei lufthaltiger Glühatmosphäre erforderliche Beizen einzusparen. Schwefelhaltige Ofenatmosphäre ist zu vermeiden. Vor der Glühung muss das Werkstück entfettet werden, um zu verhindern, dass seine Oberfläche durch Schwefel und/oder Kohlenstoff verunreinigt wird.

Einige nicht genormte Kupfer-Nickel-Legierungen können durch eine Wärmebehandlung ausgehärtet werden. So erfolgt z. B. die Aushärtung der chromhaltigen Knetlegierung **CuNi30Cr** „C71900“ (s. Tab. 12) und der Gusslegierung **CuNi30Cr2FeMnSi** (s. Tab. 14) stets während der (langsamen) Abkühlung von der Bearbeitungstemperatur (Warmumformen bzw. Gießen) bereits bei Temperaturen um 500 °C.

Die Aushärtung der aluminiumhaltigen Knetlegierung **CuNi5Al4Mn2** (s. Tab. 12) wird üblicherweise bei 300 bis 400 °C bei einer Haltezeit von 0,5 bis 2 Stunden vorgenommen. Zum Weichglühen wird das Material wenige Minuten über 840 °C erwärmt und entweder im Luftstrom oder im Wasser rasch abgeschreckt.

CuNi14Al3 härtet bereits bei der Abkühlung nach der Warmumformung aus. Eine zusätzliche Wärmebehandlung ist nicht erforderlich.

3.5 Spanabhebende Bearbeitung

Die homogenen Kupfer-Nickel-Legierungen sind schwer spanbar. Infolge ihrer großen Zähigkeit ist die Spanbarkeit der Kupfer-Nickel-Legierungen vor allem im weichen Zustand ungünstig. Sie bilden lange, zähe Späne, sodass die Spanabfuhr häufig Schwierigkeiten bereitet und die erzielbare Oberflächengüte dadurch negativ beeinflusst wird. Um Wirrspäne zu vermeiden, ist für ungehinderten Abfluss der langen Späne zu sorgen. Die höher legierten Knetwerkstoffe und die Gusslegierungen lassen sich etwas besser spanen als die Legierungen mit niedrigem Nickelgehalt. Die Spanbarkeit wird durch Mangan und Eisen nicht verbessert.

Kupferwerkstoffe werden hinsichtlich ihrer Spanbarkeit grob in drei Hauptgruppen unterteilt [21]. Danach werden alle Kupfer-Nickel-Legierungen der Gruppe III (mäßig bis schwer spanbar) zugeordnet. Für eine weitere Abstufung innerhalb dieser Gruppe ist der Festigkeitszustand maßgebend. Halbhartes und hartes Material lässt sich besser spanen als weiche Qualitäten, da bei härteren Qualitäten die Späne leichter brechen. Das wird oft jedoch durch etwas niedrige Werkzeugstandzeiten erkaufte. Richtwerte für die Spannung sind der oben genannten Literaturstelle zu entnehmen. Spanbrechende Zusätze wie Blei oder Schwefel sind bei Kupfer-Nickel-Legierungen nicht üblich, weil sie die Warmumformbarkeit sehr stark beeinträchtigen würden.

Für die Werkzeuge sind im Allgemeinen Hartmetalle zu bevorzugen; sie haben günstigere Standzeiten als Schnellarbeitsstähle, und die Gefahr ist geringer, dass durch klemmende Späne die Schneide vorzeitig angegriffen wird. Die Vorschübe und Schnittgeschwindigkeiten sind mittelgroß zu wählen; eine gründliche Kühlung mit Bohremulsionen oder schwefelfreien Ölen ist ratsam.

Blei- und Schwefelhaltige Kupfer-Nickel-Gusslegierungen, wie sie in den USA genormt sind, lassen sich deutlich besser spanen.

3.6 Verbindungsarbeiten

Verbindungsarbeiten an Kupfer-Nickel-Legierungen durch Schweißen und Löten bereiten im Allgemeinen keine Schwierigkeiten. Das Verbinden durch Kleben, das bei Kupfer und Messing angewendet wird, hat für Kupfer-Nickel-Legierungen kaum Bedeutung. Mit Epoxidharzen stehen jedoch geeignete Metallkleber zur Verfügung. Mechanische Verbindungen werden dagegen vielfach angewendet.

3.6.1 Schweißen

Zum **Schmelzschweißen** von Kupfer-Nickel-Legierungen [22, 23] eignen sich die bekannten Verfahren wie

- **Metall-Lichtbogenschweißen** mit umhüllten Stabelektroden,
- **WIG (Wolfram-Inertgas-Schweißen)** und
- **MIG (Metall-Inertgas-Schweißen)**.

Grundsätzlich sind auch Verfahren wie das Plasma-, Unterpulver- und Plasma-MIG-Schweißen möglich, doch hier muss auf die optimalen Arbeitsbedingungen geachtet werden. Strahlschweißverfahren mit Laser und Elektronenstrahl sind ebenfalls anwendbar.

Das **Gasschweißen** hat für Kupfer-Nickel-Legierungen kaum noch Bedeutung. Wenn gasgeschweißt werden muss, ist die Flamme auf leichten Acetylenüberschuss einzustellen und es sind Flussmittel zu verwenden. Kupfer-Nickel-Legierungen können mit dem Schweißzusatz **CuNi30** (umhüllte Stabelektrode) nach **DIN EN ISO 24373** geschweißt werden. Für die Legierungen **CuNi9Sn2**, **CuNi10Fe1Mn** und **CuNi10Fe1Mn1-C** wird außerdem der Schweißzusatz **CuNi10** empfohlen. Vorwärmen ist nicht erforderlich. Der Nickelgehalt setzt die Wärmeleitfähigkeit des Grundwerkstoffs so weit herab, dass der erforderliche Wärmestau ohne Weiteres erreicht wird. Das gilt auch für das Lichtbogenhandschweißen, das für die Kupfer-Nickel-Legierungen immer noch größte Bedeutung hat.

Für die Schweißbeignung der Kupfer-Nickel-Knetlegierungen **CuNi10Fe1Mn**, **CuNi30Mn1Fe** und **CuNi30Fe2Mn2** werden in **DIN CEN/TS 13388** Höchstgehalte an zulässigen Beimengungen von **Phosphor** mit 0,02 % und **Schwefel** mit 0,05 % angegeben. Die Grenzwerte für Zink (0,5 %), für Blei (0,02 %) und für Kohlenstoff (0,05 %) sind zu beachten. Die Grenzwerte nach **DIN CEN/TS 13388** hinsichtlich der Schweißbeignung müssen genau eingehalten werden, da sonst beim Schweißen erhebliche Schwierigkeiten auftreten können. Sie sind gekennzeichnet durch die Lichtbogenablenkung und eine große Zahl von Rissen (**HeiBrissanfälligkeit**), insbesondere im Bereich der wärmebeeinflussten Zone bis zu etwa 20 mm neben der Naht, die u. U. zu zeit- und kostenaufwendigen Instandsetzungsarbeiten führen [24].

Zum Schmelzschweißen von **CuNi30Cr** (s. Tab. 12) wurden artgleiche Schweißzusätze und mit Flussmittel umhüllte Elektroden entwi-

ckelt. Bei zweckmäßiger Schweißdurchführung wird wegen der schnell verlaufenden Aushärtungsvorgänge bei diesen Legierungen in unterlagigen Schweißungen u. U. die volle Festigkeit der aushärtenden Grundwerkstoffe erreicht.

CuNi5Al4Mn2 (s. Tab. 12) mit etwa 5 % Ni und 4 % Al lässt sich ebenfalls mit den Schutzgasschweißverfahren und artgleichem Schweißzusatz problemlos schmelzschweißen. Verbindungsschweißungen an dünnen Bändern konnten auch sehr gut mit Mikroplasmageräten ohne Schweißzusatz ausgeführt werden. Zu beachten ist, dass beim Schmelzschweißen die Schweißberitzung der Übergänge die Kaltverfestigung des Anlieferungszustandes vermindert. Nach Lösungs-glühen und abschließendem Abschrecken ist wieder ein Aushärten möglich.

Das Schmelzschweißen der Kupfer-Nickel-Gusslegierungen ist z.B. für Fertigungs- und Konstruktionsschweißungen an Gussstücken oder das Verbindungsschweißen von Gussstücken wie Pumpen- und Ventilkörpern in Rohrleitungen aus Kupfer-Nickel-Knetlegierungen bedeutungsvoll.

Für eine gute Schmelzschweißbarkeit von **CuNi10Fe1Mn1-C** ist eine richtige Abstimmung der **Silicium-** und **Niobgehalte** notwendig. Das optimale Verhältnis Nb : Si im Grundwerkstoff sollte folgender Gleichung genügen:

$$\% \text{Nb} \approx 1,55 \cdot \% \text{Si} - 0,1 \quad [22].$$

Bei 0,20 % Si im Grundwerkstoff **CuNi10Fe1Mn1-C** sollte also wenigstens ein Niobgehalt von 0,21 % vorhanden sein [13].

CuNi30Fe1Mn1-C ist oft anlassemempfindlich. Beim mehrlagigen Schweißen besteht somit die Gefahr der Bildung von Spannungsrissen in den wärmebeeinflussten Zonen. Ihnen kann man durch Abdecken der Nahtflankenflächen mit Pufferschichten, die in dünnen Strichraupen am besten mit dem Metall-Lichtbogen aufgebracht werden, begegnen. Für gute Schweißbeugung wird empfohlen, 0,4 % Si mit 0,8 % Nb zu kombinieren [13].

Für das Verschweißen verschiedener Kupfer-Nickel-Legierungen untereinander oder mit unlegierten Stählen ist der Schweißzusatz **NiCu30Mn3Ti (E)** (umhüllte Stabelektrode) nach **DIN EN ISO 14172** zu empfehlen. Bedingt ist auch **NiCu30Mn3Ti** nach **DIN EN ISO 24373** geeignet. Hier ist jedoch – insbesondere bei Mischverbindungen – Rücksprache mit dem Werkstoffhersteller zu nehmen.

Widerstandsschweißen bereitet bei Kupfer-Nickel-Legierungen keine Schwierigkeiten. Weitere Schweißverfahren wie z. B. das Kaltpress-, Ultraschall-, Reib-, Elektronenstrahl-, Hochfrequenz-, Diffusions- und Laserschweißen kommen in Betracht.

Die Legierung **CuNi14Al3** sollte nicht geschweißt werden. Geeignete Schweißzusatzstoffe stehen nicht zur Verfügung.

3.6.2 Löten

Zum **Weichlöten** kommen Zinn-Silber- und Zinn-Kupfer-Weichlote – z. B. Sn95Ag5 und Sn97Cu3 oder Sn97Ag3 nach **DIN 1707 (02.81)** – unter Einsatz von Flussmitteln der Typen 3.2.2 oder 3.1.1 infrage. Die Flussmittelreste sollten nach dem Löten entfernt werden. Die o. g. Lote haben bessere Festigkeitseigenschaften sowie höhere Korrosions- und Temperaturbeständigkeit als die früher eingesetzten bleihaltigen Zinnlote.

Für Lötungen an elektrischen Widerständen, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, werden höher schmelzende Lote eingesetzt. In der Elektrotechnik und Elektronik werden die Kupfer-Nickel-Legierungen häufig vorverzinnt und versilbert und danach mit kolophoniumhaltigen Flussmitteln vom Typ 1.1.2 oder 1.1.3 weichgelötet. Die speziell für federnde Bauelemente eingesetzte Legierung **CuNi9Sn2** zeichnet sich durch eine sehr gute Anlaufbeständigkeit aus und ist deshalb auch nach langer Lagerungszeit sehr gut lötbar.

Zum **Hartlöten** eignen sich Kupferlote wie z. B. Cu 470a bis Cu 681 mit Flussmitteln des Typs FH10. Um eine **Lötbrüchigkeit** zu vermeiden, sollten die eingesetzten Lote **phosphorfrei** sein.

Für die eisenhaltigen Kupfer-Nickel-Legierungen werden meist Cu 773 und Ag 244 gewählt. Der Legierungstyp **CuNiSn** wird mit höheren Ni- und Sn-Anteilen (CuNi13Sn8) für hochwertige, filigrane Brillengestelle mit exzellenten Federbiegeigenschaften genutzt und mit Silberhartloten gefügt. Bei Meerwasserbeanspruchung sollte das Hartlot einen Silbergehalt von etwa 40 bis 56 % besitzen. In der Norm VG 81245 Teil 3 (1991) „Schweißzusätze und Hartlote für den Bau von Schiffen und schwimmenden Gerät“ [28], werden die Silberlote Ag 140, Ag 155 und Ag 244 nach **ISO 17672 (2010)** angegeben. Die US-AWS

5.8 empfiehlt das nickelhaltige Silberhartlot BAg-3, mit einem Silbergehalt von 50 %, für maritime Anwendungen. Hierbei handelt es sich um ein cadmiumhaltiges Hartlot; die cadmiumfreie Alternative ist das Lot Ag 450 nach **DIN ISO 17672 (2011)**. Zum Hartlöten wird das Flussmittel vom Typ FH11 empfohlen.

Legierungen wie **CuNi30Cr** und **CuNi-5Al4Mn2** (s. Tab. 12) haben eine festhaftende Schutzschicht. Mit Sonderflussmitteln sind beide Legierungen jedoch für Weich- und Hartlöten geeignet.

Die Gusslegierungen **CuNi10Fe1Mn1-C** und **CuNi30Fe1Mn1-C** sind zum Weich- und Hartlöten geeignet. Ihre Hartlöteignung entspricht den Knetlegierungen mit ähnlicher Legierungszusammensetzung. Dennoch werden diese Legierungen bevorzugt geschweißt.

3.6.3 Mechanische Verbindungen

Das Verbinden von Teilen aus Kupfer-Nickel-Legierungen erfolgt im Allgemeinen mit **Nieten** und **Schrauben** aus **CuNi1Si**. Diese Legierung – in **DIN CEN/TS 13388** genormt – hat im ausgehärteten Zustand eine hohe Festigkeit.

Auch das **Flanschen** von Rohren aus Kupfer-Nickel-Legierungen – z. B. im Schiffbau – wird meist mit Schrauben aus CuNi1Si durchgeführt.

Rohre aus Kupfer-Nickel-Legierungen können miteinander **verpresst** werden. Das Verpressen ist mit einem geeigneten Presssystem gemäß der Werkstoff-Kennzahlen 2.1972.11 bzw. 2.1972.22 nach DIN 86019 möglich. Die unlösbare Verbindung erfolgt dabei mit einer vom Hersteller empfohlenen Pressmaschine.

3.7 Oberflächenbehandlung

Kupfer-Nickel-Legierungen lassen sich gut mechanisch und elektrochemisch **polieren** (s. Tab. 19).

Zum **Beizen** zwecks Entfernen der bei oxidierendem Glühen oder beim Warmumformen gebildeten, sehr beständigen Oxide ist als Beizlösung heiße, 15%ige Schwefelsäure mit Zusatz von etwa 2 % Natriumnitrat, Salpetersäure oder Natriumdichromat wirksam. Auch warme Salzsäure (1:1) mit Bichromatzusatz ist geeignet. Durch Abschrecken von höheren Temperaturen in Wasser mit 2 % Alkohol sind Beizbehandlungen zu umgehen.

Zum **Glanzbrennen** wird für alle Legierungen das Vorbrennen mit einer Lösung aus 1000 ml Salpetersäure (ehem. 38 Bé), 1000 ml Wasser und 60 bis 90 g Kochsalz bei 25 bis 35 °C angewendet. Nach Heißspülen wird kurz in Salpetersäure (1:1) getaucht, anschließend in verdünnter Ammoniaklösung neutralisiert, gespült und getrocknet. Bei der chemischen Oberflächenbehandlung sind die entsprechenden Umweltvorschriften zu beachten. Da Kupfer-Nickel-Legierungen in zahlreichen Medien korrosionsbeständig sind, ist ein Galvanisieren aus korrosionschemischen Gründen kaum erforderlich. Hingegen werden zur Übernahme funktionaler Aufgaben Überzüge aufgebracht, z. B. Silber.

4. Anwendung

Die Kupfer-Nickel-Legierungen sind aufgrund ihrer Eigenschaften vielseitig anwendbar. Einen groben Überblick gibt Tabelle 20. Bestimmend für ihren Einsatz sind:

- gute Verarbeitbarkeit zu Halbzeug und zu Fertigteilen in allen Formen, Abmessungen und Festigkeitszuständen durch Warm- und Kaltumformung sowie durch Formguss;
- für manche Fälle die ansprechende helle Farbe der Legierungen mit über 15 % Ni;
- gute Festigkeitseigenschaften auch bei tiefen und höheren Temperaturen;
- physikalische Sondereigenschaften, z. B. hoher spezifischer, elektrischer Widerstand und dessen geringer Temperaturbeiwert;
- gute Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit;
- hohe Sicherheit gegen Spannungsrissskorrosion und Korrosionsermüdung.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für die binären Kupfer-Nickel-Legierungen sind **Münzen**. Wegen ihrer Anlaufbeständigkeit, ihrer Farbe, ihres Glanzes und ihrer leichten Bearbeitbarkeit zu Münzplättchen von hoher Oberflächengüte und Maßgenauigkeit sowie wegen ihres günstigen Verhaltens beim Prägen sind Kupfer-Nickel-Legierungen für Münzwecke sehr gut geeignet. Sie gestatten die Herstellung harter, form- und maßgetreuer Münzen. Selbst feinste Muster können scharf ausgeprägt werden. Der Verschleiß der Prägung ist so gering, dass die Verkehrsfähigkeit der Münzen über Jahrzehnte nicht beeinträchtigt wird.



1860 wurde in den USA eine Legierung mit 88 % Cu und 12 % Ni als Münzwerkstoff eingeführt. Heute wird bevorzugt die Legierung **CuNi25** verwendet. Münzen aus CuNi25 behalten ihre hellweiße Farbe praktisch während ihrer gesamten Umlaufzeit. Viele „Silbermünzen“ genannte Zahlungsmittel bestehen aus diesem Werkstoff, so z. B. die alten deutschen 50-Pfennig- und 1-DM-Stücke oder heute die innere Scheibe der 1-Euro-Münze.

Nur gelegentlich werden Kupfer-Nickel-Legierungen mit geringerem Nickelgehalt – und dann meist mit weiteren Zusätzen – für Münzwecke eingesetzt. Münzen haben zum Teil eine komplexe Aufbaustruktur. Dadurch haben sie definierte magnetische Eigenschaften, die zur Unterscheidung von Falsch- und Fremdgeld in Münzprüfern ausgenutzt werden und somit die Automaten-sicherheit erhöhen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der binären Kupfer-Nickel-Legierungen ist die **Elektrotechnik**, in der z. B. Werkstoffe mit 2 bis 10 % Ni (s. Tab 3) zur Herstellung von Heizkabeln mit niedriger Heizleitertemperatur für Dynamoschleifringe, niedrig-ohmige elektrische Widerstände u. a. m. verwendet werden (s. Tab 20).

Doch auch der **Messgerätebau**, der **Flugzeug- und Automobilbau**, das Bauwesen, die Blech- und Metallwarenindustrie setzen für bestimmte Anwendungsgebiete neben den mit Mangan und Eisen legierten Werkstoffen noch binäre Kupfer-Nickel-Legierungen ein.

Die **manganhaltigen Kupfer-Nickel-Legierungen** werden vornehmlich in der **Elektrotechnik** als Werkstoffe für elektrische Widerstände benutzt; dabei wird **CuNi44** halb so häufig eingesetzt, weil bei dieser Zusammensetzung der spezifische Widerstand mit $0,49 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ einen Höchstwert und der zugehörige Temperaturkoeffizient einen Tiefstwert erreicht (s. Tab. 8 und Abb. 9). CuNi44 wird für Widerstände, deren Widerstandswert sich durch Temperaturschwankungen möglichst wenig ändern darf, für Präzisionswiderstände aller Art, Messwiderstände, Vorschaltwiderstände für Messinstrumente, Nebenschlusswiderstände für Amperemeter sowie Rohr-, Schiebe- und Festwiderstände, für Heizeinheiten in Schaltanlagen, für Widerstandsregister mit Draht- oder Bandwicklung, für Widerstandsgewebe in Last-, Prüf- und Heizgeräten und für Kontaktstellwiderstände (Abb. 30) verwendet.

Werkstoff-Kurzzeichen	Besondere Eigenschaften	Hinweise für die Anwendung
CuNi9Sn2	Gut kaltumformbar, anlaufbeständig, sehr gutes Spannungsrelaxationsverhalten im federharten Zustand	Federnde Kontakte in Relais, Schaltern und Steckverbindern, Lötarmen, Gehäuse für elektrische Baugruppen
CuNi10Fe1Mn	Ausgezeichneter Widerstand gegen Erosion, Kavitation und Korrosion (insbesondere Meerwasser), gut schweißbar	Meerwasserleitungen, Rohre, Platten und Böden für Wärmeaustauscher und Kondensatoren sowie Speisewasservorwärmer (Niederdruck); Süßwasserbereiter, Klimaanlage, Apparatebau, Rippenrohre, Bremsleitungen
CuNi14Al3	wie CuNi10Fe1Mn, jedoch mit wesentlich höherer Festigkeit, schwer schweißbar, amagnetisch	Armaturen, Schrauben, Muttern, Wellen, Steckverbindungen in Seewasserbereich, amagnetische Marineteile, Flugzeugkomponenten, Kappenringe für Elektromotoren, Gleitbuchsen
CuNi25	Verschleißfest, silberweiße Farbe	Bevorzugte Münzlegierung, Plattierwerkstoff
CuNi30Mn1Fe	Wie CuNi10Fe1Mn, verbesserte Korrosions- und Festigkeitseigenschaften	Wie CuNi10Fe1Mn, zusätzlich Rohrleitungen im Schiffbau, Ölkühler, Entsalzungsanlagen
CuNi30Fe2Mn2	Wie CuNi30Mn1Fe, jedoch verbesserte Festigkeitseigenschaften	Kondensatorrohre
CuNi44Mn1	Gut kalt- und warmumformbar, kleiner Temperaturbeiwert des elektrischen Widerstandes, gute Korrosions- und Zunderbeständigkeit	Anlass-, Regel-, Kontroll- und Belastungswiderstände nach DIN 1747; Thermolemente, Heizelemente, Röhreneinbauprodukte
CuNi2	Sehr niedriger spezifischer, elektrischer Widerstand, weich lötlbar	Anschlussenden, niedrigohmige, elektrische Widerstände, Heizdrähte, Heizkabel mit niedriger Heiztemperatur
CuNi6	Niedriger spezifischer, elektrischer Widerstand, weich lötlbar	Wie CuNi2 und CuNi6
CuNi10	Niedriger spezifischer, elektrischer Widerstand, korrosions- und zunderbeständig, weich lötlbar	Wie CuNi2 und CuNi6
CuNi23Mn	Gute Korrosions- und Zunderbeständigkeit, weich lötlbar	Elektrische Widerstände, Heizdrähte, Heizkabel
CuNi30Mn	Gute Korrosions- und Zunderbeständigkeit, weich lötlbar	Elektrische Widerstände, Anlasser, Kennmelder
CuNi44	s. CuNi44Mn1 nach DIN 17664	s. CuNi44Mn1 nach DIN 17664
CuNi10Fe1Mn1-C CuNi30Fe1Mn1NbSi-C	Sehr gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber allen Arten von Wasser (auch Meerwasser) sowie sauren und ammoniakalischen Kondensatoren, keine Empfindlichkeit gegen Spannungsrissskorrosion, gute Erosions- und Kavitationsbeständigkeit, gut lötlbar und gut schweißbar, gut bearbeitbar	Schiffbau, Papiermaschinenbau, Lebensmittel- und Getränkeindustrie, Kraftwerke, chemische Industrie (für Fittings, Armaturen, Pumpen, Messgeräte, Rührwerke, Abfüllorgane usw.)

Tabelle 20: Hinweise für Anwendungen von Kupfer-Nickel-Legierungen

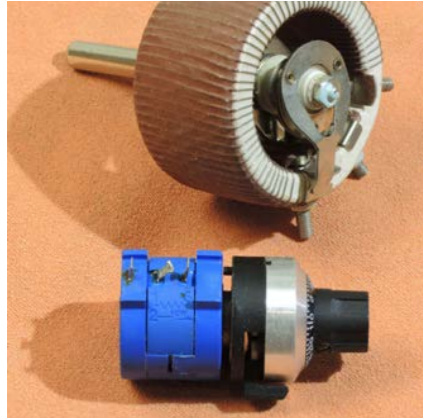


Abbildung 30: Widerstand aus CuNi44

Die obere Anwendungsgrenze für CuNi44 beträgt 600 °C (s. Tab. 8). Für Heizelemente wird dieser Widerstandswerkstoff dort benutzt, wo grundsätzlich hohe Sicherheit gegen Korrosionsschäden gefordert wird, z. B. für elektrische Heizkissen. So werden aus dieser Legierung auch Heizmatten (Elektro-Flächenheizung für Räume und Freiflächen) hergestellt.

CuNi44 wird außerdem für Thermopaare und als Einbauelement für Elektronenröhren eingesetzt. Dieser Werkstoff hat gegen Kupfer und Eisen eine hohe Thermokraft (Abb. 11) und dient deshalb auch als Minusschenkel entsprechender Thermolemente für Temperaturmessungen im mittleren Temperaturbereich. Vorteilhaft ist ferner, dass sich auf fertigen Drähten und Bändern aus CuNi44 festhaftende Oxidschichten erzeugen lassen, die ausgezeichnet elektrisch isolieren.

CuNi30Mn nach DIN 17 471 (obere Anwendungsgrenze 500°C) hat einen geringeren spezifischen Widerstand als CuNi44 (s. Tab. 8). Der zugehörige Temperaturbeiwert ist zudem größer. Dieser Werkstoff wird überall dort

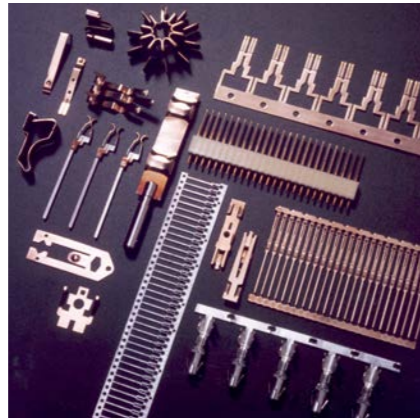


Abbildung 31 (DKI A 3252): Federnde Teile aus CuNi9Sn2

gebraucht, wo ein gewisser Anstieg des Widerstands mit der Temperatur erwünscht ist oder keine Rolle spielt, so z. B. bei Anlass-, Regel-, Kontroll- und Belastungswiderständen.

Interessante Werkstoffe für die Elektrotechnik sind ferner die Legierungen CuNi9Sn2 und CuNi5Al4Mn2 (Tab. 12 und Tab. 21).

CuNi9Sn2 wird in der Elektrotechnik für federnde Kontakte, Relais, Schwachstromschalter und Steckverbinder verwendet. Im kaltverformten Zustand zeigt diese Legierung hervorragende Relaxationseigenschaften. Abbildung 31 zeigt Anwendungsbeispiele für diese Legierung.

CuNi5Al4Mn2 ist ebenfalls ein guter Federwerkstoff, der in vielen Fällen, z. B. in Magnetschaltern, Navigations- und Messinstrumenten, eingesetzt werden kann. Die wesentlichen Anwendungsgebiete der eisenhaltigen Kupfer-Nickel-Legierungen sind durch deren hohe Korrosions- und Erosionsbeständigkeit in wässrigen Medien vorgezeichnet. Damit wurden vor allem die Legierungen CuNi10Fe1Mn und CuNi30Mn1Fe zu interessanten Werkstoffen vornehmlich für

den Schiff-, Kraftwerks- und Wärmeübertragerbau sowie für die Meerwasserentsalzungsanlagen.

CuNi10Fe1Mn wurde als Legierung mit geringerem Nickelgehalt aus wirtschaftlichen Gründen entwickelt und hat sich als Rohrwerkstoff gut bewährt. Bei hohen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit werden Schiffe zunehmend mit Kondensatoren und Meerwasserleitungen aus CuNi30Mn1Fe ausgerüstet.

CuNi30Mn1Fe wird als Rohrwerkstoff insbesondere im schnell strömenden Meerwasser verwendet.

Die Legierung **CuNi30Fe2Mn2** kommt u. a. für Saug- und Kühlleitungen für abrasive Flüssigkeiten, z. B. in Baggerschiffen, infrage.

CuNi30Cr (s. Tab. 21) ist eine Legierung für erhöhte Anforderungen an Festigkeit und Beständigkeit gegen Erosionskorrosion.

Die Kupfer-Nickel-Gusslegierungen **CuNi10Fe1Mn** und **CuNi30Fe2Mn2** werden wegen ihrer ausgezeichneten Beständigkeit gegenüber Meerwasser und anderen chloridhaltigen Lösungen bei gleichzeitiger mittlerer bis hoher Festigkeit und recht guter Schweißbarkeit für Pumpen und Ventile in Meerwasserkühlsystemen von Schiffen und Küstenkraftwerken, Meerwasserentsalzungsanlagen sowie in der chemischen Industrie verwendet (s. Tab. 20). In vielen Kühlkreisläufen, die mit Kupfer-Nickel-Knetlegierungen betrieben werden, dienen sie als Armaturenwerkstoffe. So ist es möglich, für diese Anlagen artverwandte Werkstoffe einzusetzen und damit eine hohe Sicherheit gegen Korrosion und eine galvanische Elementbildung zu erreichen. Die hochfesten Kupfer-Nickel-Gusslegierungen (s. Tab. 14) wurden insbesondere für marine Zwecke entwickelt (s. Tab. 21).

Werkstoffkennzeichen	Gruppe	Besondere Eigenschaften	Hinweise für die Anwendung
CuNi5Al4Mn2	Cu-Ni-Knetlegierungen	Aushärtbar, verschleißfest, amagnetisch, gut umformbar, hohe Warmfestigkeit, meerwasserbeständig	Rohrleitungen (Kondensatorrohre), stromführende Federn, Magnetschalter, Navigations- und Messinstrumente
CuNi30Cr		Aushärtbar, meereswasserbeständig, erosions- und kavitationsfest	Kondensatorrohre und -platten; Schiffbau, Entsalzungsanlagen
CuNi14Mn10Fe5-C	Cu-Ni-Gusslegierungen	Hohe Festigkeit, beständig gegen Meerwasser und chloridhaltige Lösungen	Armaturen für Schiffbau und Meertechnik
CuNi30Cr2Mn1-C		Wie G-CuNi14Mn10Fe5, jedoch mit höherer Festigkeit und aushärtbar	Wie G-CuNi14Mn10Fe5
CuNi30Be-C		Wie G-CuNi30Cr2Mn1	Wie G-CuNi14Mn10Fe5

Tabelle 21: Hinweise für Anwendungen für nicht genormte Kupfer-Nickel-Legierungen (s. Tab. 12 + 14)

Im **Schiffbau** und in **Hafenanlagen** sind eisenhaltige Kupfer-Nickel-Legierungen die bevorzugten Rohrwerkstoffe für Meerwasser-, Brackwasser- und Deckdampfleitungen. Ferner werden sie für Ansaugstutzen, Schiffswellen, Ringe, Scheiben und Muttern (Abb. 32), für Hydraulikanlagen, für Platten, Böden und Rohre von Wärmeübertragern und Kondensatoren verwendet. **Ventile, Pumpenkörper; Armaturen, Flansche** (Abb. 30), Fittings und Pressverbinder (Abb. 33) und Beschläge aus Kupfer-Nickel-Legierungen haben sich wegen ihrer Meerwasserbeständigkeit im gesamten Schiffbau (auf Handels-, Fähr-, Personen-, Kriegsschiffen und Tankern) bestens bewährt. Kupfer-Nickel-Legierungen dienen außerdem als Werkstoffe für Löscheinleitungen, Rettungsbootauskleidungen usw.

Das bewährte Betriebsverhalten von Kupfer-Nickel-Rohrleitungen auf Schiffen und anderen Marineeinrichtungen hat dazu geführt, dass diese Legierungen neuerdings auch in der **Offshore**-Technik verstärkte Anwendung finden. Abbildung 34 zeigt Seewasser-Rohrleitungssysteme auf einer Offshore-Plattform.

Bleche aus CuNi10Fe1Mn bieten sich wegen ihrer bewuchsverhindernden Eigenschaften und guten Beständigkeit an der Wasser-Luft-Zone für Schiffs-Außenhautverkleidungen (Abb. 35) an. Während mit der Einsatzzeit die Rauigkeit auf Stahlblechen größer wird, nimmt sie auf **CuNi10Fe1Mn**-Blechen eher noch ab. Durch die Verhinderung von Bewuchs und die zunehmende Glätte der Außenhaut der Schiffe lassen sich bei gleicher Geschwindigkeit erhebliche Mengen an Brennstoff einsparen und die Wartungskosten senken. So hat sich dann auch die Bekleidung der Plattformbeine aus CuNi10Fe1Mn zur Vermeidung der Korrosion und des Bewuchses als eine hervorragende Maßnahme erwiesen [21, 22].

Im **allgemeinen Apparate-, Kraftwerks- und Wärmeübertragerbau** sind Kupfer-Nickel-Legierungen in Form von Blechen, Rohren, auch Rippenrohren und Sickenrohren (Abb. 36), Press- und Schmiedestücken sowie Gussstücken hervorragende Werkstoffe für Tieftemperaturbehälter und Überhitzer, für Kälte-, Hochdruck- und Dampfkesselarmaturen, für Kondensatorrohre und -platten in

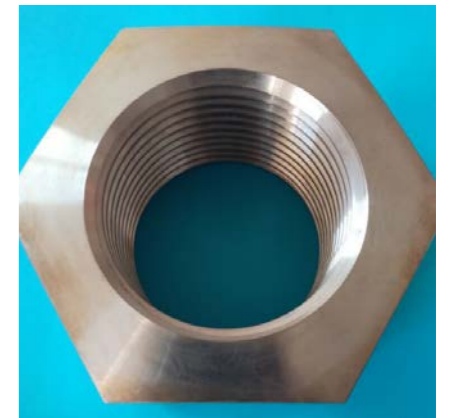


Abbildung 32: Mutter aus CuNi14Al3 (amagnetisch)

Kraftanlagen und Ölraffinerien, für Muttern, Pumpenteile, Heißdampfventile sowie für Wärmeübertragerrohre und -platten. Eine weitere Anwendung für Wärmeübertragerrohre aus CuNi10Fe1Mn sind die stationären Heiztechniken und Schwimmbadheizungen, welche in i. d. R. gasbefeuert sind.

In **Meerwasser-Entsalzungsanlagen** sind Kupfer-Nickel-Legierungen für Verdampferrohre und andere Teile sowie in Form von dünnen aufgepunkteten Blechen bei den Wasserkammern die gegebenen Werkstoffe (Abb. 37 bis 40).

Der **Maschinenbau** verwendet eisenhaltige Kupfer-Nickel-Legierungen ebenfalls für Wärmeübertrager, Dampfkondensatoren, Luft- und Ölkühler. Speisewasservorwärmer, Hochdrucküberhitzer, Meerwasserverdampfer sowie für Vorwärmer und Überhitzer in Kraftwerken, als nicht genormte Guss- und Knetwerkstoffe mit höheren Eisengehalten und anderen Zusätzen für Turbinenschaukeln (5–8 % Fe), Schnecken- und Getrieberäder (u. a. mit Al-Zusätzen), Lote für hochprozentige Chromstähle (ca. 10 % Ni + 5 % Fe, Rest Cu), Werkstoffe für Permanentmagnete [ca. 20 % Ni + 20 % Fe, Rest Cu (s. 2.1)] usw.

Im **Automobil- und Flugzeugbau** (Abb. 41) werden Ladeluft- und Ölkühler sowie Wabenkühler aus eisenhaltigen Kupfer-Nickel-Legierungen eingesetzt. Einige Automobilhersteller setzen serienmäßig korrosionsbeständige Rohre aus CuNi10Fe1Mn für Automobilbremsleitungen ein. Außerdem sind Nachrüstätze aus CuNi10Fe1Mn für verschiedene Automobiltypen auf dem Markt erhältlich. Die Lebensdauer von Bremsleitungen aus CuNi10Fe1Mn übersteigt im Allgemeinen die zu erwartende Lebensdauer des Kraftfahrzeugs.

Die **chemische Industrie**, in der sich genormte und nicht genormte, eisen- und manganhaltige Kupfer-Nickel-Legierungen ebenfalls immer mehr durchsetzen, benötigt aus



Abbildung 33: Fittings (links) und Rohrleitungssysteme mit Pressverbinder (rechts) aus CuNi10Fe1Mn für die Marine- und Offshore-Technik



Abbildung 34: (DKI A 4971) Seewasser-Rohrleitungssysteme aus CuNi10Fe1Mn auf der Plattform Tartan A



Abbildung 35(a + b): (DKI A 4893 und 4897) Schiffsrumpf aus CuNi10Fe1Mn-plattierten Blechen vor dem Stapellauf (a) und nach 2,5 Monaten Einsatz im Adriatischen Meer (b)

Kupfer-Nickel-Legierungen Bleche, Rohre und Gussteile in Erdöl-Raffinationsanlagen, für Absperrschieber, Ventile, Ventilkörpersitze, -deckel, -schäfte und -ringe sowie andere hoch belastete korrosions- und verschleißbeanspruchte Absperrorgane, für Pumpenkörper, -laufräder sowie für Anlaufscheiben, für Leitungsrohre bei Salz- und sonstigen aggressiven Lösungen, für Wärmeübertrager (Rohre, Rohrböden und Einbauten), für Behälter und Bottiche, Mischer und Pressen, Autoklaven, Destillationsgeräte und -armaturen, Behälter und Leitungen für Kühlaggregate, für Rührwerke (Behälter, Wellen, Verteilerflügel und sonstige Einzelteile) sowie für viele andere Geräte.

Papierfabriken, Druckereiwesen und Textilindustrie bedienen sich der Kupfer-Nickel-Legierungen in Form von Behältern, Rohren und Rohrarmaturen für Breie und Flüssigkeiten, für korrosionsfeste Guss- und Schmiedeteile, Walzen für die Papierverarbeitung usw.

In der **Nahrungsmittelindustrie** werden Kupfer-Nickel-Legierungen in besonders hoch beanspruchten Mehrstufenverdampfern, in Zuckerraffinerien, ferner für Speisewassererhitzer und Rührkessel, in Leitungen und Apparaten für die Nahrungsmittelverpackung, -förderung und -verarbeitung, für Fruchtsaftfilter, -siebe, -mischer und -pressen sowie für Rohrleitungen aller Art verwendet.



Abbildung 36: Rippenrohre aus CuNi10Fe1Mn für Wärmeübertrager, die mit Seewasser, Poolwasser oder Brunnenwasser betrieben werden



Abbildung 37: Verdampferanlage für die Frischwassererzeugung (500 m³/Tag). Kondensatorrohre, Rohre des Enderhitzers, Trennwände, Gehäuse, Destillatwannen; alle Seewasser führenden Leitungen und andere wichtige Teile des Verdampfers bestehen aus CuNi10Fe1Mn

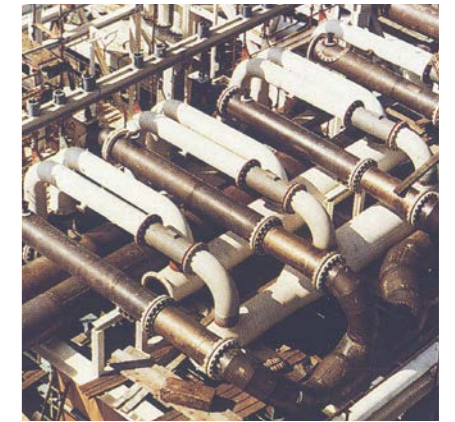


Abbildung 39: (DKI A 4974) Seewasserkühlrohrleitungen aus CuNi10Fe1Mn für die TCP2-Kompressionsanlage aus „Frigg-Feld“



Abbildung 38: (DKI A 1226) Meerwasserentsalzungsanlage in Jeddah (Saudi Arabien) mit einer Leistung von 10 X 500 m³ = 5000 m³/Tag. Alle Seewasser führenden Rohrleitungen, Kondensatoren, Trennwände, Rohre des Enderhitzers, Gehäuse, Destillatwannen und andere wichtige Teile des Verdampfers bestehen aus CuNi10Fe1Mn



Abbildung 40: Seewassergroßfilter DN700 aus CuNi10Fe1,6Mn für eine Megayacht



Abbildung 41: Kühlung für Flugzeug-Triebwerke

Literatur

[1] Legierungen des Kupfers mit Zinn, Nickel, Blei und anderen Metallen (Fachbuch). Deutsches Kupferinstitut, Berlin 1965

[2] https://www.wickeder-group.de/fileadmin/Data/Draht_d.pdf

[3] Ernst Brunhuber: Guss aus Kupferlegierungen: Casting copper-base alloys. Fachverlag Schiele & Schoen, 1986

[4] F. Pawlek: Metallhüttenkunde, Walter de Gruyter, Berlin – New York 1983

[5] E.A. Brandes: Smithells Metals Reference Book, Sixth Edition, Butterworth & Co 1983

[6] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Fifth Edition, Weinheim 1986

[7] Werkstoff-Handbuch Nichteisenmetalle. Teil III Cu. VDI-Verlag Düsseldorf 1960

[8] K.E. Volk und H. Holetzko: Nickel-Kupfer-Legierungen – Knetlegierungen mit weniger als 50 % Ni. In Landolt-Börnstein, „Zahlenwerte und Funktionen“. IV. Bd., 2. Teil, Bandteil b, S. 398/412, Springer-Verlag, Berlin 1964

[9] Kupfer-Nickel-Legierungen. Nickel-Informationsbüro GmbH, Düsseldorf 1964

[10] F. Richter: Physikalische Eigenschaften von CuNi10Fe1Mn und CuNi30Mn1Fe unter besonderer Berücksichtigung des Ausscheidungsverhaltens. Z. Werkstofftechn. 17 (1986), S. 273-280

[11] K. Dies: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik. Springer-Verlag, Berlin 1967

[12] Kupferwerkstoffe. Wieland-Werke AG Metallwerke Ulm, 1986

[13] B. Weldon, E. Weisner: Eigenschaften und Anwendungen von Kupfer-Nickel-Gusslegierungen. Schiff und Hafen 25 (1973), S. 785-791

[14] C.H. Thornton, S. Harper und J.E. Bowers: A critical survey of available high temperature mechanical property data for copper and copper alloys – Inera Monograph XII, The Metallurgy of Copper, New York 1983

[15] Copper Data Sheet No K2, K5-K7, Deutsches Kupferinstitut, Berlin 1972

[16] Metals Handbook, 9th Edition, ASM, Metals Park, Ohio 1981

[17] J.P. Chubb, J. Billingham u.a.: Effect of alloying and residual elements on strength and hot ductility of cast cupro-nickel. J. Metals, March 1978, S. 20-25

[18] Langer, M., Friedrich, S.: Vermeidung der Trockenrissigkeit von im Meerwasser gebildeten schützenden Deckschichten auf Kupfer-Nickel-Legierungen

[19] N. Larché, D. Thierry, T. Lang: Internal Corrosion of Copper-Nickel alloy tubes 90/10 and 70/30 in Chlorinated Seawater for Shell and Tube Heat Exchangers, ID NACE-2019-13338, NACE International

[20] C. Kapsalis, B. Sagebiel: Kupfer-Nickel-Legierungen und ihre Anwendungen in maritimer Umgebung, KME Germany GmbH & Co. KG, Osnabrück

[21] Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen. Informationsdruck i. 18, Deutsches Kupferinstitut, 2010

[22] Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen. Informationsdruck i. 12, Deutsches Kupferinstitut, 2009

[23] Guide to the welding of copper-nickel alloys. INCO Europe Ltd. 1979

[24] F. Richter und H. Lüdorff: HeiBrissanfähigkeit und magnetische Permeabilität beim Werkstoff CuNi10Fe. Schweißen und Schneiden 38 (1986) 2, S. 80 ff.

[25] Normenstelle Marine – VG 81245, Teil 3 (03.91): Nichteisen-Schwermetalle; Schweißzusätze und Hartlote, Auswahl

[26] Kupfer-Nickel-Bekleidungen für Offshore-Plattformen. Sonderdruck s.202, Deutsches Kupferinstitut und Copper Development Association, 1986

[27]. D.G. Melton: Review of Five-Year Exposure Data for CuNi-Sheathed Steel Piliings. OTC, Houston-Texas, May 6-9 (1991), pp 221-223

[28] VG 81245-3 – Nichteisen-Schwermetalle; Schweißzusätze und Hartlote; Auswahl, 1991

[29] R. Francis, Materials Performance, Vol. 21, No. 8, 1982

[30] J. W. Oldfield, G. Swales, B. Todd, Corrosion of Metals in Deaerated Seawater, Second Middle East Corrosion Conference, Bahrain, BSE-NACE, 1981

[31] R. Bender, P. Drodten, Corrosion Handbook, Seawater, G. Kreysa, M. Schütze (Edited by.), Copyright © 2004 DECHEMA e. V., Society for Chemical Engineering and Biotechnology, Frankfurt (Main), Germany

[32] R. W. Ross, CORROSION/77, NACE International, Houston, TX, 1977, Paper 94

[33] B. Todd, Application of Copper Nickel Alloys in Marine Systems, Copper Nickel Alloys in Desalination Systems, CDA Inc. Seminar Technical Report 7044 – 1919

[34] M. Pötzschke, Grundlegende korrosionschemische Eigenschaften von Kupferwerkstoffen, Deutsches Kupfer-Institut, DKI Sonderdruck, 1982

[35] T. S. Lee, Pretreatment of Condenser Tubing for Enhanced Corrosion Resistance, Final Report INCRA Project 284, 1985

[36] L. E. Eiselstein, B. C. Syrett, S. S. Wing, R. D. Caligiuri, Corrosion Science, Vol. 23, No. 3, 1983

[37] J. P. Gudas, H. P. Hack, Sulfide Induced Corrosion of Copper-Nickel Alloys, CORROSION, Vol. 35, No. 67, 1979

[38] H. P. Hack, J. P. Gudas, Inhibition of Sulfide-Induced Corrosion by Clean Water Pre-exposure, DTNSRDC/SME-79-85, 1979

[39] B. Wallen, T. Anderson, Proc. Conf. 10th Scandinavian Corrosion Cong., Stockholm, Sweden, 1986

[40] E. Bardal, R. Johnsen, P.O. Gartland, CORROSION, Vol. 40, No. 12, 1984

Normen

Grundnormen

DIN CEN/TS 13388 Übersicht über Zusammensetzungen und Produkte

DIN EN 1172 Bleche und Bänder für das Bauwesen

DIN EN 12163 Stangen zur allgemeinen Verwendung

DIN EN 12164 Stangen für die spanende Bearbeitung

DIN EN 12165 Vormaterial für Schmiedestücke

DIN EN 12166 Drähte zur allgemeinen Verwendung

DIN EN 12167 Profile und Rechteckstangen zur allgemeinen Verwendung

DIN EN 12168 Hohlstangen für die spanende Bearbeitung

DIN EN 12288 Industriearmaturen - Schieber aus Kupferlegierungen

DIN EN 12420 Schmiedestücke

DIN EN 12449 Nahtlose Rundrohre zur allgemeinen Verwendung

DIN EN 12450 Nahtlose, runde Kapillarrohre aus Kupfer

DIN EN 12451 Nahtlose Rundrohre für Wärmeaustauscher

DIN EN 12452 Nahtlose, gewalzte Rippenrohre für Wärmeaustauscher

DIN EN 13148 Feuerverzinnete Bänder

DIN EN 13599 Platten, Bleche und Bänder aus Kupfer für die Anwendung in der Elektrotechnik

DIN EN 13601 Stangen und Drähte aus Kupfer für die allgemeine Anwendung in der Elektrotechnik

DIN EN 1412 Europäisches Werkstoffnummernsystem

DIN EN 14436 Elektrolytisch verzinnete Bänder

DIN EN 1652 Platten, Bleche, Bänder, Streifen und Ronden zur allgemeinen Verwendung

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

DIN EN 1654 Bänder für Federn und Steckverbinder

DIN EN 1758 Bänder für Systemträger

DIN EN 1982 Blockmetalle und Gussstücke

WL 2.1504 Luft- und Raumfahrt für CuNi14Al3

Verbindungsnormen

DIN EN 29453 Weichlote

DIN EN 1707-100 Weichlote

DIN EN 29454-1 Flussmittel zum Weichlöten

DIN EN 1045 Flussmittel zum Hartlöten

DIN EN ISO 17672 Hartlote

DIN EN ISO 24373 Schweißzusätze

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

Weitere Normen (wichtige Normen für Meeres- und Offshoretechnik))

DIN 86019, 2006-02 Nahtlose Rohre aus CuNi10Fe1,6Mn für Rohrleitungen, Maße für Standard- und Präzisionsrohre

DIN 85004-2, 2006-03 Rohrleitungen aus Kupfer-Nickel-Legierungen, Teil 2: Grundlagen für Konstruktion und Fertigung, Prüfung 500

DIN 85387-2, 2019-09 Schiffe und Meerestechnik - Lose Flansche und Vorschweißbunde der sehr leichten Reihe - Teil 2: Vorschweißbunde aus CuNi10Fe1,6Mn, DN 32 bis DN 50, PN bis 25, DN 65 bis DN 125, PN bis 10

WL 2.1972, 2018-12 Kupfer-Nickel-Knetlegierung - CuNi10Fe1,6Mn - Rohre, Stangen, Schmiedestücke

WL 2.1, 2018-12 Werkstoff-Handbuch der Wehrtechnik - Teil-Übersicht - Kupferlegierungen

DIN 86086, 2018-11 Formstücke zum Einschweißen in Rohrleitungen aus Kupfer-Nickel-Legierungen - Technische Lieferbedingungen

DIN 86028, 2018-10 Vorschweißbunde aus CuNi10Fe1,6Mn - Technische Lieferbedingungen

VG 85353-1, 2018-06 Lose Flansche und Bördel für Rohre aus Kupfer-Nickel-Legierungen - Teil 1: Bördel DN 32 bis DN 250; Text Deutsch und Englisch

VG 85353-3, 2018-06 Lose Flansche und Bördel für Rohre aus Kupfer-Nickel-Legierungen - Teil 3: Vorschweißbördel DN 32 bis DN 250; Text Deutsch und Englisch

DIN 86037-1/2/3, 2017-12 Lose Flansche und Vorschweißbunde für Rohre aus Kupfer-Nickel-Legierungen - Teil 1: Zusammenstellung / Teil 2: Vorschweißbunde / Teil 3: Lose Flansche

WL 2.0880, 2017-06 Kupfer-Nickel-Knetlegierung - CuNi17Mn5Al2Fe - Stangen

ISO 18154, 2017-03 Schiffe und Meerestechnik - Sicherheitsventile für Ladetanks von LNG-Tankern - Konstruktions- und Prüfanforderungen

DIN 17471 Widerstandslegierungen; Eigenschaften

DIN 17470 Heizeleiterlegierungen; Technische Lieferbedingungen für Rund- und Flachdrähte

Impressum

Herausgeber:

Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e. V.

Heinrichstraße 24
40239 Düsseldorf

Tel.: +49 211 239469-0
Fax: +49 211 239469-10

info@kupferinstitut.de
www.kupferinstitut.de

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

Bildnachweise:

Wieland-Eucaro GmbH, Bremen
ZOLLERN GmbH & Co. KG, Sigmaringendorf
KME Germany GmbH, Osnabrück
Viega Technology GmbH & Co. KG

Überarbeitet durch:

Marc Albert
Dr. Uwe Hofmann
Christos Kapsalis
Jens Kästner
Maik Macziek
Dr. Ladji Tikana
Uwe M. Tomaschek



**Deutsches
Kupferinstitut**
Copper Alliance

**Deutsches Kupferinstitut
Berufsverband e. V.**

Heinrichstraße 24
40239 Düsseldorf

Tel.: +49 211 239469-0
Fax: +49 211 239469-10

info@kupferinstitut.de
www.kupferinstitut.de