DKI **INFORMATIONSDRUCK**

LÖTEN VON KUPFER UND KUPFER-LEGIERUNGEN

Herausgeber: Deutsches Kupfer-Institut, Auskunfts- und Beratungsstelle für die Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen. Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf,
Telefon (0211) 4796300, Telefax (0211) 4796310
Homepage: http://www.kupfer.org
E-Mail: info@kupferinstitut.de

Bestell-Nr. i. 003 **06/99**

1 Einführung

1.1 Geschichtliches
1.2 Allgemeines zum Löten

2 Lote, Flußmittel, Lötatmosphären

2.1 Weichlote und Weichlötflußmittel
2.1.1 Weichlote
2.1.2 Flußmittel zum Weichlöten

2.2 Hartlote und Hartlötflußmittel
2.2.1 Hartlote
2.2.2 Flußmittel zum Hartlöten

3 Lötverfahren

4 Allgemeine Regeln und Lötstellengestaltung

4.1 Allgemeine Regeln
4.2 Gestaltung von Lötstellen

5 Löten von Kupfer und Kupferlegierungen

5.1 Reines Kupfer
5.1.1 Weichlöten
5.1.2 Hartlöten
5.1.3 Anwendungsbeispiele

5.2 Niedriglegierte Kupferwerkstoffe
5.2.1 Kaltverfestigende Legierungen
5.2.2 Aushärtbare Legierungen

5.3 Kupfer-Zink-Legierungen
5.3.1 Weichlöten
5.3.2 Hartlöten
5.3.3 Anwendungsbeispiele

5.4 Kupfer-Zinn-Legierungen
5.4.1 Weichlöten
5.4.2 Hartlöten

5.5 Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen
5.5.1 Weichlöten
5.5.2 Hartlöten

5.6 Kupfer-Nickel-Legierungen
5.6.1 Weichlöten
5.6.2 Hartlöten

5.7 Kupfer-Aluminium-Legierungen
5.7.1 Weichlöten
5.7.2 Hartlöten

5.8 Kupfer-Zinn-Zink-Gußlegierungen

5.9 Kupfer-Blei-Zinn-Gußlegierungen

6 Löten von Kupferwerkstoffen untereinander und mit anderen Werkstoffen

Literatur
Normen
Bildnachweis

Einführung

Geschichtliches

Die Bekanntschaft des Menschen mit den Kupferwerkstoffen reicht weit zurück, das Bedürfnis nach technischer Handhabe, sie zu verbinden, dürfte vermutlich genauso alt sein. Entsprechend hatte man unter Verwendung von Mischungen aus Zinn, Blei und anderen Metallen relativ früh Möglichkeiten zum Weich- und Hartlöten entwickelt [1].
So lassen die ältesten Funde von Gebrauchsgegenständen und Schmuck mit Lötstellen, die aus sumerischen Königsgräbern stammen, erkennen, daß dieses thermische Fügeverfahren bereits um 3200 v. Chr. einen hohen Stand erreicht hatte. Andere Funde belegen, daß schon um 3000 v. Chr. auch im alten Ägypten das Löten bekannt war. Um 2000 v. Chr. wurden in Ägypten u.a. Bronze als Lot und Alaun (Kalium-Aluminium-Sulfat), der im Lande gefunden wurde, als Flußmittel benutzt. Präzise Angaben über die hochentwickelte Löttechnik in der Römerzeit vermittelt Plinius, der zum Löten von Bronze und Silber bleireiche und bleiarme Zinnlote, dagegen zum Löten von Kupfer bleireiches Lot empfiehlt; als Flußmittel wird Harz vorgeschlagen. Selbst der Lötkolben war im Altertum ebenfalls bekannt [2, 3].
Seitdem hat sich die Löttechnik ständig weiterentwickelt und schließlich ihren jetzigen hohen Stand erreicht. Hervorzuheben ist insbesondere die enorme Entwicklung und Spezialisierung dieser Technologie in den letzten Jahrzehnten. Trotz großer Fortschritte der Schweißtechnik hat das Löten seinerseits kontinuierlich an Bedeutung gewonnen.

Allgemeines zum Löten

Das Löten unterscheidet sich vom Schweißen durch die Verwendung eines niedriger als die Grundwerkstoffe schmelzenden Zusatzes (Lotes) und damit durch den Verzicht auf ein Aufschmelzen der metallischen Grundwerkstoffe. Daher können Grundwerkstoff und Lot unterschiedliche chemische Zusammensetzungen aufweisen.
Nach DIN 8505 ist Löten ein „thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen und Beschichten von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes (Schmelzlöten) oder durch Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten) entsteht“. Dabei wird die Schmelztemperatur der Grundwerkstoffe nicht erreicht. Die jeweilige, beim Löten anzuwendende Temperatur richtet sich nach der Schmelztemperatur des benutzten Lotes.
Im folgenden sollen von den zahlreichen löttechnischen Begriffen jene erläutert werden, die im Text oder in der Lötpraxis häufiger vorkommen; Definition bzw. Erklärung anderer Termini erfolgt an betreffender Stelle.

Arbeitstemperatur: Niedrigste Oberflächentemperatur an der Lötstelle, bei der das Lot benetzt oder durch Grenzflächendiffusion sich eine schmelzflüssige Phase bildet. Beim Anwenden geeigneter Flußmittel ist sie eine vom Lot abhängige Konstante. Hierzu muß das Lot nicht immer völlig geschmolzen sein, d.h., daß die Arbeitstemperatur im Schmelzbereich des Lotes liegen kann. Sie ist jedoch immer höher als die Solidustemperatur (s.u.) des Lotes.

Löttemperatur: Die beim Löten an der Lötstelle tatsächlich herrschende Temperatur. Sie liegt oberhalb der Arbeitstemperatur. Oberhalb der sog. maximalen Löttemperatur werden das Lot oder das Werkstück oder das Flußmittel beeinträchtigt bzw. geschädigt.

Solidus- bzw. Liquidustemperatur: Grenztemperatur, unterhalb der keine Schmelze bzw. oberhalb der nur Schmelze vorliegt.

Lötnaht: Umfaßt den mit Lötgut gefüllten Spalt sowie die Diffusionsschichten (Übergangsphasen) beidseitig des Lötguts.

Lötteil: Besteht mindestens aus 2 Einzelteilen, die durch eine Lötnaht zu einem Teil verbunden werden. Das sog. Bauteil bedeutet dann ein Fügeteil, das aus einem Lötteil oder einer bzw. mehreren Lötgruppen (Gruppen, die durch Löten von Lötteilen entstehen) besteht.

Lötgut[1)]**:** Das im Ergebnis des Lötens umgeschmolzene und in seiner chemischen Zusammensetzung veränderte Lot [17].

Lötbarkeit: Sie beschreibt die Eigenschaft eines Bauteils, durch Löten so gefügt werden zu können, daß es die gestellten Forderungen erfüllt. Sie berücksichtigt die Löteignung, die Lötmöglichkeit und die Lötsicherheit. Die Löteignung ist um so besser, je weniger die werkstoffbedingten Faktoren als Vorbedingung für die Lötfertigung einer Lötkonstruktion berücksichtigt werden müssen. Die Lötmöglichkeit ist eine Fertigungseigenschaft und um so besser, je weniger bei der Konstruktion die fertigungsrelevanten Merkmale bei der gewählten Werkstoffkombination zu bedenken sind. Die Lötsicherheit ist eine Konstruktionseigenschaft und um so größer, je weniger die konstruktionsbedingten Faktoren bei der Wahl der Werkstoffkombination sowie der Lötfertigungsbedingungen und je weniger die Anforderungen an das Bauteil im Einsatz zu beachten sind. Vereinfacht lassen sich die die Lötbarkeit bestimmenden Einflußgrößen auf den Lötprozeß (Verfahren, Lötparameter), den lötgerechten Werkstoff (Grundwerkstoff, Lot, Flußmittel, Lötatmosphäre) und lötgerechte Konstruktion reduzieren [4].

Bezüglich der hier relevanten DIN-Normen ist festzuhalten, daß zum Zeitpunkt der Drucklegung entsprechende europäische Normen erarbeitet und als DIN EN in das deutsche Normenwerk übernommen werden bzw. bereits wurden. Daher werden in dieser Schrift die Normen entsprechend dem aktuellen Stand herangezogen bzw. bei Werkstoffangaben teilweise beide Formen angegeben.

[1)] Dieser in der DIN nicht genormte, aber in der Literatur definierte Begriff stellt die beste Übersetzung des englischen Begriffes „braze metal“ dar, der im Zuge der EN Verwendung finden wird.

Lote, Flußmittel, Lötatmosphären

Lote sind i.a. zum Löten geeignete Zusatzwerkstoffe, die im Sonderfall während des Lötens durch Diffusion aus den Komponenten zweier verschiedener Grundwerkstoffe entstehen können. Sie können in Form von Draht, Stab, Blech, Band, Stangen, Pulver, Schnitzeln, Körnern, Paste oder Formteilen geliefert werden. Die Lieferform der Lote kann in ausgewählten Fällen auch ihre Querschnittsbeschaffenheit (z.B. bei Plattierungen, flußmittelgefüllten oder beschichteten Drähten und Stäben) und Konsistenz (bei Pasten) einschließen [4].
Die charakteristischen Eigenschaften der Lote sind ihre Schmelzbereiche (die zwischen Solidus- und Liquidustemperatur liegenden Bereiche) sowie ihre Arbeitstemperaturen, die von der chemischen Zusammensetzung bestimmt werden. Lote mit einer Liquidustemperatur von unterhalb 450 °C werden **Weichlote** genannt. Liquidustemperaturen der **Hartlote** liegen demgemäß oberhalb 450 °C. **Hochtemperaturlote** stellen einen Sonderfall der Hartlote dar; sie haben eine Liquidustemperatur höher als 900 °C und sind zum flußmittelfreien Löten unter Luftabschluß (Vakuum, Schutzgas) geeignet. Auch die Einteilung der Lötverfahren (s. Kap. 3) nach der Liquidustemperatur erfolgt je nach verwendetem Lot: Weich-, Hart- und Hoch-temperaturlöten. Von besonderem Inter-esse für Kupferwerkstoffe sind hiervon Weich- und Hartlöten.
Flußmittel sind nichtmetallische Stoffe, die für die Benetzung der Grundwerkstoffe mit Lot sorgen. Unter der Voraussetzung, daß die Lötflächen ausreichend vorgereinigt sind, lösen die Flußmittel noch vorhandene Oberflächenfilme auf und verhindern ihre Neubildung, so daß das Lot die Lötfläche benetzen kann. Die Praxis verwendet die Flußmittel als Pulver, Paste und als Tinktur (flüssige Lösung). Kombinationen von Lot und Flußmittel sind als Gemische von Lot- und Flußmittelpulver, Lotpasten oder Röhrenlot mit Flußmittelseele bzw. Lotstab mit Flußmittelmantel gebräuchlich.

Eine charakteristische Eigenschaft der Flußmittel ist deren **Wirktemperaturbereich**. Das ist der Temperaturbereich, in dem die Flußmittel die vorhandenen Oxidfilme zerstören und so das nachfolgende Benetzen des Werkstücks durch das Lot erlauben. Die Wirkung des Flußmittels setzt bei der unteren Wirktemperatur ein und endet bei der oberen Wirktemperatur. Die **Wirkzeit** ist die Zeitspanne, über die ein Flußmittel während des Lötens wirksam bleibt; sie ist verfahrensabhängig. Die Wirkzeit geschmolzener Flußmittel ist begrenzt, was bei Verfahren mit langen Lötzeiten beachtet werden muß.
Für die sachgemäße Durchführung der Lötung müssen Wirktemperatur des Flußmittels und Schmelzbereich (Arbeitstemperatur) des Lotes aufeinander abgestimmt sein. In **Bild 1** ist der Vorgang der Verdrän-gung von Flußmittel durch geschmolzenes Weichlot schematisch dargestellt. Ein Verzicht auf die Flußmittel ist möglich, wenn an der Luft selbstfließende Lote zum Einsatz kommen oder der Lötprozeß mit geeigneten Loten unter Vakuum bzw. Schutzgas durchgeführt wird. Werden die Lötflächen unmittelbar vor dem Fügen vorbehandelt und beim Löten hohe Erwär-mungsgeschwindigkeiten realisiert oder aber Maßnahmen zur Zerstörung der Oxidschichten während des Lötens getroffen, kann auch flußmittelfrei gelötet werden.
Lötatmosphären haben die Aufgabe, Grundwerkstoff und Lotoberfläche beim Aufheizen vor Oxidation zu schützen und gegebenenfalls vorhandene Oxidfilme zu reduzieren. Schutzgase bzw. reduzierende Gase (Reaktionsgase) beseitigen die auf Grundwerkstoffen und Lot vorhandenen Oxide durch chemische Reaktion ohne Verwendung eines Flußmittels. Dagegen werden für das Löten unter inertem Schutzgas oder Vakuum höhere Anforderungen an die Oberflächenreinheit gestellt. Allerdings liegt der Zersetzungsdruck von CuO in einem technisch erreichbaren Bereich, so daß die Entfernung solcher Schichten unter Vakuum möglich ist. Auch die Lötatmosphären haben einen charakteristischen Wirktemperaturbereich.

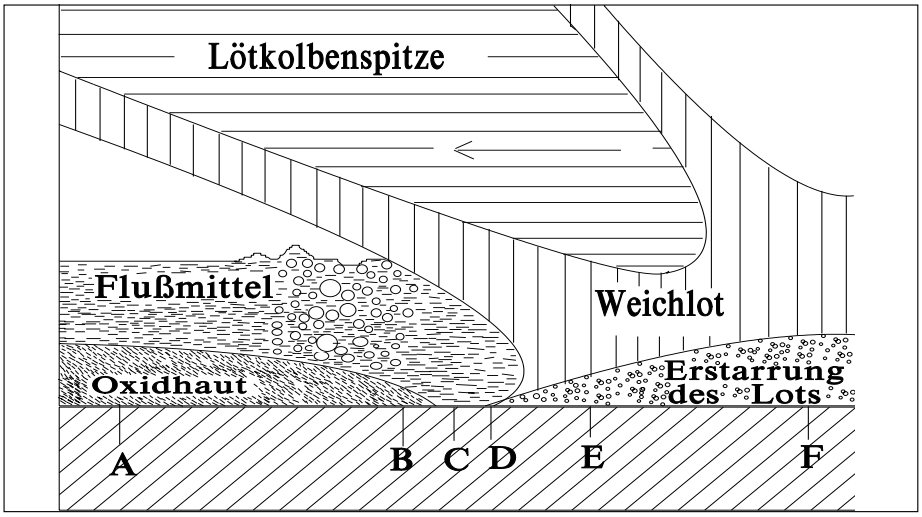

Bild 1 (DKI A 1286) Schematische Darstellung der Verdrängung von Flußmittel durch geschmolzenes Lot [3]

A: Flußmittellösung liegt auf der oxidierten Metalloberfläche;
B: Kochende Flußmittellösung entfernt den Oxidfilm (z.B. als Chlorid)
C: Blanke Metalloberfläche in Berührung mit dem flüssigen Flußmittel
D: Flüssiges Lot tritt anstelle des geschmolzenen Flußmittels
E: Lot reagiert mit dem Grundmetall
F: Lot erstarrt

Weichlote und Weichlotflußmittel

Weichlote

Die wichtigsten Weichlote für Kupferwerkstoffe sind antimonfreie bzw. -arme sowie antimonhaltige Zinn-Blei- bzw. Blei-Zinn-Lote nach DIN EN 29 453 und E DIN 1707 Teil 100, allgemein als „Lötzinn“ bekannt. **Bild 2** zeigt das Zustandsschaubild Blei-Zinn, in dem die Lage diverser genormter Weichlotlegierungen angegeben ist. Es wurden zum besseren Verständnis auch einige antimonarme und antimonhaltige Weichlote, wie das Weichlot S-Pb69 Sn30Sb1 (L-PbSn30Sb), eingezeichnet, die strenggenommen nicht zum Zustandsschaubild Blei-Zinn gehören. Die **Bilder 2 a-d** zeigen Gefügebilder von vier Weichloten, wobei Bild 2 c das charakteristische Streifengefüge des in etwa eutektischen Lotes bei 63 % Sn (Schmelzpunkt ca. 183°C) gut erkennen läßt.
Die Solidus- und die Liquidustemperatur der technischen Lote weichen aufgrund ihrer Verunreinigungen und zusätzlichen Legierungselemente z.T. um einige Grad Celsius von den Werten des Blei-Zinn-Zustandsdiagrammes ab. Das hat für die Löttemperatur kaum Bedeutung. Jedoch sind geringe Mengen der Verunreinigungs- bzw. Zusatzelemente schon von großem Einfluß auf das Fließvermögen und die Benetzungsfähigkeit des Lotes, auf die Lötgeschwindigkeit und auf die mechanischen Eigenschaften der Lötstelle. Dementsprechend hat sich eine Reihe von Lotlegierungen durchgesetzt, die für die verschiedenen Anwendungsgebiete geeignet sind. In **Tab. 1** ist eine Auswahl wiedergegeben. Während antimonfreie Weichlote vorwiegend Feinlötungen vorbehalten sind, kommen antimonarme und antimonhaltige Lote meist für Groblötungen infrage.
Außerdem werden zum Löten von Kupferwerkstoffen Zinn-Blei-Weichlote mit Kupfer-, Silber- und Phosphorzusatz nach E DIN 1707 Teil 100, sowie Sonderweichlote bzw. Weichlotlegierungen für andere als Zinn-Blei- und Zinn-Blei-Antimon-Legierungen nach E DIN 1707 Teil 100 und DIN EN 29 453 herangezogen. Die beiden letztgenannten Gruppen von Weichloten weisen oft höhere oder niedrigere Solidustemperaturen als die Weichlote in Tab. 1 auf.
Eine aus dieser Gruppe für Kupfer und Kupferlegierungen getroffene Auswahl ist in **Tab. 2** wiedergegeben. Zinn-Blei-Weichlote mit Kupfer-, Silber- oder Phosphorzusatz, aber auch Sonderweichlote mit Silberzusätzen finden hauptsächlich in Elektrotechnik und Elektronik Anwendung. Für Glas-Metall-Lötungen eignet sich das indiumhaltige Lot S-Sn50In50 (L-SnIn50). Blei- und antimonfreie Weichlote auf Zinnbasis S-Sn97Cu3 (L-SnCu3) sowie S-Sn96Ag4 bzw. S-Sn97Ag3 (L-SnAg5) haben sich in der Kupferrohrinstallation für Trinkwasserleitungen bestens bewährt.
Weichlote auf Zink- oder Cadmiumbasis werden in geringem Umfang eingesetzt. Bei Verwendung cadmiumhaltiger Weichlote sind die Bestimmungen in UVV-VBG (**U**nfall**v**erhütungs**v**orschriften-**V**orschriften

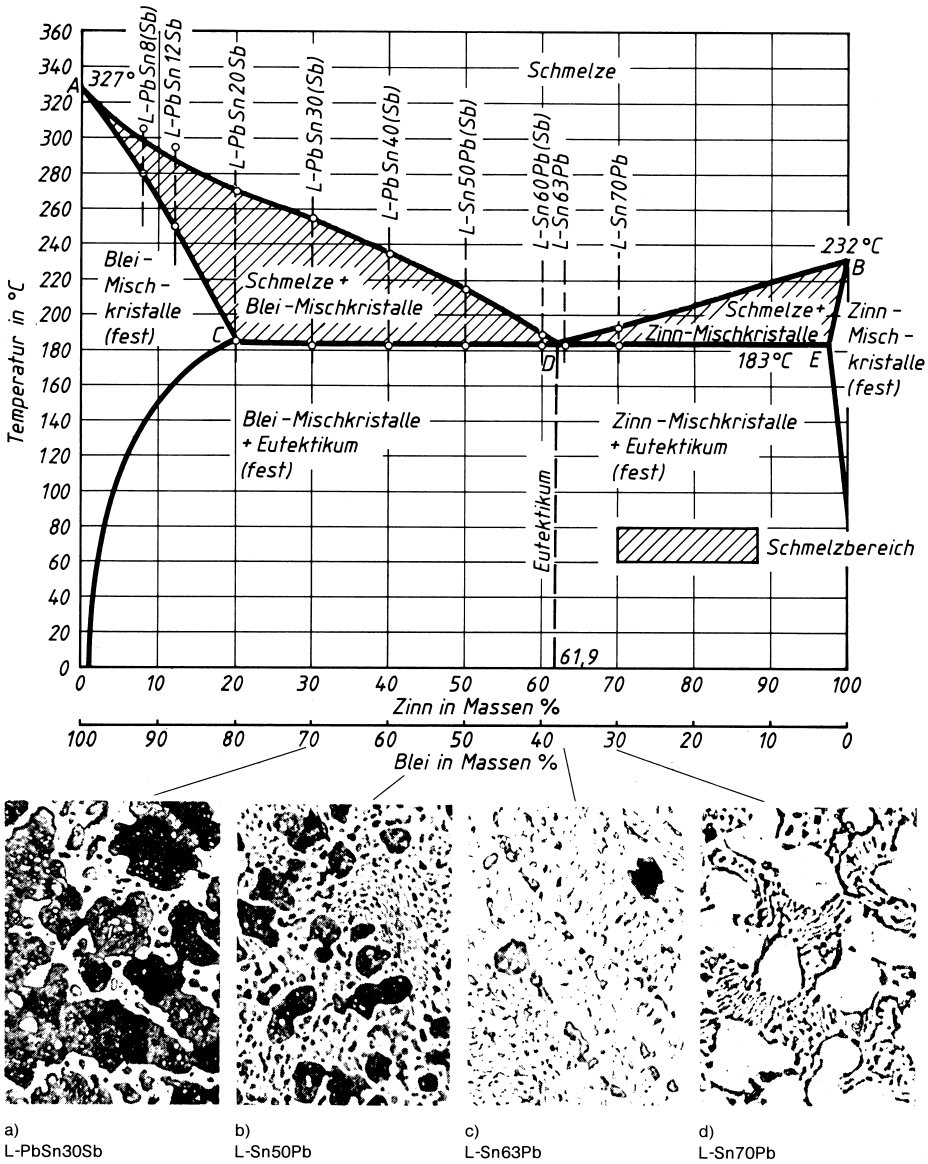

Bild 2 (DKI A 3972) Zustandsschaubild Blei-Zinn [3]. Darunter sind Mikrofügeaufnahmen von vier verschiedenen Weichloten wiedergegeben. Die schwarzen Flächen in a) und b) sind in das Eutektikum eingelagerte Bleimischkristalle; c) ist das Eutektikum und d) zeigt das Eutektikum als dunklere Grundmasse, darin eingebettet sind die hellen Zinnmischkristalle.

der **B**erufs**g**enossenschaft) zu beachten. Die Lote mit der höheren Arbeitstemperatur kommen zum Einsatz, wenn das Bauteil im späteren Gebrauch Temperaturen ausgesetzt wird, bei denen die Warmfestigkeit der Lötstellen aus üblichen Zinnloten nicht ausreicht. Soll dagegen die Löttemperatur, z.B. mit Rücksicht auf neben der Lötstelle liegende Isolierstoffe, möglichst niedrig sein oder aber steht eine Zweitlötung an, dann werden Lote mit der niedrigen Arbeitstemperatur eingesetzt.

Flußmittel zum Weichlöten

An die Flußmittel zum Weichlöten werden zwei sich widersprechende Forderungen gestellt. Die eine verlangt eine schnelle und gründliche Beseitigung der Oxidfilme, d.h. hohe Lötgeschwindigkeit mit entsprechend niedrigen Kosten. Flußmittel, die dieser Forderung genügen, bestehen im wesentlichen aus Zinkchlorid und Ammoniumchlorid. Ihre Rückstände können jedoch an der Lötstelle und ihrer Umgebung Korrosion hervorrufen, wenn sie nicht gründlich abgewaschen werden, was in der Praxis oft nicht durchführbar ist oder nicht durchgeführt wird. Daraus ergibt sich die Gegenforderung nach Flußmitteln, deren Reste mit Sicherheit keine Korrosionsgefahr darstellen. Diese Forderung wird vom Kolophonium erfüllt. Da Kolophonium aber wesentlich weniger wirksam ist als die genannten Chloride, gestattet es nur eine erheblich geringere Lötgeschwindigkeit, die sich jedoch durch Aktivierungszusätze zum Flußmittel erhöhen läßt [5].
Gemäß der genannten Forderungen wurden Flußmittel in der früheren DIN 8511, Teil 2, je nach Wirkung ihrer Rückstände unterteilt, die Korrosion hervorrufen (F-SW11 bis F-SW13) oder bedingt korrodierend wirken (F-SW21 bis F-SW28) oder aber nicht korrodierend sind (F-SW31 bis F-SW34).
Abweichend hiervon wurden die Flußmittel in der neuen DIN EN 29 454, Teil 1, nicht mehr nach der Wirkung der Flußmittelrückstände eingeteilt, sondern nach ihren chemischen Hauptbestandteilen. Der ent-

Tab.1 **Blei-Zinn**- und **Zinn-Blei-Weichlote** nach DIN EN 29 453 und E DIN 1707 Teil 100 für **Kupfer und Kupferlegierungen** (Auswahl)

Gruppe	Legierungskurzzeichen nach		Schmelztemperatur (Solidus, Liquidus) in °C	mittlere chemische Zusammensetzung [1])			bevorzugte Lötverfahren[2])				Einige Hinweise auf die Verwendung
	DIN EN 29 453 (alte DIN 1707) [3])	E DIN 1707 Teil 100		Sn	Pb	Sb	F	I	K	T	
Zinn-Blei-Legierungen	-	L-PbSn12Sb	250-295	12Sn	Rest	0,45Sb	x			x	Kühlerbau
	-	L-PbSn20Sb	186-270	20Sn	Rest	0,70Sb	x			x	
	S-Pb74Sn25Sb1 (L-PbSn25Sb)	-	185-263	25Sn	Rest	1,25Sb	x			x	Kühlerbau, Schmierlot
	S-Pb58Sn40Sb2 (L-PbSn40Sb)	-	185-231	40Sn	Rest	2,2Sb	x		x	x	Kühlerbau
	S-Pb92Sn8 (L-PbSn8(Sb))	-	280-305	8Sn	Rest	0,50Sb	x	x		x	Kühlerbau, Thermostate
	-	L-PbSn33(Sb)	183-242	33Sn	Rest	0,31Sb	x				Kabelmantel-Lötungen
	S-Pb55Sn45 (L-PbSn45(Sb))		183-226	45Sn	Rest	0,5Sb			x	x	Groblötungen
	S-Pb50Sn50Sb (L-Sn50Pb(Sb))	-	183-215	50Sn	Rest	0,12Sb	x		x	x	Feinlötungen, Klempnerarbeiten
	S-Sn60Pb40Sb (L-Sn60Pb(Sb))	-	183-190	60Sn	Rest	0,12Sb	x	x	x	x	Elektrotechnik, Feinlötungen
	-	L-PbSn40	183-235	40Sn	Rest		x		x	x	Metallwaren
	S-Pb50Sn50E (L-Sn50Pb)	-	183-215	50Sn	Rest		x		x	x	Elektrotechnik
	S-Sn60Pb40E (L-Sn60Pb)	-	183-190	60Sn	Rest		x	x	x	x	Elektrotechnik, gedruckte Schaltungen
	S-Sn63Pb37E (L-Sn63Pb)	-	183	63Sn	Rest		x	x	x	x	Elektrotechnik, Elektronik

[1]) Toleranzen in der Zusammensetzung, zulässige Beimengungen s. DIN EN 29 453 bzw. E DIN 1707 Teil 100
[2]) F = Flammlöten; I = Induktionslöten; K = Kolbenlöten; T = Tauchlöten (Lotbadlöten)
[3]) Die früher verwendeten Kurzzeichen von Lotwerkstoffen vergleichbarer Zusammensetzung nach der ungültigen DIN 1707

Tab. 2 **Sonderweichlote** nach DIN EN 29 453 und E DIN 1707 Teil 100 für **Kupfer und Kupferlegierungen** (Auswahl)

Gruppe	Legierungskurzzeichen nach DIN EN 29 453 (alte DIN 1707) [3]	Legierungskurzzeichen nach E DIN 1707 Teil 100	Schmelztemperatur (Solidus, Liquidus) in °C	mittlere chemische Zusammensetzung [1] Sn	Pb	Cu	bevorzugte Lötverfahren [2] F	I	K	T	Einige Hinweise auf die Verwendung
Weichlote mit Kupfer-zusatz	S-Sn50Pb49Cu1 (L-Sn50PbCu)	-	183-215	50	Rest	1,4			x		Elektrotechnik, Elektronik
	-	L-Sn60PbCu	183-190	60	Rest	0,15				x	Elektrotechnik, Elektronik
	S-Sn60Pb38Cu2 (L-Sn60PbCu2)	-	183-190	60	Rest	1,75			x	x	gedruckte Schaltungen
Weichlote mit Silber-zusatz				Sn	Pb	Ag					
	-	L-Sn50PbAg	178-210	50	Rest	3,5			x	x	Elektrotechnik,
	S-Sn60Pb36Ag4 (L-Sn60PbAg)	-	178-180	60	Rest	3,5		x	x	x	Elektronik,
	-	L-Sn63PbAg	178	63	Rest	1,4		x	x	x	gedruckte Schaltungen
Weichlote mit Phosphor-zusatz				Sn	Pb	P					
	-	L-Sn50PbP	183-215	50	Rest	0,0025				x	Elektronik, gedruckte
	-	L-Sn60PbP	183-190	60	Rest	0,0025				x	Schaltungen, insbesondere
	-	L-Sn63PbP	183	63	Rest	0,0025				x	beim Schlepp-, Schwall-
	-	L-Sn60PbCuP	183-190	60	Rest	0,0025 (Cu 0,15)				x	und Tauchlöten
Sonder-weichlote bzw. Weichlote für andere als Zinn-Blei und Zinn-Blei-Antimon-Legieungen	S-Sn50In50 (L-SnIn50)	-	117-125	50	0,05	Rest In	x		x		Glas-Metall-Lötungen
	S-Sn50Pb32Cd18 (L-SnPbCd18)	-	145	50	Rest	Cd 18	x	x	x	x	Fein- und Kabellötungen
	-	L-SnCd20	180-195	80	-	Cd 20		x	x	x	Elektrotechnik
	S-Sn96Ag4 (L-SnAg5)	-	221	Rest	0,10	Ag 3,75	x	x	x	x	Kupferrohr-Installation
	S-Sn97Ag3 (L-SnAg5)	-	221-230	Rest	0,10	Ag 3,25	x	x	x	x	Elektrotechnik
	S-Sn95Sb5 (L-SnSb5)	-	230-240	Rest	0,10	Sb 5	x		x	x	Kälte-Industrie
	S-Sn97Cu3 (L-SnCu3)	-	230-250	Rest	0,10	Cu 3	x	x	x	x	Kupferrohr-Installation, Metallwaren
				Ag	Cd	Zn					
	-	L-CdZnAg2	270-280	2	Rest	16	x		x		Elektrotechnik
	-	L-CdZnAg5	270-310	5	Rest	22	x		x		Elektromotoren
	-	L-CdZnAg10	270-380	10	Rest	22	x		x		
				Ag	Pb	andere					
	S-Pb98Ag2 (L-PbAg3)	-	304-305	2,5	Rest	Sn 0,25	x		x		Elektrotechnik, Elektromotoren
	S-Pb95Ag5 (L-PbAg5)	-	304-365	5,25	Rest	Sn 0,25	x		x		für hohe Betriebstemperaturen
	-	L-PbAg2Sn2	304-310	1,75	Rest	Sn 2,0	x		x		Elektrotechnik, Elektromotoren
	-	L-CdAg5	340-395	5	-	Rest Cd	x				für hohe Betriebstemperaturen

[1]) Toleranzen in der Zusammensetzung, zulässige Beimengungen s. DIN EN 29 453 bzw. E DIN 1707 Teil 100
[2]) F = Flammlöten; I = Induktionslöten; K = Kolbenlöten; T = Tauchlöten (Lotbadlöten)
[3]) Die früher verwendeten Kurzzeichen von Lotwerkstoffen vergleichbarer Zusammensetzung nach der ungültigen DIN 1707

Tab. 3a Einteilung von **Weichlötflußmitteln** gemäß ihren Hauptbestandteilen nach DIN EN 29 454 T. 1

Typ	Basis	Aktivierung	Zustand
1 Harz	**1** Kolophonium (Harz)		
	2 ohne Kolophonium (Harz)	**1** ohne Aktivator	**A** flüssig
2 organisch	**1** wasserlöslich	**2** mit Halogenen aktiviert[1)]	
	2 nicht wasserlöslich	**3** ohne Halogene aktiviert	
3 anorganisch	**1** Salze	**1** mit Ammoniumchlorid	**B** fest
		2 ohne Ammoniumchlorid	
	2 Säuren	**1** Phosphorsäure	
		2 andere Säure	**C** Paste
	3 alkalisch	**1** Amine und/oder Ammoniak	

[1)] Andere Aktivierungsmittel dürfen verwendet werden.

Tab. 3b **Gegenüberstellung der Kennzeichnungen** nach DIN EN 29 454 mit den früheren Bezeichnungen (vormals DIN 8511 T. 2) [16]

3.2.2.	3.1.1.	3.2.1	3.1.2.	2.1.3. 2.2.1. 2.2.3.	2.1.1. 2.1.3. 2.2.3.	2.1.2. 2.2.2.	1.1.2.	1.1.3.	1.2.2.	1.1.1.	1.2.3.	2.2.3.
F-SW11	F-SW12 F-SW21	F-SW13	F-SW22	F-SW23	F-SW24	F-SW25	F-SW26	F-SW27 F-SW32	F-SW28	F-SW31	F-SW33	F-SW34

sprechende Gruppenaufbau ist in **Tab. 3a** wiedergegeben. Danach wird z.B. ein mit Phosphorsäure aktiviertes anorganisches, als Paste geliefertes Flußmittel mit 3.2.1.C, ein nicht halogenhaltiges flüssiges Harz-Flußmittel mit 1.1.3.A gekennzeichnet. Zur Erleichterung des Umgangs mit den neuen Typ-Kurzzeichen, wurden in **Tab. 3b** die bisher üblichen Flußmitteltypen zum Weichlöten von Kupfer- und Kupferlegierungen denen nach DIN EN 29 454, Teil 1, gegenübergestellt, wobei die Angabe der Flußmittelart (flüssig, fest, pastenförmig) unberücksichtigt bleibt.

Grundsätzlich gibt es aber kein Flußmittel, das für sämtliche Grundwerkstoffe und Lote sowie für alle relevanten Arbeitsweisen verwendbar ist. Vielmehr müssen die Eigenschaften und die damit gekoppelte Zusammensetzung der Flußmittel dem Anwendungszweck angepaßt werden.

Steht ein besonderer Anwendungsfall an, dann sollten Entsorgungsprobleme, Korrosivität und mögliche Gesundheitsschädigungen sowie Sicherheitsaspekte sorgfältig überprüft werden, bevor die Auswahl für ein bestimmtes Flußmittel getroffen wird. Einzelheiten über die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Flußmitteltypen zum Weichlöten sind auch den Anweisungen der Flußmittellieferanten zu entnehmen.

Tab. 4 **Hartlote** (Auswahl) für **Kupfer und Kupferlegierungen** auf Kupferbasis

Bezeichnung nach			mittlere	Schmelz-		Arbeits-	Hinweise für die Verwendung		
DIN EN 1044[1)]	DIN EN ISO 3677	DIN 8513, Teil 1 und 2	Zusammensetzung [2)] Massenanteile in %	bereich in °C Sol.	Liq.	tempera-tur °in C	Grundwerkstoff	Form der Lötstelle	Art der Lot-zuführung
Kupfer-Zink-Hartlote									
CU301	B-Cu60Zn(Si)-875/895	L-CuZn40	60Cu; 0,2Si; Rest Zn	875	895	900	Kupfer und Kupferlegierungen mit Schmelztemp. über 950°C (Solidus)	Spalt u. Fuge[3)]	angesetzt u. eingelegt
CU304	B-Cu80Zn(Sn)(Si)(Mn)-870/890	L-CuZn39Sn	59Cu; 0,1Si; 1Sn; 0,6Mn; Rest Zn	870	890	900		Spalt u. Fuge	
-	-	L-CuZn46	54Cu; Rest Zn	880	890	890	Kupfer und Kupferlegierungen	Spalt	eingelegt
-	-	L-ZnCu42	42Cu; Rest Zn	835	845	845	vorzugsweise Neusilber		
Kupfer-Phosphor-Hartlote									
CP201	B-Cu92P-710	L-CuP8	8P; Rest Cu	710	710-750	710	vorzugsweise Kupfer, Rotguß, Kupfer-Zink-Legierungen Kupfer-Zinn-Legierungen	Spalt	angesetzt und eingelegt
CP202	B-Cu93P-710/820	L-CuP7	7,1P; Rest Cu	710	820	720			
CP203	B-Cu94P-710/890	L-CuP6	6,2P; Rest Cu	710	890	730			
Kupfer-Silber-Zink-(Cadmium)-Hartlote									
AG207	B-Cu48ZnAg(Si)-800/830	L-Ag12	12Ag; 48Cu; Rest Zn	800	830	830	Kupfer und Kupferlegierungen	Spalt	angesetzt u. eingelegt
AG208	B-Cu55ZnAg(Si)-820/870	L-Ag5	5Ag; 55Cu; Rest Zn	820	870	860		Spalt u. Fuge	
	-	L-Ag12Cd	12Ag; 7Cd; 50Cu; Rest Zn	620	825	800			angesetzt
Kupfer-Silber-Phosphor-Hartlote									
CP102	B-Cu80AgP-645/800	L-Ag15P	15Ag; 5P; Rest Cu	645	800	710	Kupfer, Rotguß, Kupfer-Zink-Legierungen Kupfer-Zinn-Legierungen	Spalt	angesetzt und eingelegt
CP104	B-Cu89PAg-645/815	L-Ag5P	5Ag; 6P; Rest Cu	645	815	710		Spalt u. Fuge	
CP105	B-Cu92PAg-645/825	L-Ag2P	2Ag; 6,2P; Rest Cu	6450	825	710			

[1)] Toleranzen in der Zusammensetzung, weitere Legierungsbestandteile bzw. zulässige Beimengungen s. gültige Ausgaben der Normen

[2)] für Fugenlötungen, an die keine hohen Ansprüche an Festigkeit gestellt werden können

Hartlote und Hartlötflußmittel

Hartlote

In **Tab. 4** ist eine Auswahl von Lotwerkstoffen auf Kupferbasis zusammengestellt, die zum Hartlöten von Kupfer- und Kupferlegierungen herangezogen werden. Es handelt sich dabei um Kupfer-Zink- und Kupfer-Phosphor-Lote sowie um Lote, die weniger als 20% Silber enthalten.

Kupfer-Zink-Lote eignen sich für Lötungen von Reinkupfer und höherschmelzenden Kupferlegierungen. Steigende Zinkzusätze bis etwa 40% reduzieren die Schmelztemperatur, bewirken aber eine Zunahme der Festigkeit und Bindefähigkeit, weshalb sog. Messinglote etwa einen solchen Zinkgehalt aufweisen. Zur Verhinderung von porösen Lötstellen, die auf Zinkverdampfung und Wasserstoffaufnahme zurückzuführen sind, werden meist 0,1 bis 0,2% Silizium zulegiert bzw. das Löten erfolgt mit schwach oxidierender, nicht zu intensiver Flamme [4].

Phosphor zeigt im Kupfer eine geringe Löslichkeit und liegt hauptsächlich als Kupferphosphat (Cu_3P) in intermetallisch gebundener Form vor. Die mechanischen Eigenschaften der Kupfer-Phosphor-Lote, auch Phosphorlote genannt, werden durch den Phosphorgehalt und damit den Cu_3P-Gehalt sowie Größe, Form und Anordnung seiner Partikel bestimmt. Eine Kaltumformung ist bei Loten mit einem Phosphorgehalt über 7% nicht mehr möglich, ab etwa 300°C haben dagegen alle Phosphorlote eine sehr gute Umformbarkeit.

Sie sind oberhalb ihrer Arbeitstemperatur von ≥ 710°C dünnflüssig und deshalb für breitere Lötspalte nicht geeignet. Wegen der Phosphorverbrennung ist eine lötgerechte Verarbeitung besonders wichtig. Eine Umformung der Lötstelle beim CP201 (L-CuP8) ist kaum möglich; es kommt zum Einsatz, wenn niedrige Arbeitstemperaturen und eutektisches Schmelzverhalten erforderlich sind. Die beiden anderen in Tab. 4 aufgeführten Phosphorlote ermöglichen durch die Abstufung im Phosphorgehalt eine gezielte Auswahl für weitere Anwendungsgebiete. Phosphorlote sind auf Kupfer, bedingt auch z.B. auf CuSn6 (CW452K, hierzu die Erläuterung in Kap. 5), selbstfließend und können ohne Flußmittel verarbeitet werden, da Phosphor desoxidierend wirkt. Auf Kupferlegierungen reicht jedoch diese Wirkung nicht aus, so daß dort Flußmittel zu verwenden sind.

Die in Tab. 4 aufgeführten Kupfer-Silber-Phosphor-Hartlote weisen eine Arbeitstemperatur von 710°C auf und vereinigen die positiven Eigenschaften der Zusätze. Sie finden für Kupfer, Rotguß, Kupfer-Zink- und Kupfer-Zinn-Legierungen Anwendung.

Eine Auswahl silberhaltiger Hartlote mit mehr als 20% Ag enthält **Tab. 5**, wo u.a. hauptsächlich Silber-Kupfer-Zink-Cadmium- und Silber-Kupfer-Zink-(Zinn-)Hartlote aufgelistet sind. Bei der ersten Gruppe handelt es sich um niedrigschmelzende Hartlote, deren Cadmiumzusätze die Schmelztemperaturen herabsetzen, wie es **Bild 3** zeigt. Niedrige Löttemperaturen bewirken einen geringeren Energieverbrauch und vermeiden Lötfehler, da dabei die Beeinflussung des Grundwerkstoffs minimiert ist. Diese Lote lassen außerdem die Umformbarkeit bei Raumtemperatur zu. Allerdings sind beim Einsatz cadmiumhaltiger Hartlote wie bei den cadmiumhaltigen Weichloten die Vorschriften in UVV-VBG15 (s. 2.1.1) zu beachten. In vielen Anwendungen wird der Einsatz cadmiumfreier Hartlote angestrebt und zunehmend praktiziert.

Verschärfte Arbeitsplatzbestimmungen und neue Regelungen der Verwendung von Loten für Gegenstände, die mit Lebensmitteln, z.B. Trinkwasser, in Berührung kommen, haben dazu geführt, daß cadmiumhaltige Hartlote in bestimmten Bereichen nicht mehr einzusetzen sind. Die Zinnzusätze setzen ähnlich, jedoch nicht so ausgeprägt wie Cadmium, die Schmelztemperaturen der Silberhartlote herab. Diese Zusammenhänge sind in **Bild 4** dargestellt. So haben die beiden zinnhaltigen Hartlote AG104 (L-Ag45Sn) und AG106 (L-Ag34Sn) Arbeitstemperaturen von nur 650 bzw. 670°C. **Bild 5** zeigt einige Silberhartlote.

Flußmittel zum Hartlöten

Flußmittel zum Hartlöten werden in DIN EN 1045 behandelt. Im folgenden werden Flußmitteltypen aufgeführt, die für Kupfer und Kupferlegierungen im allgemeinen in Betracht kommen (alte Kennzeichnungen nach DIN 8511 Teil 1 in Klammern).

Flußmittel vom Typ **FH10** (Typ F-SH1) weisen Wirktemperaturen ab 550°C auf und sind zum Hartlöten oberhalb 600°C bis 800°C geeignet. Sie enthalten neben Borverbindungen einfache und komplexe Fluoride. Die Flußmittelrückstände wirken meist korrosiv, sie sollen daher abgewaschen oder abgebeizt werden.

FH11 (F-SH1a) sind Flußmittel mit den gleichen Eigenschaften wie die vorgenannten Flußmittel, enthalten jedoch zusätzlich noch Chloride.

FH21 (F-SH2) sind Flußmittel mit einem Wirktemperaturbereich ab 750°C bis etwa 1100°C zum Hartlöten oberhalb 800°C einsetzbar. Sie enthalten Borverbindungen als Grundlage. Ihre Rückstände wirken im allgemeinen nicht korrosiv, sind ggf. mechanisch (Bürsten) oder durch Beizen zu entfernen.

FH40 (F-SH4) sind Flußmittel für Wirktemperaturen ab 600°C bis etwa 1000°C und werden zum Hartlöten oberhalb 600°C verwendet. Sie enthalten meist Chloride und Fluoride und sind ohne Borverbindungen. Ihre Rückstände wirken im allgemeinen korrosiv und sollen durch Abwaschen oder Abbeizen beseitigt werden. Prinzipiell gilt, daß reiner Borax nur in Ausnahmefällen verwendet werden sollte. Die im Handel befindlichen Flußmittelgemische sind wirksamer, passen sich den Löttemperaturen besser an und hinterlassen keine oder nur wenige harte Rückstände. Einzelheiten, insbesondere Sicherheitshinweise, sind den Herstellerangaben

zu entnehmen. Auch hier müssen die entsprechenden Vorschriften in UVV-VBG15 (s. 2.1.1) beachtet werden.

Lötverfahren

Eine Klassifizierung der Lötverfahren kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen [4]. Eine Einteilung der bekannten Lötverfahren zeigt **Tab. 6**. Nachstehend werden einige Lötverfahren erläutert, die für Kupferwerkstoffe von besonderem Interesse sind; die Behandlung von Verfahren nach der Art der Lötstelle erfolgt unter Kap. 4.

Wie bereits in Kap. 2 erwähnt, wird je nach der Liquidustemperatur der Lote (DIN 8505, Teil 2) unterschieden zwischen:

- Weichlöten (unterhalb 450 °C),
- Hartlöten (oberhalb 450 °C) und
- Hochtemperaturlöten (oberhalb 900 °C).

Zum Hochtemperaturlöten für andere Werkstoffe werden u.a. auch Lote auf Kupferbasis verwendet, für Kupferwerkstoffe selbst kommen jedoch fast ausschließlich das Weich- und Hartlöten zur Anwendung.
Für erfolgreiches Löten ist die gewählte Art der Energieträger bzw. Wärmezufuhr sehr entscheidend. Die Wärmequelle muß sicherstellen, daß die zum Erreichen der Löttemperatur erforderliche Wärmemenge in ausreichend kurzer Zeit, auf jeden Fall während der Wirkdauer des Flußmittels, auf die Lötstelle übertragen wird. Entsprechend explizit ist die Einteilung (s. Tab. 6) der Lötverfahren nach dieser Art (DIN 8505, Teil 3). Dabei ist die Wärmeübertragungsform (fest, flüssig usw.) für den Ablauf des Lötvorganges entscheidend.
Aus dem Bereich des Lötens durch feste Körper erfolgt beim **Kolbenlöten** die Erwärmung der Lötstelle und das

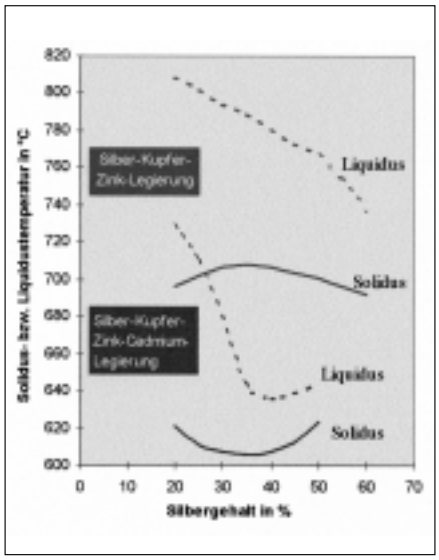

Bild 3 (DKI A 1287) Wirkung von Cadmiumzugaben (etwa 20%) zu Silber-Kupfer-Zink-Legierungen [6]

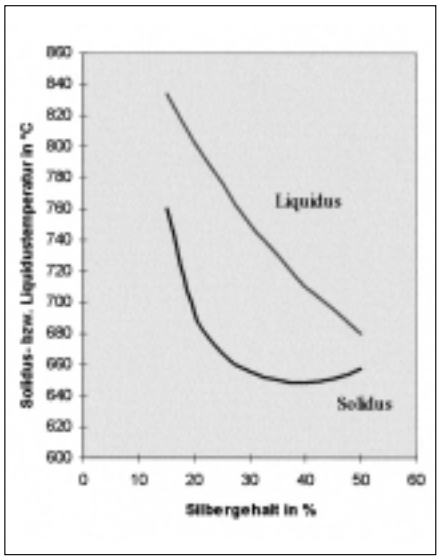

Bild 4 (DKI A 1288) Solidus- und Liquidustemperaturen von Silber-Kupfer-Zink-Legierungen mit Zinnzusätzen (ca. 2%) [6]

Abschmelzen des Lots mittels eines Lötkolbens, der von Hand oder maschinell geführt und ausschließlich zum Weichlöten benutzt wird. Für Spaltlötungen mit langer Überlappung ist er jedoch nicht verwendbar.
Die meisten Lötkolben tragen eine eingebaute Wärmequelle in Form eines elektrischen Heizelementes oder eines Brenners für Erdgas, Acetylen oder Propan. Wärmekapazität und Form des Lötkolbens sowie der Lötspitze müssen dem Lötteil angepaßt sein. Ein spitzer Winkel der letzteren gewährleistet eine bessere Zugänglichkeit der Lötstelle, verursacht jedoch höhere Wärmeverluste. Die Masse der Lötspitzen liegt zwischen 20 g und 1 kg, welche früher wegen des guten Wärmetransports und der guten Benetzbarkeit fast ausschließlich aus Kupfer bestanden. Da aufgrund der Kupferlöslichkeit von Zinnlot die Lötspitzen bei Massenlötungen oft nachzubessern oder auszutauschen waren, wurden kupferhaltige Lote (s. 5.1.1) bzw. mit anderen Werkstoffen plattierte Lötspitzen entwickelt. **Bilder 6** und **7** zeigen einige Lötspitzen sowie einen Gaslötstift.
Beim **Lötbadtauchlöten** werden die zu lötenden Teile in ein flüssiges Lotbad getaucht und dabei vom Lot benetzt. Die Eintauchgeschwindigkeit ist so zu optimieren, daß in jeder Tauchphase die Erreichung der Löttemperatur gesichert bleibt. Dieses Verfahren wird bei Kupfer und seinen Legierungen im allgemeinen nur zum Weichlöten angewendet. Eine modifizierte Form ist das **Wellen-** bzw. **Schwallöten**, wobei die Lötteile, hauptsächlich bestückt Leiterplatten, über oder durch eine sog. stehende Lötwelle geführt werden. Bei dem ähnlichen **Schlepplöten** werden die

Tab. 5 Silberhaltige **Hartlot**e (Auswahl) mit mehr als 20% Ag für **Kupfer und Kupferlegierungen**

Bezeichnung nach			mittlere	Schmelz-		Arbeits-	Hinweise für die Verwendung		
DIN EN 1044[1)]	DIN EN ISO 3677	DIN 8513, Teil 1 und 2	Zusammensetzung [2)] Massenanteile in %	bereich in °C Sol.	Liq.	tempera-tur in °C	Grundwerkstoff	Form der Lötstelle	Art der Lot-zuführung
Silber-Kupfer-Zink-Cadmium-Hartlote									
AG301	B-Ag50CdZnCu-620/640	L-Ag50Cd	50Ag; 17Cd; 15Cu; Rest Zn	620	640	640	Kupferlegierungen	Spalt	angesetzt u.
AG302	B-Ag45CdZnCu-605/620	L-Ag45Cd	45Ag; 20Cd; 17Cu; Rest Zn	620	635	620			eingelegt
-	-	L-Ag40Cd	40Ag; 20Cd; 19Cu; Rest Zn	595	630	610	Kupfer		
AG305	B-Ag35CuZnCd-610/700	L-Ag34Cd	34Ag; 20Cd; 22Cu; Rest Zn	610	700	640	und		
AG306	B-Ag30CuCdZn-600/690	L-Ag30Cd	30Ag; 21Cd; 28Cu; Rest Zn	600	690	680	Kupfer-		
AG307	B-Cu30ZnAgCd-605/720	L-Ag25Cd	25Ag; 17,5Cd; 30Cu; Rest Zn	605	720	710	legie-		
AG309	B-Cu40ZnAgCd-605/765	L-Ag20Cd	20Ag; 15Cd; 40Cu; Rest Zn	605	765	750	rungen	Spalt u. Fuge	
Silber-Kupfer-Zink-(Zinn)-Hartlote									
AG102	B-Ag56CuZnSn-620/655	L-Ag55Sn	55,5Ag; 21,5Cu; 3,5Sn; Rest Zn	620	655	650	Kupferlegierungen	Spalt	angesetzt
AG104	B-Ag45CuZnSn-640/680	L-Ag45Sn	45Ag; 27Cu; 3Sn; Rest Zn	640	680	670	Kupfer		und
AG203	B-Ag44CuZn-675/735	L-Ag44	44Ag; 30Cu; Rest Zn	675	735	730	und		eingelegt
AG105	B-Ag40CuZnSn-650/710	L-Ag40Sn	40Ag; 30Cu; 2Sn; Rest Zn	650	710	690	Kupfer-		
AG106	B-Cu36AgZnSn-630/730	L-Ag34Sn	34Ag; 36Cu; 3Sn; Rest Zn	630	730	710	legie-		
AG107	B-Cu36ZnAgSn-665/755	L-Ag30Sn	30Ag; 36Cu; 2Sn; Rest Zn	665	755	740	rungen		
AG204	B-Cu38ZnAg-680/765	L-Ag30	30Ag; 38Cu; Rest Zn	680	765	750			
AG108	B-Cu40ZnAgSn-680/760	L-Ag25Sn	25Ag; 40Cu; 2Sn; Rest Zn	680	760	750			
AG205	B-Cu40ZnAg-700/790	L-Ag25	25Ag; 41Cu; Rest Zn	700	790	780			angesetzt u.
AG206	B-Cu44ZnAg(Si)-690/810	L-Ag20	20Ag; 44Cu; Rest Zn	690	810	810		Spalt u. Fuge	eingelegt
Zinkfreie Sonderhar tlote									
AG401	B-Ag72Cu-780	L-Ag72	72Ag; Rest Cu	779	779	780	Kupfer u. Kupferlegierungen	Spalt	eingelegt
Sonderhartlote									
AG351	B-Ag50CdZnCuNi-635/690	L-Ag50CdNi	50Ag; 15,5Cu; 16Cd; 3Ni; Rest Zn	645	690	660	Kupferlegierungen	Spalt	angesetzt u. eungelegt

[1)] Toleranzen in der Zusammensetzung, weitere Legierungsbestandteile bzw. zulässige Beimengungen s. gültige Ausgaben der Normen

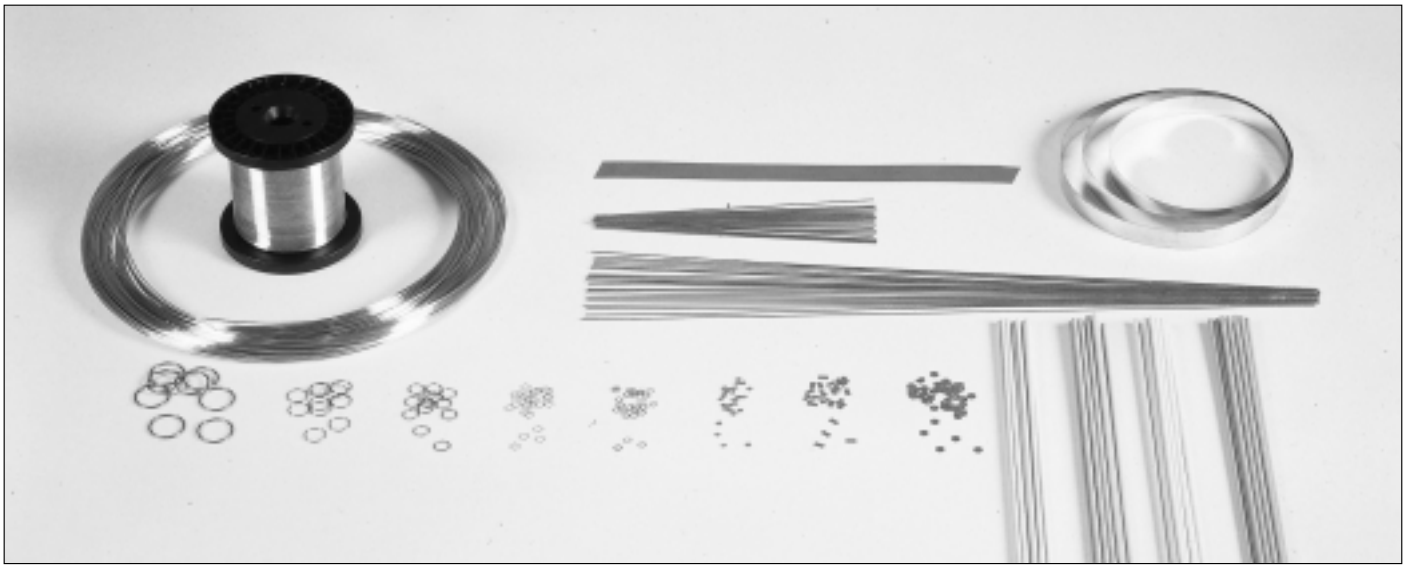

Bild 5 (DKI A 6009) Cadmiumfreie Silberhartlote (blank bzw. flußmittelummantelt)

Lötteile, auch meist Leiterplatten, oberflächlich mit dem Lotbad in Berührung gebracht und darüberhinweggezogen. Diese Verfahren werden ebenfalls ausschließlich zum Weichlöten herangezogen. Das **Flammlöten** gehört zu den Lötverfahren, bei denen die zum Löten notwendige Energie durch Gase (Verbrennung von Brenngas) erreicht wird. Es ist grundsätzlich für alle Löttemperaturen möglich. Die Lötlampe und der Propan-Luft-Brenner sind für Weichlötarbeiten weit verbreitet. Zum Hartlöten dünner Werkstoffe wird vorzugsweise ein Lötbrenner mit den Gas/Luftgemischen benutzt. **Bild 8** zeigt zwei zum Flammlöten verwendete Brenner. Brenngas-Sauerstoff-Gemische sind die wirtschaftlichen Energiequellen, wenn dickere Werkstücke gelötet werden sollen.
Von den Lötverfahren mit elektrischer Energiezufuhr findet das **Ofenlöten** (Erwärmung auf Löttemperatur in einem elektrisch beheizten Ofen) sowohl zum Weich- als auch zum Hartlöten Anwendung. Das Hartlöten im Schutzgasofen ist bei solchen Kupferwerkstoffen möglich, die keine leicht verdampfenden Legierungsbestandteile enthalten. So ist der normale Schutzgasofen zum Hartlöten von Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) und für den Einsatz von zink- und cadmiumhaltigen Loten nicht zu empfehlen; dafür eignen sich z.B. die Kupfer-Phosphor-Lote, die silberhaltigen Phosphorlote und das Silberlot AG401 (L-Ag72).
Das Ofenlöten weist dahingehend Vorteile auf, daß dabei Lötteile spannungs- bzw. verzugsfrei bleiben und Werkstücke komplizierter Form gelötet werden können. Außerdem ermöglicht es auch gezielte Wärmebehandlung der Werkstücke bzw. das Löten und Wärmebehandeln in einem Arbeitsschritt.
Neben diesen bisher üblichen Verfahren gewinnen das elektrische **Widerstandslöten** und das **Induktionslöten** zunehmend an Bedeutung. Sie werden sowohl zum Weich- als auch zum Hartlöten eingesetzt. Neuerdings kommen für spezielle Lötungen auch **Licht-**, **Laser-** sowie **Elektronenstrahllöten** (Energiezufuhr durch Strahlen) und **Lichtbogenlöten** (elektrische Gasentladung) zum Einsatz. Aufgrund der gewaltigen Steigerung der Produktionszahlen und der damit zunehmenden Massenlötungen wurden zwecks Mechanisierung und Automatisierung nach den vorstehenden Grundverfahren vielseitige Lötmaschinen und -vorrichtungen entwickelt.

Allgemeine Regeln und lötgerechte Konstruktion

Allgemeine Regeln

Für das Löten gibt es eine Reihe von allgemein gültigen, zu beachtenden Regeln, um die Vorteile des Lötens, insbesondere das selbsttätige Fließen des Lotes in den Spalt, sicher und wirtschaftlich zu beherrschen. Einige sollen hier erwähnt werden [4].
Vor allem aber müssen die zu lötenden Teile bzw. Werkstücke lötgerecht konstruiert und vorbereitet sein. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Anforderungen und Lötverfahren müssen Grundwerkstoff, Lot, Flußmittel (Wirktemperatur min. 50 K unterhalb der Solidustemperatur des Lots) und Lötatmosphäre aufeinander abgestimmt sein. Zur Vermeidung von unerwünschten Erscheinungen, wie die nur bei bestimmten Grundwerkstoff-Lot-Verbindungen auftretende Lötbrüchigkeit und die

Tab. 6 **Lötverfahren,** Einteilung nach verschiedenen Gesichtspunkten

Art der Energieträger bzw. Wärmezufuhr		Liquidustemperatur der Lote	Art der Lötstelle	Art der Oxidentfernung	Art der Lotzuführung	Art der Fertigung
Fester Körper als Energieträger	Kolbenlöten Blocklöten Rollenlöten	Weichlöten Hartlöten Hochtemperaturlöten	Auftragslöten Spaltlöten Fugenlöten	Löten mit Hilfe von Flußmitteln Schutzgaslöten Autoschutzgaslöten Vakuumlöten Löten mit selbstfließendem Lot Reiblöten Ultraschallöten	Löten mit anangesetztem Lot Löten mit an- oder eingelegtem Lot Tauchlöten Löten mit lotbeschichteten Teilen Löten mit Reaktionslot	Handlöten Teilmechanisiertes Löten Vollmechanisiertes Löten Automatisches Löten
Flüssigkeit bzw. Schmelze als Energieträger	Lotbadtauchlöten Wellen- o. Schwallöten Schlepplöten Salzbadlöten					
Gas als Energieträger	Flammlöten Gasfluxlöten Warmgas/Heißluftlöten					
Elektrischer Strom als Energieträger	Ofenlöten Induktionslöten Widerstandslöten					
Strahlen und elektrische Gasentladung als Energieübermittler	Lichtstrahllöten Laserstrahllöten Elektronenstrahllöten Lichtbogenlöten					

Bild 6 (DKI A 6010) Lötspitzen aus Reinkupfer (oberflächenbehandelt) zum Handlöten

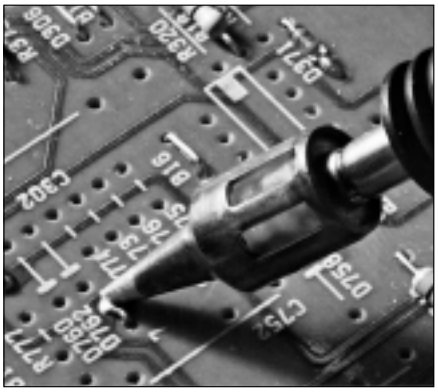

Bild 7 (DKI A 6011) Glaslötstift, dessen Spitze mit Butangas über Konverter (ohne offene Flamme) beheizt wird

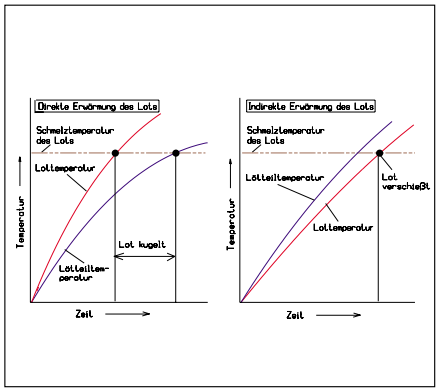

Bild 9 (DKI A 1322) Gegenüberstellung direkter und indirekter Loterwärmung [4]

beim Löten von Grundwerkstoffen mit sehr unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten aufgrund von Spannungen entstehende Lötrissigkeit, sind geeignete Grundwerkstoffkombinationen und Lötbedingungen auszuwählen. Während eine zügige Erwärmung der Lötstelle auf die Löttemperatur anzustreben ist, kann beim Löten mit Flußmitteln oder Lötpasten am Anfang ein vorsichtiges Erwärmen ratsam sein. Auf jeden Fall muß der Grundwerkstoff an der Berührungsstelle mit dem Lot min. die Arbeitstemperatur erreicht haben, anderenfalls kugelt das Lot. Daher erweist sich eine indirekte Erwärmung des Lots über das Werkstück als günstig, wie es **Bild 9** verdeutlicht. Es sollte nur so viel an Lotmenge zugeführt werden, daß sie den Lötspalt füllt und eine Lothohlkehle bildet, wobei ggf. die Anordnung des Lots in einer Depotnut kurze Fließwege und dadurch gute Durchlötung sowie wenig Fehlstellen

Bild 8 (DKI A 3973 und 3974) Brenner zum Flammlöten mit Propan-Ansaugluft (links) und Acetylen-Ansaugluft (rechts)

sichert. Außerdem sollte die Erwärmung nach dem Fließen des Lots abgebrochen werden, um eine Überhitzung der Lötstelle zu verhindern. Beim Ofenlöten von größeren Werkstücken muß die Erwärmung gemäß einer vorher in Versuchen ermittelten Zeit-Temperatur-Vorgabe erfolgen, um ein einheitliches Erreichen des Temperaturprofils zu sichern. Während der Abkühlungsphase ist die Fügestelle ruhig zu halten, so darf beispielsweise bei einigen rißempfindlichen Werkstoffen nach dem Löten nicht mit Wasser abgeschreckt werden. Nach dem Löten sollten die Lötteile von korrosiven Flußmittelrückständen befreit und - wenn Oberflächenbehandlungen durchzuführen sind - entsprechend nachbehandelt werden.
Besonders hingewiesen werden soll auf den Aspekt, daß sich durch die Erwärmung die Eigenschaften der Grundwerkstoffe in Abhängigkeit von der Temperatur und Zeit sowie von Werkstückabmessungen ändern können. Möglich sind neben der bereits genannten Lötbrüchigkeit und -rissigkeit Oxidation, Form- und Abmessungsänderung sowie Änderung der mechanischen Eigenschaften der gelöteten Werkstücke. Im Gegensatz zu einem üblichen Glühprozeß mit einer Dauer von ca. 0,5 bis mehreren Stunden dauern Lötvorgänge kürzere Zeit. Entsprechend gering ist die Beeinflussung der üblichen kaltumgeformten Werkstücke. **Bild 10** vergleicht die Vorgänge bei normaler und kurzzeitiger Glühung. Bei der letzteren, wie sie beim Löten gegeben ist, sind die Bereiche der Erholung und der Rekristallisation breiter und die Grenzen zu höheren Temperaturen verschoben. Das bedeutet, daß eine Glühtemperatur, die bei Langzeitglühung eine Rekristallisation des Grundwerkstoffes bewirkt, beim Löten nur Erholungsvorgänge hervorrufen oder Festigkeitswerte reduzieren kann. Lote mit niedrigen Arbeitstemperaturen sind hierbei vorteilhaft. Anders ist es jedoch bei aushärtbaren Werkstoffen, wo insbesondere beim Hartlöten spezifische Besonderheiten zu beachten sind.
Dieser Sachlage wird an betreffenden Stellen Rechnung getragen.

Lötgerechte Konstruktion

Die konstruktive Gestaltung entscheidet über Qualität und Kosten eines Bauteils. Sie sollte einen reibungslosen Ablauf der Lötvorgänge, wirtschaftliche Fertigung und mechanisch belastbare Lötverbindungen gewährleisten. Eine ordnungsgemäße Lötverbindung versagt immer im Grundwerkstoff. Daneben sind bei der Gestaltung der Lötverbindung Faktoren wie der Zustand und die Güte der zu lötenden Oberflächen, Spaltbreite und ihr Einfluß auf kapillaren Fülldruck, die Geometrie und lagerichtige Zuordnung sowie Formänderung der Einzelteile zu beachten. Außerdem muß die Zielsetzung feststehen, ob dabei Verbindung von Einzelteilen oder Beschichtung (Ergänzen bzw. Veredeln von Oberflächen) angestrebt wird [4].
So unterscheidet DIN 8505, Teil 2, nach Art der Lötstelle zwischen Auftraglöten (Beschichten durch Löten) und Verbindungslöten (Fügen durch Löten). Verbindungslöten wird weiterhin in Spalt- und Fugenlöten unterteilt, welche in **Bild 11** schematisch dargestellt sind.
Spaltlöten hat die größte Bedeutung für die Praxis. Es ist ein Fügen von Werkstükken, deren miteinander zu verbindende Oberflächen einen kleinen, üblicherweise gleich breiten Abstand (Spalt) voneinander haben. Der Lötspalt wird vorzugsweise

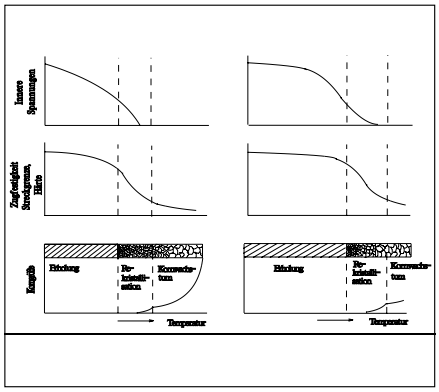

Bild 10 (DKI A 1323) Verhalten metallischer Werkstoffe bei lang- und kurzzeitiger Erwärmung [7]

durch kapillaren Fülldruck mit Lot gefüllt. Der maximal zulässige Abstand soll nur ausnahmsweise größer als 0,25 mm sein. Für das Löten mit dem silberfreien Kupferhartlot CP201 (L-CuP8) sollte - um Sprödbruch zu vermeiden - eine Montagespaltbreite von 0,1 mm und weniger gewählt werden.
Beim Spaltlöten benetzt das Lot die zu lötende Fläche erst dann, wenn sie mindestens die Arbeitstemperatur erreicht hat. Deshalb besteht die Notwendigkeit, eine größere Fläche des Werkstücks entlang des Lötspaltes gleichmäßig auf Arbeitstemperatur zu erwärmen, um das Einschießen des Lots in den Spalt zu sichern. Die Temperaturverteilung, die beim Spaltlöten möglichst anzustreben ist, wird in **Bild 12** dargestellt.
Fugenlöten ist ein Fügen von Teilen, wobei eine sich zwischen den Teilen befindliche breite Fuge vorwiegend infolge der Schwerkraft mit Lot gefüllt wird (s. Bild 14). Die Temperaturverteilung zeigt **Bild 13**. Weichlote werden hauptsächlich für Spaltlötungen eingesetzt, während Hartlote für Spalt- und Fugenlötungen in Frage kommen. Spaltlöten findet jedoch auf sehr verbreiteter Basis Anwendung. Das schmelzende Lot breitet sich im Lötspalt durch Kapillarwirkung selbsttätig aus. Deshalb darf ein Spalt in Fließrichtung des Lotes wohl enger, aber nicht weiter werden, wenn des Lot ihn restlos füllen soll. Zur besseren Veranschaulichung der Verhältnisse wird dies in **Bild 14** am Beispiel einer V-förmigen Lötstelle (Lötfuge) demonstriert.
Die erzielte mechanische Festigkeit hängt unter anderem von der Breite des Spaltes ab.

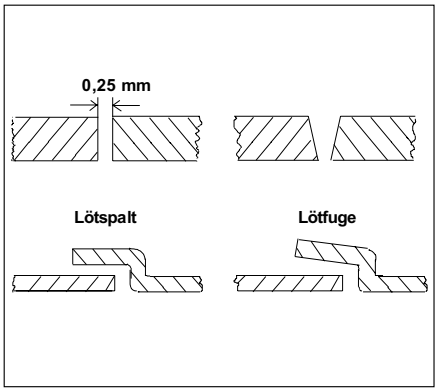

Bild 11 (DKI A 3602) Lötspalt und Lötfuge. In der neueren Literatur wird in Ergänzung zur DIN unterschieden in einen Montagespalt (den Spalt bei Raumtemperatur) und einen Lötspalt (Spalt bei Löttemperatur, der aufgrund von Wärmedehnungen nicht mehr dem Montagespalt entspricht). Eine Übernahme in EN/ISO ist in der Diskussion.

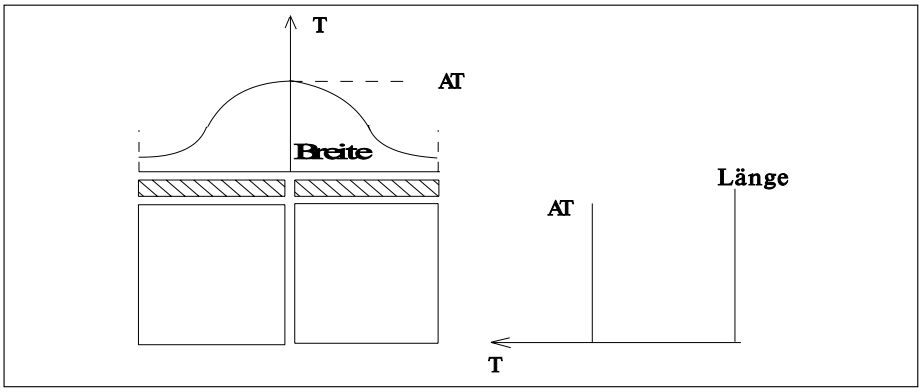

Bild 12 (DKI A 1324) Temperaturverteilung im Werkstück beim Spaltlöten [8]
AT = Arbeitstemperatur, T = Temperatur

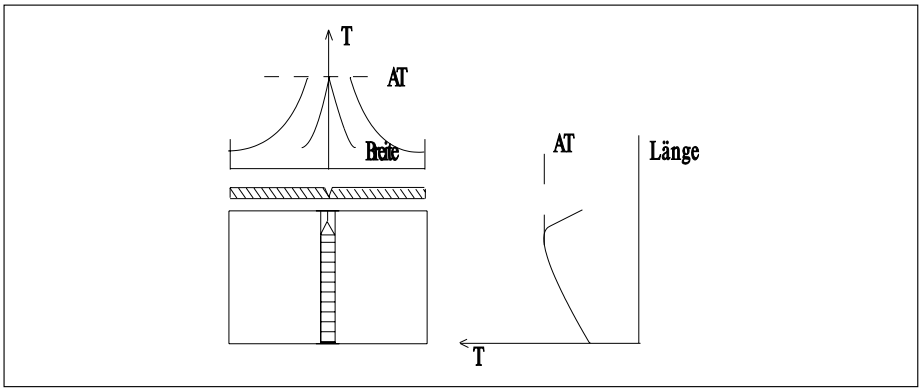

Bild 13 (DKI A 1290) Temperaturverteilung im Werkstück beim Fugenlöten [8]
AT = Arbeitstemperatur, T = Temperatur

Dabei liegt die günstigste Montagespaltbreite für Weich- und Hartlöten bei 0,05 bis 0,20 mm. **Bild 15** enthält eine für das Flammlöten mit Flußmittel relevante Aufteilung. Insbesondere beim Weichlöten ergibt sich bei einem Lötspalt bis 0,1 mm Breite die optimale Festigkeit. Geringe Toleranzen bedeuten jedoch erhöhte Bearbeitungskosten.
In der vorliegenden Schrift werden Prüfverfahren der Lote, Flußmittel und Lotverbindungen nicht behandelt. Die relevanten Normen sind am Schluß aufgeführt.

Löten von Kupfer und Kupferlegierungen

Kupfer und seine Legierungen können sowohl weich- als auch hartgelötet werden. Wenn diese Werkstoffe durch Kaltumformung verfestigt sind, erfahren sie beim Weichlöten im allgemeinen keine Einbuße ihrer Festigkeit. Beim Hartlöten werden sie jedoch je nach Kaltumformgrad zumindest an der Lötstelle entfestigt.
Nachstehend werden neben den in DIN genormten und bekannten Werkstoffbezeichnungen der Grundwerkstoffe auch schon die neuen europäischen Werkstoffnummern (Angaben in Klammern) angeführt. Bei Loten und Flußmitteln erfolgt die Bezeichnung wie im vorangegangenen Text nach EN bzw. EN ISO sowie eine zusätzliche Nennung der DIN-Kurzzeichen in Klammern.

Reines Kupfer

Die herausragenden Eigenschaften des Kupfers sind hohe Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität, ausgezeichnete Bearbeitbarkeit und gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber den vielen verschiedenen Medien. Man unterscheidet zwischen

- sauerstoffhaltigen,
- sauerstofffreien, nicht desoxidierten und
- sauerstofffreien, mit Phosphor desoxidierten Kupfersorten.

Gelötet werden hauptsächlich diese sog. Knet-Kupfersorten; das Löten von Guß-Kupfer findet dagegen selten Anwendung.
Reines Kupfer bereitet beim Löten keine Schwierigkeiten, sofern einige Besonderheiten beachtet werden.

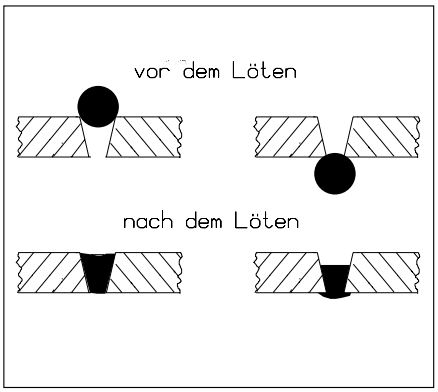

Bild 14 (DKI A 3975) Richtiges und falsches Ansetzen des Lotes bei V-förmiger Lötstelle

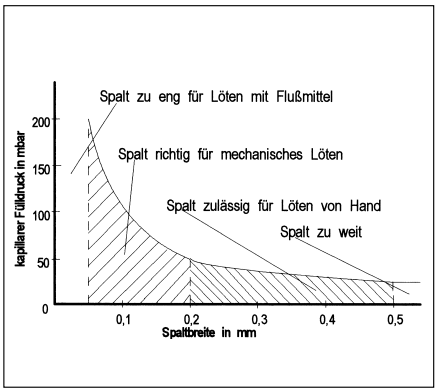

Bild 15 (DKI A 1291) Kapillarer Fülldruck in Abhängigkeit von der Spaltbreite [4]

Weichlöten

Das Weichlöten erfolgt vorwiegend mit Zinn-Blei-Loten, im allgemeinen mit 50 und 60 % Sn, nach DIN EN 29453 bzw. E DIN 1707 Teil 100. Für größere Teile finden meist die antimonarmen Lote, z B. S-Pb55Sn45 (L-PbSn45(Sb)), für feinere Teile die antimonfreien Lote wie z. B. S-Pb50Sn50 bzw.S-Pb50Sn50E (L-Sn50Pb) oder S-Sn60Pb40 bzw. S-Sn60Pb40E (L-Sn60Pb) Anwendung. Zum Weichlöten von Kupfer können die üblichen Flußmittel wie z.B. 3.2.2. (F-SW11), 3.1.1. (F-SW 21), 3.2.2. (F-SW22), 2.1.1., 2.1.3., 2.2.3. (F-SW24) oder 2.1.2., 2.2.2. (F-SW25) verwendet werden.
Die Lote S-Pb50Sn50 bzw. S-Pb50Sn50E (L-Sn50Pb) und S-Sn60Pb40 bzw. S-Sn60Pb40E (L-Sn60Pb) wurden früher auch in der Elektronik eingesetzt, griffen jedoch kupferne Lötspitzen verhältnismäßig stark an, wie es **Bild 16** zeigt. Das führte durch häufiges Nachbearbeiten der Lötkolbenspitzen zu Zeitverlusten in der Fertigung, so daß zur allgemeinen Schonung der Lötkolben und beim Tauchlöten zur Schonung kupferkaschierter Leiterplatten sowie dünner Kupferdrähte kupferhaltige Weichlote eingeführt wurden. So sind heute für die Elektrotechnik und Elektronik die antimonfreien Weichlote L-Sn60PbCu (für Bäder) und S-Sn60Pb38Cu2 (L-Sn60PbCu2), als Röhrenlot mit Flußmittelfüllung, von großer Bedeutung. Hier kommen bevorzugt die Flußmitteltypen 1.1.2. (F-SW26), 1.1.3 (F-SW27 und F-SW32) und 1.1.1 (F-SW31) auf Kolophoniumbasis zur Anwendung.
Teile von Elektromotoren, die bei etwas höheren Temperaturen beansprucht werden, sollten bevorzugt mit den in Tab. 2 aufgeführten Sonderloten höherer Solidustemperatur gelötet werden. Die Scherfestigkeit überlappter, mit Zinnloten erzeugter Lötstellen beträgt im Kurzzeitversuch etwa 20 N/mm^2. Lötstellen mit Sonderloten zeigen meist etwas höhere Werte.
Zum Weichlöten von Kupfer im Lebensmittelbereich sollen - und für Lötungen an Trinkwasserleitungen dürfen - nur die Sonderweichlote S-Sn97Ag3 bzw. S-Sn96Ag4 (L-SnAg5) und S-Sn97Cu3

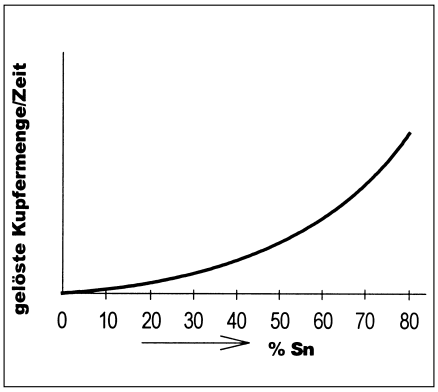

Bild 16 (DKI A 1292) Lösefähigkeit von Blei-Zinn-Legierungen für Kupfer [9]

(L-SnCu3) eingesetzt werden. Detaillierte Angaben sind in dem DVGW-Regelwerk sowie in der betreffenden Informationsschrift des DKI enthalten [10]. Die Festigkeit (ermittelt als Berstdruck) derart weichgelöteter überlappter Rohrverbindungen kann in diesem Fall höher liegen als diejenige hartgelöteter Verbindungen [18].
Für Lötstellen, die tiefen Temperaturen ausgesetzt sind, benutzt die Kälteindustrie außer silberhaltigen Hartloten bevorzugt die Sonderweichlote S-Sn95Sb5 (L-SnSb5) und S-Sn97Ag3 bzw. S-Sn96Ag4 (L-SnAg5).
Bei höheren Temperaturen kommt es zum Kriechen der Lötstellen. Hierfür stehen warmfeste Sonderweichlote (bleifreie Sonderweichlote oder Blei-Silber-Weichlote) zur Verfügung, die Dauertemperaturen bis 110°C ohne Beeinträchtigung ertragen können.
Die Guß-Kupfersorten nach DIN EN 1982 lassen sich ähnlich wie die Knet-Kupfersorten einwandfrei weichlöten, was jedoch deutlich seltener angewandt wird.

Hartlöten

Bei höheren mechanischen und thermischen Beanspruchungen wird hartgelötet. Dabei gehen im Hartlötbereich die durch Kaltumformung erzielten höheren Festigkeitseigenschaften des Kupfers verloren. Außerdem können zu hohe Zug-, Druck- oder Scherbeanspruchungen des Werkstücks neben der Lötstelle zum Bruch führen, denn die Festigkeit aller üblichen Hartlote (genauer: des Hartlötgutes) ist höher als diejenige des geglühten Kupfers. Zum Hartlöten dickerer Teile aus Kupfer können Messinglote, wie z.B. CU301, CU302 bzw. CU303 (L-CuZn40) sowie CU306 (L-CuZn39Sn), und phosphorhaltige Lote verwendet werden. Größere Bedeutung haben jedoch die silberhaltigen Hartlote. Sie haben niedrigere Arbeitstemperaturen, verringern die Gefahr von Grobkornbildung, gestatten höhere Lötgeschwindigkeiten und erlauben einen verringerten Lotmaterialeinsatz. Das führt trotz des höheren Preises der Lote oft zu wesentlichen Kostensenkungen.
Breite Anwendung finden selbstfließende phosphorhaltige Lote CP201 (L-CuP8), CP202 (L-CuP7), CP203 (L-CuP6), CP102 (L-Ag15P), CP104 (L-Ag5P) und CP105 (L-Ag2P), die zum Hartlöten von Reinkupfersorten ohne Flußmittel einsetzbar sind. Allerdings sind Lötstellen aus silberfreien Kupfer-Phosphor-Loten besonders bei höheren Phosphorgehalten und Lötspalten über 0,1 mm spröde (s. Kap. 4). So wird beispielsweise für ein Kupfer-Phosphor-Hartlot mit 5% P eine maximale Lötspaltbreite von 0,125 mm empfohlen.
Im übrigen werden als Flußmittel je nach Arbeitstemperatur die Typen FH10 (F-SH1), FH11 (F-SH1a), FH21 (F-SH2) und FH40 (F-SH4) benutzt. Vorrangig kommen für silberhaltige Hartlote mit Arbeitstemperaturen bis 800°C Flußmittel des Typs FH10 (F-SH1) und für Hartlote mit Arbeitstemperaturen über 800°C Flußmittel des Typs FH21 (F-SH2) zum Einsatz. Entscheidend für die Auswahl der Flußmittel ist auch die verfahrensbedingte Lötzeit. Flußmittel für Ofenlötungen unter Luftatmosphäre müssen z.B. wegen der längeren Lötzeit anders zusammengesetzt sein als Flußmittel für Flammlötungen, die nur kurze Zeit wirksam zu sein brauchen.
Bei der Wahl des Lötverfahrens ist der Sauerstoffgehalt des Kupfers zu berücksichtigen. Bei einem Sauerstoffgehalt $\geq$ 0,02 % und Erwärmung in wasserstoffhaltiger Atmosphäre (Flamme oder reduzierendes Schutzgas) besteht die Gefahr der sog. Wasserstoffkrankheit, d.h., daß je nach Löttemperatur und -zeit die betroffene Oberflächenzone durch die Einwirkung von Wasserstoff verspröden kann. Das gilt z.B. nicht, wenn Werkstücke bei Flammlötungen kurzzeitig auf Löttemperatur gebracht werden können. Bei sauerstoffhaltigem Kupfer sollten daher Lötverfahren angewendet werden, die an die Lötstelle keinen Wasserstoff heranführen, wie z.B. Induktions- und Vakuumlöten. Wenn auf Flammlötung nicht verzichtet werden kann, sollte mit Sauerstoffüberschuß (Streuflamme) und einem niedrigschmelzenden Lot gelötet werden. Die Gefahr einer Wasserstoffversprödung kann durch Verwendung von sauerstofffreien bzw. desoxidierten Kupfersorten gänzlich ausgeschlossen werden.
Die größte Bedeutung haben hartgelötete Verbindungen im Bereich der Kupferrohr-Installation, z.B. Trinkwasserleitungen (ab Durchmesser 35 mm), weiterhin Flüssiggas-, Gas- und Heizölleitungen (hierbei darf nur hartgelötet werden) sowie Heizungsleitungen. In der Rohrinstallation wird vorzugsweise mit den Loten CP203 (L-CuP6) oder CP105 (L-Ag2P) ohne Flußmittel gelötet. Außerdem sind für Kupferrohrinstallationen die hochsilberhaltigen Hartlote AG203 (L-Ag44), AG106 (L-Ag34Sn) und AG104 (L-Ag45Sn) in Verbindung mit dem Flußmittel FH10 (F-SH1) zugelassen. Werden Fittings oder Armaturen aus Rotguß oder Messing gelötet, so wird auch bei den phosphorhaltigen Hartloten Flußmittel benötigt. Bei der Verarbeitung von phosphorfreien Loten muß immer ein Flußmittel eingesetzt werden.
Im Lebensmittelbereich werden die zinnhaltigen Hartlote wie z.B. AG104 (L-Ag45Sn) bzw. AG106 (L-Ag34Sn) eingesetzt. Auf die bislang z. T. üblichen cadmiumhaltigen Lote muß hier aus gesundheitlichen Gründen generell verzichtet werden. Die Guß-Kupfersorten werden wie die Knet-Kupfersorten hartgelötet. Bei CC040A (G-CuL50 bzw. GK-CuL50) ist allerdings Hartlöteignung nur dann gegeben, wenn bei kurzer Lötdauer eine Wasserstoffaufnahme verhindert wird.

Anwendungsbeispiele

Kommutatoren elektrischer Maschinen werden weich- oder hartgelötet. Kontaktverbindungen in der Fernmeldetechnik und der modernen Elektronik werden bevorzugt weichgelötet; ein besonderes Anwendungsgebiet sind die gedruckten Schaltungen [9]. Die Lötbarkeit der dabei eingesetzten dünnen Kupferdrähte wird durch Überzüge, meist Zinn, verbessert und gesichert. Für das Hartlöten der immer winziger werdenden Kontaktteile sind Sonderverfahren entwickelt worden, z.B. auf der Basis des elektrischen Widerstandslötens.
Kupferne Rohrleitungen lötet man, je nach mechanischer und thermischer Beanspruchung, weich oder hart, auch unter Zuhilfenahme von Lötfittings. Wärmeübertrager (hierzu zählen z.B. auch Autokühler) werden sowohl weich- als auch hartgelötet.
Einige Anwendungsbeispiele von Lötungen an Kupfer zeigen die **Bilder 177** und **18**.

Niedriglegierte Kupferwerkstoffe

Niedriglegierte Kupferwerkstoffe enthalten bis etwa 5% Legierungszusätze zum Kupfer und wurden vor allem für die Elektrotechnik, aber auch für spezielle Bearbeitungen entwickelt.
Man unterscheidet zwischen nicht aushärtbaren und aushärtbaren Knetlegierungen.

Bei den nicht aushärtbaren Knetlegierungen sind höhere Festigkeitswerte nur durch Kaltumformung möglich. Bei den aushärtbaren Knetlegierungen lassen sich die Festigkeitswerte sowohl durch Kaltumformung als auch durchWärmebehandlung (Aushärtung) steigern. Von den niedriglegierten Kupfer-Gußwerkstoffen ist nur eine aushärtbare Legierungssorte CC140C (G-CuCr bzw. GK-CuCr) genormt.

Kaltverfestigende Legierungen

I) Kupfer-Silber

Die beiden Werkstoffe CuAg0,1 (CW013A) und CuAg0,1P (CW016A) waren in DIN 17666 noch als niedriglegierte Kupfer-Silber-Legierungen genormt. Die europäischen Normen enthalten jedoch mit Silbergehalten 0,04, 0,07 und 0,1 % in jeweils sauerstofffreien, sauerstoffhaltigen sowie phosphorhaltigen Varianten insgesamt 9 Werkstoffe, die dann nicht mehr zu den niedriglegierten Kupferlegierungen, sondern wegen der minimalen Silberzusätze den reinen Kupfersorten zugerechnet werden.
Die in diesen Legierungen enthaltenen geringen Silbergehalte ändern die hohe elektrische Leitfähigkeit des Kupfers nur wenig, erhöhen jedoch die Entfestigungstemperatur (z.B. bei einer Legierung mit 0,1 % Ag auf etwa 350°C). Deshalb wird Kupfer-Silber in der Elektrotechnik z.B. auch bei Temperaturbeanspruchung für Kommutatorlamellen, Ankerwicklungen usw. eingesetzt.

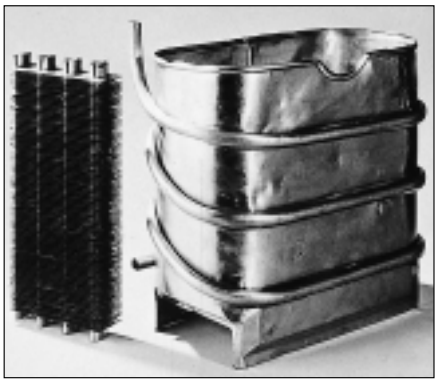

Bild 17 (DKI 3976) Ofenlötung an Wärmeübertrager und Schacht aus SF-Cu (CW024A) eines gasbeheizten Durchlauferhitzers, hartgelötet mit CP105 (L-Ag2P), ohne Flußmittel

Bild 18 (DKI 3977) Verteilerstück aus SF-Cu (CW024A), größter Ø ~ 100 mm, kleinster Ø ~ 25 mm; mittels Flammlötung gefügt mit Hartlot CP105 (L-Ag2P), ohne Flußmittel

Für das **Weichlöten** bevorzugt man Zinn-Blei-Weichlote mit 40 bis 60% Sn. Als Flußmittel werden u.a. die Typen 3.1.1. (F-SW 12), 3.1.1. (F-SW 21), 2.1.1. (F-SW 24) sowie 1.1.1. (F-SW 31) und 1.2.3. (F-SW 33) im Bereich der Elektrotechnik eingesetzt. Aufgrund der höheren Entfestigungstemperatur bleiben bei fachgerechtem Weichlöten die durch Kaltumformung erzielten hohen Festigkeitswerte des Grundwerkstoffes weitgehend erhalten.
Dagegen werden beim **Hartlöten** die durch Kaltumformung erreichten Festigkeitswerte des Kupfer-Silbers im Bereich der Erwärmung erheblich reduziert. Die sauerstofffreien, desoxidierten Legierungen (mit 0,001 bis 0,007% P oder aber einem anderen Desoxidationsmittel, z.B. Lithium), wie z.B. CuAg0,1P (CW016A), sind zum Hartlöten am besten geeignet. Im allgemeinen wird mit den meisten Silberhartloten unter Verwendung von Flußmittel, beispielsweise Typ FH10 (F-SH1), gearbeitet. Bei besonderen Anforderungen an die elektrische Leitfähigkeit der Lötverbindung wird auch mit AG401 (L-Ag72), ohne Flußmittel im Vakuum oder in technischen Löt-Schutzgasen, hartgelötet. Grundsätzlich kann mit allen phosphorhaltigen Hartloten ohne Flußmittel gearbeitet werden. Bei dem Lötvorgang ist der Bereich der Erwärmung möglichst klein zu halten, damit die Beeinträchtigung der Festigkeitswerte örtlich begrenzt bleibt, wobei jedoch unbedingt sicherzustellen ist, daß die Arbeitstemperatur im gesamten Lötbereich eingehalten wird.

II) Kupfer-Eisen

Die Kupfer-Eisen-Legierung CuFe2P (CW107C) enthält 2,1 bis 2,6 % Fe sowie Zusätze aus Phosphor und Zink. Der Werkstoff zeichnet sich durch eine hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit bei gleichzeitig hoher Zugfestigkeit und hoher Entfestigungstemperatur aus. Sein Hauptanwendungsgebiet liegt in der Elektrotechnik, wo diese Legierung in großem Umfang für Leadframes (Halbleitermontagerähmchen) als Systemträgerwerkstoff eingesetzt wird. Diese typische Anwendung zeigen **Bilder 19** bis **21**.
Das **Weichlöten** erfolgt mit Zinn-Blei-Weichloten, wie z.B. S-Sn63Pb37 bzw. S-Sn63Pb37E (L-Sn63Pb), sowie Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-SW 12 bzw. F-SW 21) und hat keine Entfestigung des kaltumgeformten Werkstoffes zur Folge. Zum **Hartlöten** sind Silberhartlote und Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH 1) geeignet.

III) Kupfer-Blei

Der Legierung CuPb1P (CW113C) sind 0,7 bis 1,5% Blei als Spanbrecher zur Verbesserung der Spanbarkeit zugesetzt. Restphosphorgehalte von 0,003 bis 0,012%P bieten Gewähr für eine gute Desoxidation des Werkstoffes und damit Schutz gegen das Auftreten der Wasserstoffkrankheit. Diese Legierung hat eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit und wird dann anstelle von reinem Kupfer eingesetzt, wenn gleichzeitig gute Spanbarkeit gefordert wird. Das ist z.B. der Fall, wenn Automaten-Drehteile aus einem hochleitfähigen Werkstoff zu fertigen sind. Wegen seines Bleigehaltes ist sie jedoch nicht schweißbar, nur bedingt hartlötbar, aber gut weichlötbar.

Zum **Weichlöten** werden wie bei reinem Kupfer Zinn-Blei-Weichlote mit 40 bis 60 % Zinn eingesetzt und als Flußmittel der Typ 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) empfohlen. Wenn **Hartlöten** nicht vermeidbar ist, empfehlen sich Silberhartlote und Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1). Auch hier liegen dann die Arbeitstemperaturen oberhalb der Erweichungstemperatur dieser Legierung.

IV) Kupfer-Schwefel

Die Schwefelgehalte in der Kupfer-Schwefel-Legierug CuSP (CW114C) von 0,3 bis 0,5% verbessern ebenfalls die Zerspanbarkeit, wobei eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit gewahrt bleibt. Der Phosphorgehalt von 0,003 bis 0,012% P gewährleistet die Wasserstoffbeständigkeit. Diese Legierung ist schweiß- sowie hartlötbar und ausgezeichnet warmstauchbar.
Auch hierbei werden zum **Weichlöten** Zinn-Blei-Weichlote mit 40 bis 60% Sn und Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) verwendet. Zum **Hartlöten** werden bevorzugt Silberhartlote und Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1) eingesetzt. Die Festigkeitswerte von kaltverfestigtem Material gehen dabei auf die des weichen Zustands zurück.

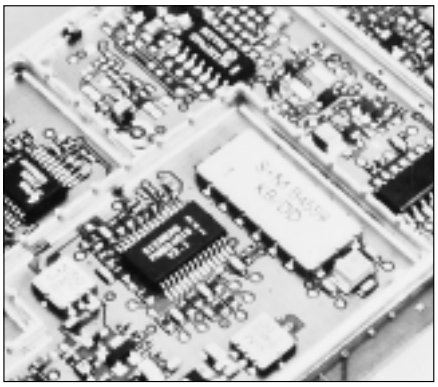

Bild 19 (DKI A 6007) Durch Reflow-Löten (Lötprozeß, bei dem vorbelotete Werkstücke auf Löttemperatur gebracht und so miteinander verbunden werden) hergestellte elektronische Baugruppen, angewendet in der SMD-Technologie (= Surface Mounted Devices)

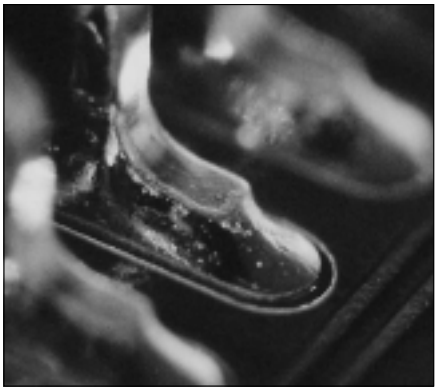

Bild 20 (DKI A 6008) Durch Aufschmelzung von Lötpaste hergestellte Verbindung (Lötpad) zwischen Beinchen des Systemträgers aus CuFe2P (CW107C) und dem Basismaterial (Umgebung der Verbindungsstelle mit Lotstoplack versehen, um ein unerwüschtes Ausbreiten des geschmolzenen Lots auf diese Restfläche zu verhindern)

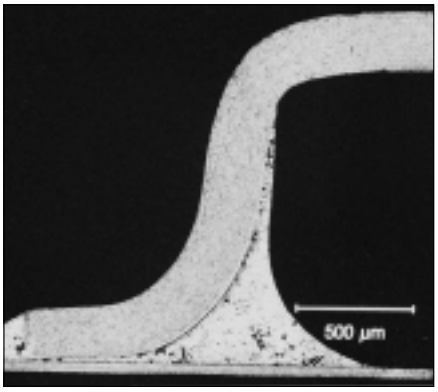

Bild 21 (DKI A 6006) Metallographischer Längsschliff durch das in Bild 20 dargestellte Bauteil (demonstriert wird die gute Lotbenetzung)

V) Kupfer-Tellur

Die Kupfer-Tellur-Legierung CuTeP (CW118C) mit Zusätzen von 0,4 bis 0,7%Te und von 0,003 bis 0,012% P hat die gleichen Eigenschaften wie die o.g. Kupfer-Schwefel-Legierung.
CuTeP (CW118C) wird mit Zinn-Blei-Weichloten (40 bis 60 % Sn) und Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) **weichgelötet**. Da die Anlaßbeständigkeit durch den Tellurzusatz auf Temperaturen um 300°C erhöht ist, kann bei fachgerechter Weichlötung eine wesentliche Verminderung der Festigkeit kaltverformten Materials vermieden werden. Zum **Hartlöten** verwendet man meist Silberhartlote und Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1). Die

Festigkeitswerte von kaltverformtem Material gehen auf die des weichen Zustands zurück.

VI) Kupfer-Zink

Die Legierung CuZn0,5 (CW119C) enthält etwa 0,1 bis 1,0 % Zn und bis 0,02 % P und weist eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit auf. Sie ist sehr gut kaltumformbar, wasserstoffbeständig und außerdem gut schweiß- bzw. hartlötbar und findet daher hauptsächlich als Systemträgerwerkstoff in der Halbleitertechnik Anwendung. Wegen guter Tiefziehfähigkeit wird diese Legierung auch zur Herstellung von Hohlwaren aller Art und von Wärmeüberträgerelementen verwendet.
Zum **Weichlöten** eignen sich alle Zinn-Blei-Weichlote mit 40 bis 60% Sn und Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21). Kurzzeitiges Weichlöten führt noch zu keiner Entfestigung des kaltverformten Grundwerkstoffs. Das **Hartlöten** wird mit Silberhartloten unter Verwendung von Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1) durchgeführt.

Aushärtbare Legierungen

Im Gegensatz zu den kaltverfestigenden Knetlegierungen, die ihre durch Kaltumformung erzielte Festigkeit im Bereich der Erwärmung zumindest teilweise einbüßen, lassen sich gewisse Lötungen an aushärtbaren Legierungen ohne Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften ausführen. Ebenso können Löten und Wärmebehandeln in einem Arbeitsschritt vorgenommen werden.

I) Kupfer-Beryllium

Kupfer-Beryllium-Legierungen CuBe1,7 (CW100C) und CuBe2 (CW101C) mit 1,6 bis 2,1 % Be haben eine mittlere elektrische Leitfähigkeit, sehr hohe Zugfestigkeit im ausgehärteten Zustand und eine erhöhte Temperaturbeständigkeit. Die Anwendung erstreckt sich auf Federn aller Art, Membranen, verschleißfeste Teile und funkenarme Werkzeuge.
Die zu lötenden Teile aus diesen Legierungen sollten vorher entfettet und gebeizt werden, danach ist sofort zu löten, damit die Lötbarkeit nicht durch Anlauf-schichten herabgesetzt wird. Ist eine sofortige Lötung nicht möglich, sollte auf die zu lötende Oberfläche eine dünne Verkupfe-rung, Versilberung oder Verzinnung als Schutzschicht und Verbindungsschicht aufgebracht werden.

Bei diesen Werkstoffen betragen die Temperaturen für das Lösungsglühen 760 bis 800°C und für die Ausscheidungshärtung 315 bis 330°C (Anlaßtemperatur). Das **Weichlöten** wird grundsätzlich nach der Aushärtung mit geeigneten Weichloten durchgeführt, deren Fließtemperatur unter den üblichen Anlaßtemperaturen liegt. Am häufigsten wird mit L-Sn60PbCu bzw. S-Sn60Pb38Cu2 (L-Sn60PbCu2) oder mit bleifreiem, jedoch kupferhaltigem Sonderweichlot wie S-Sn97Cu3 (L-SnCu3) weichgelötet. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit können Weichlötflußmittel der Typen 3.2.2. (F-SW11) und 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) eingesetzt werden. Vorverzinnte Teile lassen sich mit kolophoniumhaltigen Flußmitteln der Typen 1.1.2. (F-SW26) und 1.1.3. (F-SW27) weichlöten.

Das **Hartlöten** wird nach Möglichkeit vor dem Aushärten durchgeführt. Dabei verwendet man zumeist niedrigschmelzende Silberhartlote mit niedrigen Arbeitstemperaturen zwischen 610 bis 650°C, wie z.B. AG302 (L-Ag45Cd), sowie Flußmittel, die niedrigschmelzende Fluoride hoher Aktivität enthalten. Um die Aushärtbarkeit nicht zu gefährden, muß schnell und gegebenenfalls unter Kühlung der Lötstellenumgebung erwärmt und nach dem Erstarren des Lotes in Wasser abgeschreckt werden. Bereits eine Lötzeit über 30 s hinaus beeinträchtigt die Aushärtbar-keit, deshalb ist ein schnelles Löten erforderlich.
Für Sonderfälle stehen hochschmelzende Hartlote, z.B. AG401 (L-Ag72) mit einer Arbeitstemperatur von 780°C, zur Verfügung. Dabei liegt die Löttemperatur stets im Lösungsbereich. Wegen der hohen Oxydationsneigung ist hierbei ein Arbeiten unter Schutzgas mit zusätzlichem Flußmittel zu empfehlen. Um die Aushärtungsfähigkeit zu sichern, werden die Teile nach dem Löten bis zum Erstarren der Lötverbindung auf etwa 760°C gehalten und anschließend in Wasser abgeschreckt.
Ein Anwendungsbeispiel zeigt das **Bild 22**.

II) Kupfer-Beryllium-Blei

Die CuBe 2Pb (CW102C) Legierung weist bis auf die durch Blei verbesserte Spanbarkeit die gleichen Eigenschaften wie CuBe2 auf. Das Weichlöten und Hartlöten erfolgt auch entsprechend.

III) Kupfer-Kobalt-Beryllium

Die Legierung CuCo2Be (CW104C) mit 2,0 bis 2,8 % Co und 0,4 bis 0,7 % Be stellt die hochleitfähige Variante der Kupfer-Beryllium-Legierungen dar. Sie weist bei etwas reduzierten Festigkeitswerten im Vergleich zu den hochfesten binären Kupfer-Beryllium-Legierungen eine mehr als doppelt so hohe elektrische Leitfähigkeit auf und ist auch wesentlich temperaturbeständiger. Hauptanwendungsgebiete sind stromführende und temperaturbelastete Federn, Teile für die Kunststoffverarbeitung und Elektroden von Widerstandsschweißmaschinen.
Die Ausführungen über das **Weich-** und **Hartlöten** von Kupfer-Beryllium (s. oben) gelten im wesentlichen auch für Kupfer-Kobalt-Beryllium. Beim Hartlöten können hochschmelzende Lote mit Arbeitstemperaturen von 870 bis 900°C. verwendet werden. Danach wird in Wasser abgeschreckt, wodurch der lösungsgeglühte Zustand vorliegt. Eine Aushärtungsbehandlung zwischen 450 und 480°C kann dann unmittelbar nachfolgen. Ausgehärtete Lötteile lassen sich mit einem niedrigschmelzenden Hartlot ohne wesentlichen Härteverlust hartlöten.

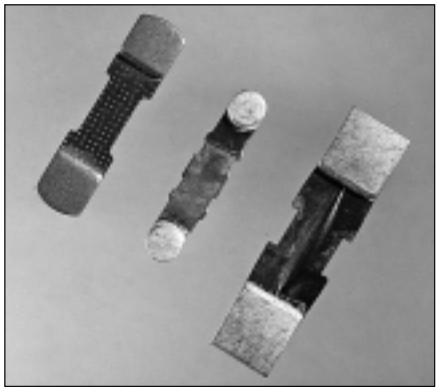

Bild 22 (DKI A 3979) Kontakte (Brücken CuBe1, 7 (CW100C) und Plättchen aus Silber), mittels Induktionslötung (Lötung max. 30 s) mit Hartlot L-Ag40Cd, nach DIN 8513, und Flußmittel FH10 (F-SH1) gelötet und anschließend ausgehärtet

V) Kupfer-Nickel-Beryllium

Als es vor einigen Jahren bei der Kobaltversorgung Engpässe gab, wurde die Legierung CuNi2Be (CW110C) entwickelt, wobei in der Kupfer-Kobalt-Beryllium-Legierung das Kobalt durch Nickel ersetzt wurde.
Diese Legierung ist in den mechanischen und physikalischen Eigenschaften praktisch mit CuCo2Be übereinstimmend. In der löttechnischen Verarbeitung beider Werkstoffe gibt es kaum Unterschiede.

V) Kupfer-Nickel-Silizium

Kupfer-Nickel-Silizium-Legierungen CuNi1Si (CW109C), CuNi2Si (CW111C) sowie CuNi3Si (CW112C) mit 1,0 bis 4,5 % Ni und 0,4 bis 1,3 % Si sind Werkstoffe mit mittlerer elektrischer Leitfähigkeit sowie hoher Zugfestigkeit und werden vornehmlich zur Herstellung von Schrauben, Bolzen und Freileitungsarmaturen eingesetzt.

Die Temperaturen für das **Weichlöten** liegen auch hier unter der Warmaushärtungstemperatur, so daß dabei die mechanischen Werte nicht nennenswert beeinflußt werden. Als Weichlote kommen Zinn-Blei-Lote mit Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-SW21) infrage. Zum **Hartlöten** sind Silberhartlote mit möglichst niedrigen Arbeitstemperatu-ren unter Verwendung von Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1) zu empfehlen. Die Festigkeitswerte der zu lötenden Teile wird durch Löttemperatur und Einwirkungszeit beeinträchtigt.

VI) Kupfer-Chrom-Zirkon

Die Legierung CuCrZr (CW106C) hat 0,3 bis 1,2 % Cr und 0,03 bis 0,3 % Zr. Sie ist bei erhöhten Temperaturen nicht kerbempfindlich wie Kupfer-Chrom (s. unten) und hat deshalb diesen Werkstoff aus seinen Anwendungsgebieten weitgehend verdrängt.
Beim **Weichlöten** tritt infolge der hohen Anlaßbeständigkeit warmausgehärteter Teile keine Minderung der Festigkeitswerte auf. Als Lote können nicht nur Zinn-Blei-Lote, sondern vor allem auch Sonderweichlote wie S-Sn96Ag4 bzw. S-Sn97Ag3 (L-SnAg5) oder S-Sn95Sb5 (L-SnSb5) mit Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) verwendet werden.

Zum **Hartlöten** werden vorzugsweise niedrigschmelzende Silberhartlote unter Verwendung von Flußmittel des Typs FH10 (F-SH1) eingesetzt. Sowohl die Anwärmung als auch der eigentliche Lötvorgang sollen von kurzer Dauer sein, da sonst bei den höheren Arbeitstemperaturen bereits mit einer zeitabhängigen Erweichung des Grundwerkstoffs gerechnet werden muß.

VII) Kupfer-Zirkon

Die gegenüber Glühungen in wasserstoffhaltiger Atmosphäre unempfindliche Kupfer-Zirkon-Legierung CuZr (CW120C) enthält 0,1 bis 0,3 % Zirkon und zeichnet sich durch sehr hohe Leitfähigkeit und Anlaßbeständigkeit bei hoher Festigkeit und Zeitstandfestigkeit (Kriechfestigkeit) aus. Bei höheren Temperaturen ist allerdings auf die hohe Affinität des Zirkons zum Sauerstoff und damit auf die Oxidation zu achten.
Das **Weichlöten** bereitet keine Schwierigkeiten. Wegen der hohen Entfestigungstemperatur können höher schmelzende Weichlote eingesetzt werden. Wenn aus Korrosionsgründen Flußmittel des Typs 3.2.2. (F-SW11) nicht zulässig sind, sind Flußmittel wie die Typen 2.1.2. bzw. 2.2.2. (F-SW25) oder 1.1.2. (F-SW26) erforderlich.
Beim **Hartlöten** mit niedrigschmelzenden Hartloten, deren Arbeitstemperaturen immer noch über der Entfestigungstemperatur dieser Kupfer-Zirkon-Legierung liegen, bleibt der ausgehärtete Zustand im vollen Umfang nur erhalten, wenn ein schnelles Löten sichergestellt wird.

VIII) Kupfer-Chrom

Die Kupfer-Chrom-Legierung CuCr (CW105C) mit 0,3 bis 1,2 % Cr ist als Knetwerkstoff wegen seiner Kerbempfindlichkeit bei höheren Temperaturen weitgehend durch die vorher beschriebene Kupfer-Chrom-Zirkon-Legierung substituiert worden und unterscheidet sich im Lötverhalten von dieser nicht wesentlich.
Dagegen wurde der Gußwerkstoff CC140C (G/GK-CuCrF35) in seinen Anwendungsbereichen beibehalten, da die Herstellung von Kupfer-Chrom-Zirkon-Gußlegierungen nicht oder nur sehr schwierig möglich ist. Diese Gußlegierung wird selten gelötet, unterscheidet sich in der Löteignung jedoch nicht von der o.g. Legierung.

Kupfer-Zink-Legierungen

Von allen Kupferlegierungen werden die Kupfer-Zink-Legierungen bei weitem am meisten verwendet und finden in fast allen Bereichen Anwendung. Gründe hierfür sind neben ihrer ansprechenden Farbe die leichte Bearbeitbarkeit sowie die guten physikalischen und Festigkeitseigenschaften. Man unterscheidet zwischen Kupfer-Zink-Legierungen

- ohne weitere Legierungselemente (binäre Kupfer-Zink-Legierungen bzw. Messing),
- mit Blei (Kupfer-Zink-Blei-Legierungen bzw. bleihaltiges Messing) und
- mit weiteren Legierungselementen (komplexe Kupfer-Zink-Legierungen bzw. Sondermessing).

Es existieren Kupfer-Zink- Knet- und Gußlegierungen.

Weichlöten

Obgleich die Elemente Zink und Zinn in Weichloten keine gegenseitige Verträglichkeit aufweisen, sind die binären und bleihaltigen Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und bleihaltiges Messing) prinzipiell gut weichlötbar.
Zum Weichlöten von diesen Kupfer-Zink-Legierungen müssen möglichst sog. antimonarme Lote (max. 0,5 % Sb) verwendet werden. Höhere Antimongehalte können durch Entstehung von spröden Antimon-Zink-Kristallen zur Lötbrüchigkeit in der Lötstelle und im Grundwerkstoff führen, wenn Zugspannungen vorliegen. Für große Teile, z.B. Fahrzeugkühler, verwendet man die zinnarmen Lote S-Pb90Sn10 bzw. S-Pb92Sn8 (L-PbSn8(Sb)) oder L-PbSn20Sb zum Flamm- und Tauchlöten. Für Zweitlötungen, auch mit dem Kolben, eignet sich das antimonarme Lot S-Pb60Sn40 (L-PbSn40 (Sb). Für Weichlötungen im Lebensmittelbereich, z.B. an Fittings und Armaturenteilen aus Kupfer-Zink-Legierungen in kupfernen Trinkwasserleitungen, sind die Sonderweichlote S-Sn97Ag3 bzw. S-Sn96Ag4 (L-SnAg5) und S-Sn97Cu3 (L-SnCu3) einzusetzen.
Im Gegensatz zu reinem Kupfer neigen kaltumgeformte Kupfer-Zink-Legierungen bei langen Lötzeiten und hoher Lotzufuhr sowohl beim Weich- als auch beim Hartlöten zur Lötbrüchigkeit. Beim Benetzen der Teile mit flüssigem Lot treten Brüche im Grundwerkstoff auf, wenn an der Lötstelle ein inhomogener Spannungszustand vorliegt. Die Gefahr der Lötbrüchigkeit ist besonders groß, wenn die zu lötenden Teile in der Phase der Lotbenetzung umgeformt werden.
Unter den binären Kupfer-Zink-Legierungen sind diejenigen mit α-Gefüge, z.B. CuZn30 (CW505L), für die Lötbrüchigkeit anfälliger als solche mit (α+β)-Gefüge, z.B. CuZn37 (CW508L). Im Zweifelsfall ist der Spannungszustand zu beseitigen, indem die kaltverfestigten Teile vor dem Löten spannungsarm- bzw. weichgeglüht werden. Bekanntlich tritt danach keine Lötbrüchigkeit mehr auf. Die beiden o.g. Werkstoffe sollten beim Schwallöten zur Behebung einer gewissen Lötträgheit vorverzinnt werden.
Zum Weichlöten werden Flußmittel der Typen 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21), 3.1.2. (F-SW22) und 2.1.2. bzw. 2.2.2. (F-SW25) eingesetzt.
Kupfer-Zink-Knetlegierungen mit weiteren Legierungszusätzen (Sondermessing) bereiten beim Weichlöten mit Ausnahme der aluminiumhaltigen Legierungen keine Schwierigkeiten. Bei den aluminiumhaltigen Kupfer-Zink-Legierungen können aufgrund der hohen Sauerstoffaffinität des Aluminiums (Oxidfilme) einige Probleme auftreten. Durch Verwendung von Sonderflußmitteln kann aber eine Auflösung der Oxidfilme erreicht werden.
Die Kupfer-Zink-Gußlegierungen werden selten weichgelötet; sie unterscheiden sich jedoch löttechnisch nicht wesentlich von den Knetlegierungen vergleichbarer Zusammensetzung.

Hartlöten

Mechanisch und thermisch höher beanspruchte Werkstücke aus Kupfer-Zink-Legierungen werden hartgelötet. Grundsätzlich besteht hierbei die Gefahr einer Lötrissigkeit, die jedoch durch Spannungsarmglühung und den Einsatz von niedrigschmelzenden Hartloten sowie durch Vermeidung von äußeren Spannungen zu verhindern ist.
Zum Hartlöten von binären Kupfer-Zink-Legierungen mit niedrigen Zinkgehalten eignen sich die Messinglote CU301 bis CU303 (L-CuZn40), ihre Arbeitstemperaturen liegen unter den Solidustemperaturen dieser Grundwerkstoffe. Darüber hinaus verwendet man je nach Arbeitstemperatur und geforderter Dehnbarkeit der Lötstelle silberhaltige Hartlote mit niedrigen Arbeitstemperaturen. Aufgrund der Erwärmung ist die Festigkeit der Lötstelle meist niedriger als die des Grundwerkstoffes. Bei ausreichender Überlappung treten etwaige Brüche nicht mehr an der Lötstelle, sondern in der weichgeglühten Randzone (Wärmeübergangszone) auf. In der Kupfer-rohrinstallation werden Fittings und Arma-turen aus Kupfer-Zink-Legierungen mit Kupfer auch durch Hartlöten mit CP105 (L-Ag2P) oder CP203 (L-CuP6) und Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1) verbunden. Phosphorhaltige Lote sind auf Messing nicht wie auf Reinkupfer selbstfließend und benötigen daher Flußmittel.
Bleihaltige Kupfer-Zink-Legierungen, insbesondere mit Pb-Gehalten von über 3 %, sind schlechter hartlötbar als die binären Legierungen und können auch spröde Lötstellen aufweisen. Sie sind unter Einschränkungen mit niedrigschmelzenden Silberhartloten und Flußmittel des Typs FH10 (F-SH1) hartlötbar.
Aluminiumhaltige Kupfer-Zink-Legierungen sind gut hartlötbar. Bei Aluminiumgehalten von mehr als 1% sind nur Flußmittel der Typen FH10 (F-SH1), FH11 (F-SH1a) bzw. FH40 (F-SH4) zu verwenden; als Hartlote können niedrigschmelzende Hartlote eingesetzt werden. Für korrosionsbeanspruchte Teile sollten aber Silberhartlote mit höheren Silbergehalten eingesetzt werden. Bei Meerwasserbeanspruchung werden nickelhaltige Silberlote AG351 (L-Ag50CdNi), AG403 (L-Ag56InNi) und AG502 (L-Ag49) empfohlen [4].
Die Kupfer-Zink-Gußlegierungen werden in gleicher Weise wie die Knetlegierungen hartgelötet.

Anwendungsbeispiele

Gelötete Komponenten aus Kupfer-Zink-Legierungen werden z.B. für Elektro- und Automobilindustrie, Kommunikations- und Haushaltsgerätetechnik, elektrische und mechanische Systeme usw. in größeren Stückzahlen gefertigt und in dieser Vielfalt eingesetzt. Die **Bilder 23 - 25** zeigen

Beispiele von weichgelöteten Bauteilen. Ein Beispiel von Hartlötung an Kupfer-Zink-Legierungen zeigt das **Bild 26**.

Kupfer-Zinn-Legierungen

Die Kupfer-Zinn-Legierungen sind wichtige Werkstoffe für die Elektrotechnik (stromführende Federn) und den Maschinenbau (Gleitelemente, Lagerbuchsen, Membranen), unterteilt in Knetlegierungen und Gußlegierungen.

Weichlöten

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen lassen sich ähnlich wie reines Kupfer gut weichlöten, obgleich die Benetzung etwas träger ist. Gegebenenfalls (wie z.B. beim Schwallöten) ist es ratsam, mit dem Lot S-Sn60Pb40E (L-Sn60Pb) vorzuverzinnen. Sonst werden zum Weichlöten Lote mit 50 bis 60 % Sn eingesetzt. Für Feinlötungen kommen als Flußmittel z.B. die Typen 1.1.2. (F-SW26), 1.1.1. (F-SW31) oder 1.1.3. (F-SW27 bzw. F-SW32), für allgemeine Lötungen 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) und 3.1.2. (F-SW22) infrage.
Kupfer-Zinn-Gußlegierungen werden kaum weichgelötet, verhalten sich jedoch löttechnisch wie die Knetlegierungen vergleichbarer Zusammensetzung.

Hartlöten

Auch bei den Kupfer-Zinn-Knetlegierungen bewirkt das Hartlöten eine Weichglühung an der Lötstelle. Vorzugsweise kommen hierbei niedrigschmelzende Silberhartlote, wie z. B. AG302 (L-Ag45Cd), und für Kapillarlötungen auch Kupfer-Phosphor-Lote, wie CP203 (L-CuP6) oder CP201 (L-CuP8), zum Einsatz. Anderenfalls be-

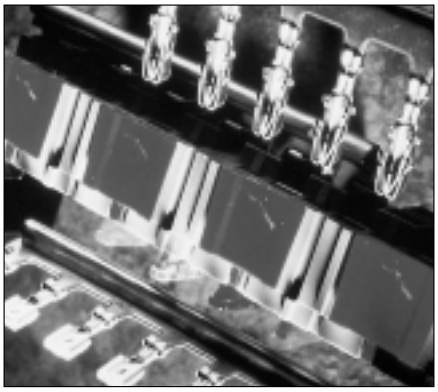

Bild 23 (DKI A 6012) Mit Lotpaste weichgelötete Bauteile aus Kupfer-Zink-Legierungen in Sicherungskasten für LKW

steht die Gefahr der Anschmelzung und damit der Versprödung infolge Grobkornbildung. Bei Arbeitstemperaturen unter 800°C werden Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1), über 800°C solche vom Typ FH20 (F-SH2) verwendet.
Gußteile aus Kupfer-Zinn-Legierungen, die weniger als 1,5 % Pb enthalten, lassen sich mit Silberloten gut hartlöten. Bei Meerwasserbeanspruchung sollte das Hartlot einen Silbergehalt von etwa 50 % haben. Als Fluß-mittel können die o.g. verwendet werden.

Bild 24 (DKI A 3980) Abdeckplatte auf Federbalgen (bestehend aus unterschiedlichen Kupfer-Zink-Legierungen) durch Flammlötung und mit Sonderweichlot S-Pb98Ag2 (L-PbAg3) sowie Flußmittel des Typs 3.1.1. (F-SW21) weichgelötet

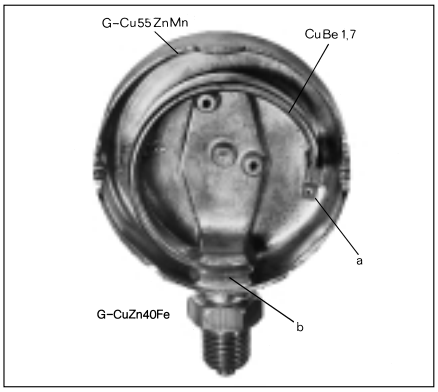

Bild 25 (DKI A 3981) Mittels Induktionslötung mit Weichlot S-Pb50Sn50E (L-Sn50Pb) und Flußmittel 2.1.2. (F-SW25) weichgelötetes Manometergehäuse aus G-CuZn40Fe nach DIN 1709; a) Anschluß für Zeiger, b) Einlöten des Federrohres aus CuBe1,7 (CW100C)

Bild 26 (DKI A 1295) Hochdruckventil, hartgelötet mit L-Ag40Cd nach DIN 8513; Mittelteil aus CuZn39Pb3 (CW614N), Anschlußrohre aus SF-Cu (CW024A)

Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen

Kupfer-Nickel-Zink-Knetlegierungen (Neusilber) werden in der Elektrotechnik als Federwerkstoffe, im Bauwesen, in der Feinmechanik und im Kunstgewerbe eingesetzt. Die Gußlegierungen, die z.B. für Schiffsbeschläge, Armaturen und Kunstguß verwendet werden, sind in EN nicht erfaßt.
Kupfer-Nickel-Zink-Gußlegierungen verhalten sich löttechnisch ähnlich wie die Kupfer-Zink-Knetlegierungen.

Weichlöten

Zum Weichlöten wird neben den alt bewährten Blei-Zinn-Loten bevorzugt das Weichlot S-Sn97Ag3 bzw. S-Sn96Ag4 (L-SnAg5) eingesetzt, weil es eine bessere Bindungs- und Benetzungsfähigkeit hat und sich beim Beizen von Ziergegenständen und Haushaltgeräten und bei einer späteren galvanischen Behandlung günstiger verhält. Die beim Weichlöten auftretenden Temperaturen führen zu keiner Entfestigung der kaltverfestigten Grundwerkstoffe. Voraussetzung für eine gute Benetzung der Lötstellen sind fett- und oxidfreie Oberflächen.
Zur Sicherstellung einer optimalen Benetzung sollten die zu lötenden Oberflächen vorher besonders sorgfältig gebeizt (z.B. mit 10%iger Schwefelsäure) und entfettet werden [11]. Als Flußmittel sind dann die stark aktivierten Typen 3.2.2. (F-SW11) oder 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) zu verwenden.

Hartlöten

Hartlöten von Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen kann mit silberhaltigen Hartloten erfolgen, wobei das Silberhartlot AG306 (L-Ag30Cd) eine ähnliche Farbe wie die des Grundwerkstoffs aufweist. Das meist eingesetzte Messinglot L-ZnCu42 hat dieselbe silbergraue Farbe wie die Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen. Als Flußmittel sind z.B. die vom Typ FH10 (F-SH1) geeignet. Zu beachten ist beim Hartlöten die Beeinträchtigung der durch Kaltumformung erreichten Festigkeitseigenschaften.

Bleihaltige Kupfer-Nickel-ZinkLegierungen neigen bei Glühung zu Rißbildung, insbesondere nach starker Kaltumformung. Daher sollten beim Hartlöten dieser Legierungen niedrigschmelzende Silberhartlote eingesetzt und nicht zu schnell erwärmt werden.

Kupfer-Nickel-Legierungen

Kupfer-Nickel-Legierungen gehören zu den korrosionsbeständigsten Kupferwerkstoffen. Die Knetlegierungen sind wichtige Werkstoffe für den Schiffbau (insbesondere Kondensatoren und Seewasserleitungen), den Apparatebau und die Elektrotechnik, z.B. als Widerstandswerkstoffe. Die Gußlegierungen werden außer im Schiffbau auch im Maschinenbau, in der chemischen Industrie usw. eingesetzt.

Weichlöten

Diese Legierungen verhalten sich löttechnisch etwa wie reines Kupfer. Die etwas träge Benetzung beim Weichlöten ist durch den Einsatz von Sonderflußmitteln auszugleichen; in Ausnahmefällen ist vorzuverzinnen. Hierzu eignen sich bleifreie Zinn-Silber- und Zinn-Kupfer-Weichlote, wie z.B. S-Sn96Ag4 bzw. S-Sn97Ag3 (L-SnAg5) oder S-Sn97Cu3 (L-SnCu3), die im Vergleich zu den früher verwendeten bleihaltigen Zinnloten bessere Festigkeitseigenschaften sowie höhere Korrosions- und Temperaturbeständigkeit haben. Als Flußmittel werden die Typen 3.2.2. (F-SW11) oder 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) eingesetzt.
Kupfer-Nickel-Legierungen werden für die Anwendungen in der Elektrotechnik sehr

oft vorverzinnt oder vorversilbert und danach mit kolophoniumhaltigen Flußmitteln vom Typ 1.1.2. (F-SW26) oder 1.1.3. (F-SW27 bzw. F-SW32) weichgelötet. Dagegen hat die speziell für federnde Bauelemente verwendete Legierung CuNi9Sn2 (CW351H) eine sehr gute Anlaufbeständigkeit und ist deshalb auch nach langer Lagerungszeit sehr gut lötbar. Für Lötungen an elektrischen Widerständen, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, werden höherschmelzende Sonderweichlote eingesetzt
Die Kupfer-Nickel-Gußlegierungen werden kaum weichgelötet.

Hartlöten

Kupfer-Nickel-Legierungen haben eine höhere Solidustemperatur als Kupfer, daher ist das Hartlöten vor allem bei Legierungen mit höheren Nickelgehalten auch mit reinem Kupfer möglich. Im allgemeinen werden jedoch Kupferhartlote, wie z.B. CU301 bis CU303 (L-CuZn40), CU306 (L-CuZn39Sn) oder CU305 (L-CuNi10Zn42), sowie Silberhartlote in Verbindung mit vor Oxidation schützenden Flußmitteln des Typs FH10 (F-SH1) eingesetzt. Es können auch farbähnliche Hartlote wie L-ZnCu42 und AG306 (L-Ag30Cd) verwendet werden. Um eine Lötbrüchigkeit zu vermeiden, sollten allerdings die eingesetzten Lote auf jeden Fall phosphorfrei sein.
Das Hartlöten von manganhaltigen Kupfer-Nickel-Legierun-gen erfolgt bevorzugt mit den o.g. farbähnlichen Loten. Für die eisenhaltigen Kupfer-Nickel-Legierungen wird meist CU305 (L-CuNi10Zn42) und AG203 (L-Ag44) verwendet. Für korrosionsbeanspruchte Lötstellen sollten in-dessen nur hochsilberhaltige Lote eingesetzt werden, so kommt z.B. bei Meerwasserbeanspruchung das Hartlot AG301 L-Ag50Cd) zum Einsatz. Die Hartlöteignung der Kupfer-Nickel-Gußlegierungen entspricht dem der Knetlegierungen mit ähnlicher Legierungszusammensetzung.

Kupfer-Aluminium-Legierungen

Kupfer-Aluminium-Legierungen (Aluminiumbronzen) zeichnen sich durch eine außerordentlich hohe Kavitationsfestigkeit aus und gehören darüber hinaus auch zu den korrosionsbeständigsten Kupferwerkstoffen. Daher sind sie als Knet- und Gußlegierungen unentbehrliche Werkstoffe für die chemische Industrie und den Maschinenbau.
Sowohl beim Weich- als auch Hartlöten von Kupfer-Aluminium-Legierungen sind zwecks Auflösung der chemisch sehr widerstandsfähigen Aluminiumoxide immer Sonderflußmittel erforderlich.
Die Kupfer-Aluminium-Gußlegierungen werden kaum gelötet, verhalten sich jedoch löttechnisch wie die Knetlegierungen vergleichbarer Zusammensetzungen.

Weichlöten

Kupfer-Aluminium-Legierungen werden selten weichgelötet, da sich die Benetzbarkeit der Grundwerkstoffe mit steigendem Aluminiumgehalt verschlechtert, so daß eine Bindung ganz schwer und nur mit Hilfe spezieller Flußmittel erfolgen kann. Als Weichlote kommen für Einzellötungen insbesondere S-Sn96Ag4 bzw. S-Sn97Ag3 (L-SnAg5) und für höhere Temperaturbeanspruchungen L-CdAg5 infrage. Dabei werden Sonderflußmittel vom Typ 2.1.3. (F-LW2) eingesetzt.

Hartlöten

Das Hartlöten bereitet wenig Schwierigkeiten, sofern auch hier geeignete Flußmittel verwendet werden. Als Hartlote kommen Silberhartlote mit niedrigen bis mittleren Arbeitstemperaturen, z.B. AG301 (L-Ag50Cd), zum Einsatz. Bei Anforderungen an Meerwasserbeständigkeit wird AG203 (L-Ag44) bevorzugt verwendet. Zum Hartlöten werden Sonderflußmittel vom Typ FL20 (F-LH2) eingesetzt.

Kupfer-Zinn-Zink-Gußlegierungen

Die Kupfer-Zinn-Zink-Gußlegierungen (Rotguß) verfügen über gute Gleit- und Notlaufeigen-schaften oder aber hohe Kavitations- und Verschleißfestigkeit sowie Beständigkeit in Meerwasser. So werden sie vor allem für Armaturen, Ventil- und Pumpengehäuse, Fittings und Gleitlager eingesetzt.
Zum **Weichlöten** sind je nach Verwendungszweck ausgewählte Zinn-Bleilote mit min. 60 % Sn gut geeignet. Als Flußmittel kommen die Typen 3.1.1. (F-SW12 bzw. F-SW21) und 3.1.2. (F-SW22) infrage. Fittings bzw. Armaturenteile aus Rotguß für Trinkwasserleitungen werden in der Kupferrohrinstallation mit den blei- und antimonfreien Sonderweichloten weichgelötet (s. Kap. 5.1.1 und 5.3.1).
Gußteile, die weniger als 1,5 % Pb enthalten, lassen sich unter Einsatz von Silberhartloten mit min. 30 % Ag und Flußmitteln des Typs FH10 (F-SH1) gut **hartlöten**. Praktische Bedeutung hat das Hartlöten von Kupferrohren mit Rotgußflanschen im Apparatebau. Für Meerwasserleitungen sind die Vorschriften der Klassifikationsgesellschaften zu beachten, wobei der Ag-Gehalt der einzusetzenden Hartlote etwa 50 % beträgt. In der Kupferrohrinstallation für Trinkwasserleitungen kommen bei Verwendung von Rotgußfittings die Hartlote CP105 (L-Ag2P) oder CP203 (L-CuP6) unter Verwendung von Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1) zum Einsatz.

Kupfer-Blei-Zinn-Gußlegierungen

Diese Gußlegierungen (Guß-Zinn-Blei-Bronzen) sind wichtige Konstruktions- und Lagerwerkstoffe, die kaum gelötet werden. Zum **Weichlöten** kommen ggf. Zinn-Bleilote mit 50 bis 60% Sn und Flußmittel vom Typ 3.1.1. (F-Sw12 bzw. F-SW21) und 3.1.2. (F-SW22), zum **Hartlöten** niedrigschmelzende Silberhartlote, wie z.B. AG302 (L-Ag45Cd) und Flußmittel vom Typ FH10 (F-SH1) infrage, wobei die Hartlöteignung deutlich eingeschränkt ist. Bei höheren Bleigehalten muß sogar mit massiven Diffusionserscheinungen gerechnet werden.

Löten von Kupferwerkstoffen untereinander und mit anderen Werkstoffen

In der Praxis werden oft Kupferwerkstoffe verschiedener Art untereinander oder auch mit anderen Metallen gefügt; für eine Reihe von Anwendungen kommen beispielsweise durch das Hartlöten hergestellte Verbin-dungen von Kupferwerkstoffen und Stahl zum Einsatz [12]. Die Auswahl der Lötstoffe wird von dem Werkstoff bestimmt, der die schlechtere Löteignung besitzt. Für Ge-staltung und Lötverfahren sind die unterschiedlichen Eigenschaften wie Wärme-leitfähigkeit, Wärmeausdehnung und spezifische Wärme der zu verbindenden Werkstoffe zu beachten. Einige Anwendungsbeispiele zeigen die **Bilder 27** bis **31**.

Außerdem wurden aufgrund zunehmender Bedeutung von Metall/Keramik-Verbunden für industrielle Anwendungen entsprechende Lösungen entwickelt und die Eigenschaften solcher Kombinationen untersucht, so können z.B. Kupfer und Al_2O_3 mit Sonderloten hartgelötet oder aber mit Zinn-Blei-Loten weichgelötet werden [13-15].

Literatur

[1] Brown, L.: Joining copper and copper alloys. Welding & Metal Fabrication, 63 (1995), S. 18-21

[2] Lüder, W.: Handbuch der Löttechnik. Verlag Technik, 1952

[3] Löten von Kupfer und Kupferlegierungen. DKI-Fachbuch, Deutsches Kupfer-Institut, Berlin 1969

[4] Müller, W. und Müller, J.-U,: Löttechnik - Leitfaden für die Praxis. Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 127, Deutscher Verlag für Schweißtechnik DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf 1996

[5] van't Hoen, A.: Die Entwicklung der neueren Flußmittel zum Weichlöten und die damit verbundene Problematik. Metall 21(1967), S. 795-8

[6] Roberts, P.: Coping without cadmium. Welding & Metal Fabrication 47 (1979), S. 35-46

[7] Technik die verbindet. Berichte aus Forschung und Praxis Heft 2, Degussa AG, Hanau

[8] Technik die verbindet. Berichte aus Forschung und Praxis Heft 36, Degussa AG, Hanau

[9] Laubmeyer, G. und Kupke, W.: Weichlöten in der Elektronik. Fachverlag Schiele & Schön, Berlin 1967

[10] Die fachgerechte Kupferrohr-Installation. DKI - Informationsdruck Nr. i. 158,

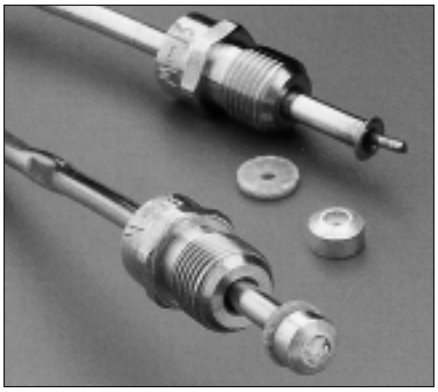

Bild 27 (DKI A 6013)Thermofühlermontage aus unterschiedlichen Werkstoffen durch Erwärmung einer aufgebrachten Lötpaste

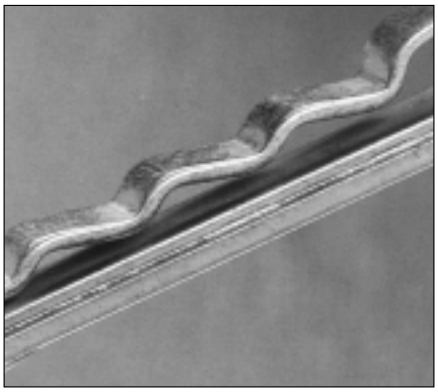

Bild 28 (DKI A 6014) Krawattennadel, hergestellt aus Messing und Kupfer mittels Lötpaste

Bild 29 (DKI A 4624) Büchse aus Messing, hartgelötet mit Silber-Cadmium-Silizium-Lot und Flußmittel FH10 (F-SH1) an Edelstahlplatte

Bild 30 (DKI A 4623) Induktionsspule aus CuCr (CW105C) weichgelötet mit S-Sn50Pb49Cu1 (L-Sn60PbCu) und Flußmittel 2.1.2. (F-SW25) an Messing.

Bild 31 (DKI A 4625) Mit AG306 (L-Ag30Cd) und Flußmittel FH10 (F-SH1) hart eingelötete Kapillarröhrchen aus Edelstahl in Messingfühler und Meßbalgen (Messing mit ca. 20 % Zn), der mit flußmittelgefülltem Weichlot eingelötet wurde

Deutsches Kupfer-Institut, Düsseldorf 1998

[11] Mechanische, chemische und elektrolytische Oberflächenvorbehandlung von Kupfer und Kupferlegierungen. DKI-Informationsdruck Nr. i. 023, Deutsches Kupfer-Institut, Berlin 1990

[12] Wittke, K. und Bleul, E.: Ofenlöten von Kupfer-Stahl-Verbindungen mit Silberloten an Kältemittelverdichtern. Schweißen und Schneiden 43 (1991) 7, S. 394-7

[13] Kuzumaki, T., Ariga, T., Miyamoto, Y., and Kobayashi, T.: Brazing of Alumina to Copper Using Cu-Ti-Co. ISIJ International, 30 (1990) 5, S. 403-8

[14] Türpe, M.: Temperaturwechselverhalten gelöteter Metall-Keramik-Verbunde. Metall, 50 (1996) 5, S. 340-4

[15] Naka, M. and Taniguchi, H.: Ultrasonic Soldering of Alumina to Copper Using Sn-Pb Solders. Transactions of JWRI, 20 (1991) 2, S. 113-8

[16] Schweißen und Schneiden 50 (1998) 1, S. 81

[17] Wittke, K.: Löten. Wissenschaftliche Schriftenreihe der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt. 10/1980

[18] Koschlig, M.: Weichlöten – die zuverlässige Fügetechnik in der Kupferrohrinstallation. Tagungsband DKI-Workshop 2: Die Anwendung von Kupfer rohren in der Hausinstallation, bautec´96 Berlin, Kap. 3

Normen[1)]

Löttechnische Normen

DIN 8505 T 1, 2 Löten; Allgemeines, Begriffe
DIN EN ISO 3677 Zusätze zum Weich- und Hartlöten, Bezeichnungen
DIN EN 29453 Weichlote - Chemische Zusammensetzung und Lieferformen
E DIN 1707, T 100 Weichlote - Chemische Zusammensetzung und Lieferformen
DIN 8526 Prüfung von Weichlötverbindungen - Mechanische Prüfungen
DIN EN 29454-1 Flußmittel zum Weich-löten - Einteilung und Anforderungen -
T 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung
ISO 9454-2 Flußmittel zum Weichlöten - Einteilung und Anforderungen -
T 2: Eignungsanforderungen
DIN EN 29455-1 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 1: Bestimmung von nichtflüchtigen Stoffen, Gravimetrische Methode
DIN EN ISO 9455-2 Flußmittel zumWeichlöten - Prüfverfahren - T 2: Bestimmung von nichtflüchtigen Stoffen, Ebulliometrische Methode
DIN EN ISO 9455-3 Flußmittel zumWeichlöten - Prüfverfahren - T 3: Bestimmung des Säurewertes, Potentiometrische und visuelle Titrationsmethode
DIN EN 29455-5 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 5: Kupferspiegeltest
DIN EN ISO 9455-6 Flußmittel zumWeichlöten - Prüfverfahren - T 6: Bestimmung und Nachweis des Halogenidgehaltes (ausgeschlossen Fluorid)
DIN EN 29455-8 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 8: Bestimmung des Zinkgehaltes
DIN EN ISO 9455-9 Flußmittel zumWeichlöten - Prüfverfahren - T 9: Bestimmung des Ammoniumgehaltes
ISO 9455-10 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 10: Benetzungsprüfung, Ausbreitungsmethode
DIN EN 29455-11 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 11: Löslichkeit von Flußmittelrückständen
DIN EN ISO 9455-12 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 12: Stahl-Röhrchen-Korrosionstest
E DIN ISO 9455-13[2)] Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 13: Bestimmung von Flußmittelspritzern
DIN EN 29455-14 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 14: Bestimmung des Haftvermögens
DIN ISO 9455-15 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 15: Kupfer-Korrosionstest
ISO 9455-16 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 16: Bestimmung der Wirksamkeit des Flußmittels, Benetzungsprüfung
ISO/CD 9455-17 Flußmittel zum Weichlöten - Prüfverfahren - T 1: Bestimmung des Widerstandes der Oberflächenisolierung, Kammprüfung und elektrochemische Migrationsprüfung von Flußmittelrückständen
DIN EN ISO 10564 Zusätze zum Weich- und Hartlöten - Probenahme von Weichloten für die Analyse
DIN ISO 12224-1 Lötdrähte, massiv und gefüllt - Anforderungen und Prüfverfahren - T 1 : Einteilung und Eigenschaftsanforderungen
DIN EN ISO 12224-2 Lötdrähte, massiv und gefüllt - Anforderungen und Prüfverfahren - T 2: Bestimmung des Flußmittelgehaltes
ISO/CD 12224-3 Lötdrähte, massiv und gefüllt - Anforderungen und Prüfverfahren - T 3: Benetzungsprüfung
E DIN EN ISO 12226-1 Weichlotpasten - T 1: Einteilung und Prüfverfahren
ISO/CD 12226-2 Weichlotpasten - T 2 : Eignungsanforderungen

DIN EN 1044 Schweißen - Hartlote
DIN EN 1045 Schweißen - Flußmittel zum Hartlöten - Einteilung
DIN EN 12797[2)] Zerstörende Prüfung von Hartlötverbindungen
DIN EN 12799[2)] Zerstörungsfreie Prüfung von Hartlötverbindungen
DIN 8514 T 1 Lötbarkeit, Begriffe
DIN 8515 T 1 Fehler an Lötverbindungen aus metallischen Werkstoffen
DIN 65169 Luft- und Raumfahrt; Hart- und hochtemperaturgelötete Bauteile; Konstruktionsrichtlinien
DIN EN 1057 Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen für Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen
DIN EN 1254-1 Fittings für Lötverbindungen, Technische Lieferbedingungen

Werkstoffnormen (Zusammensetzung)

DIN V 17900 Kupfer und Kupferlegierungen- Europäische Werkstoffe- Übersicht über Zusammensetzungen und Produkte

EN 1982
Kupfer und Kupferlegierungen - Blockmetalle und Gußstücke

[1)] Diese Liste erhebt keinen Anspruch der Vollständigkeit. Gültig sind jeweils die neuesten Ausgaben der Normen. Infolge der geltenden Verpflichtung, EN-Normen in das nationale Normenwerk zu übernehmen, werden die DIN-Normen sukzessive durch EN-Normen ersetzt.

ISO = ISO-Norm; ISO/DIS = ISO-Norm-Entwurf; ISO/CD = ISO-Bearbeitungsdokument; E = in Entwurfphase

[2)] in Vorbereitung

Bildnachweis

CHEMET GmbH, Postfach 12 09, 56419 Wirges : 2 a-d, 25, 29, 30, 31

Degussa AG, Postfach 13 45, 63403 Hanau : 17, 18, 22, 26

FELDER GmbH, Postfach 1004 10, 46004 Oberhausen : 5

GLT, Rennfelderstr. 18, 75173Pforzheim: 23, 27, 28

SIEMENS AG, Nonnendammallee 101, 13629 Berlin : 19, 20, 21

ZEVATRON Löttechnik GmbH, Postfach 12 60, 34468 Volkmarsen : 6, 7

* * *

DKI-Sonderdrucke

Verhalten von Kupferoberflächen an der Atmosphäre
Bestellnummer s. 131

Konstruktive Gestaltung von Formgußstücken aus Kupferwerkstoffen
Bestellnummer s. 133

Dachdeckung und Außenwandbekleidung mit Kupfer
Bestellnummer s. 145/149

Dachentwässerung mit Kupfer
Bestellnummer s. 146

Die Korrosionsbeständigkeit metallischer Automobilbremsleitungen – Mängelhäufigkeit in Deutschland und Schweden
Bestellnummer s. 161

Emaillieren von Kupfer und Tombak
Bestellnummer s. 163

Schwermetall-Schleuder- und Stranggußtechnische und wirtschaftliche Möglichkeiten
Bestellnummer s. 165

Einsatz von Kupfer- und Kupferlegierungsdrähten für nichtelektrische Anwendungen
Bestellnummer s. 168

Rohrwerkstoffe im Vergleich
Entscheidung mit Hilfe der Herstellkosten
Bestellnummer s. 175

Grundlegende korrosionschemische Eigenschaften von Kupferwerkstoffen
Bestellnummer s. 176

Korrosion und Korrosionsschäden an Kupfer und Kupferwerkstoffen in Trinkwasserinstallationen
Bestellnummer s. 177

Zeitstandeigenschaften und Bemessungskennwerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau
Bestellnummer s. 178

Planung und Verlegung von Kupferrohr-Fußbodenheizungen
Bestellnummer s. 179

Kupferrohre im Heizungsbau
Bestellnummer s. 181

Netzbelastung durch Oberschwingungen
Bestellnummer s. 182

Wechselwirkungen zwischen Kupfer und Umgebung
Bestellnummer s. 187

Kupferwerkstoffe
Bestellnummer s. 188

60 Jahre DKI
Bestellnummer s. 190

Ergänzende Zeitstandversuche an den beiden Apparatewerkstoffen SF-Cu und CuZn2OAl2
Bestellnummer s. 191

Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung von Gesenkschmiedestücken
Bestellnummer s. 194

Versickerung von Dachablaufwasser
Bestellnummer s. 195

Kupfer in kommunalen Abwässern und Klärschlämmen
Bestellnummer s. 197

Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung
Bestellnummer s. 198

Sachbilanz zur Kupfererzeugung unter Berücksichtigung der Endenergien
Bestellnummer s. 199

Einsatz CuNi1OFe1Mn plattierter Bleche für Schiffs- und Bootskörper
Use of Copper-Nickel Cladding on Ship and Boat Hulls
Bestellnummer s. 201

Kupfer-Nickel-Bekleidungen für Offshore-Plattformen
Copper-Nickel Cladding for Offshore Structures
Bestellnummer s. 202

Werkstoffe für Seewasser-Rohrleitungssysteme
Materials for Seawater Pipeline Systems
Bestellnummer s. 203

Untersuchung zur Bleiabgabe der Messinglegierung CuZn39Pb3 an Trinkwasser
Bestellnummer s. 200

Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?
Bestellnummer s. 210

Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen
Bestellnummer s. 211

DKI-Informationsdrucke

Energiesparpotential bei Motoren und Transformatoren
Bestellnummer i. 1

Kupfer/Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung, Verwendung
Bestellnummer i. 4

Niedriglegierte Kupferwerkstoffe
Bestellnummer i. 8

Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing)
Bestellnummer i. 5

Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)
Bestellnummer i. 13

Kupfer-Nickel-Legierungen
Bestellnummer i. 14

Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen)
Bestellnummer i. 15

Kupfer-Aluminium-Legierungen
Bestellnummer i. 6

Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen
Bestellnummer i. 7

Löten von Kupfer und Kupferlegierungen
Bestellnummer i. 3

Schweißen von Kupfer
Bestellnummer i. 11

Schweißen von Kupferlegierungen
Bestellnummer i. 12

Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen
Bestellnummer i. 18

Kupfer – Lebensmittel – Gesundheit
Bestellnummer i. 19

Kupferwerkstoffe im Automobilbau
Bestellnummer i. 9

Kupferwerkstoffe in der Elektrotechnik und Elektronik
Bestellnummer i. 10

Bänder und Drähte aus Kupferwerkstoffen für Bauelemente der Elektrotechnik und der Elektronik
Bestellnummer i. 20

Rohre aus Kupfer-Zink-Legierungen
Bestellnummer i. 21

Bänder, Bleche, Streifen aus Kupfer-Zink-Legierungen
Bestellnummer i. 22

Mechanische, chemische und elektrolytische Oberflächenvorbehandlung von Kupfer und Kupferlegierungen
Bestellnummer i. 23

Beschichten von Kupfer und Kupfer-Zink-Legierungen mit farblosen Transparentlacken
Bestellnummer i. 24

Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zink- und Kupfer-Blei-Zinn-Gußlegierungen (Guß-Zinnbronze, Rotguß und Guß-Zinn-Bleibronze)
Bestellnummer i. 25

Kupfer im Trinkwasser
Bestellnummer i. 26

Recycling von Kupferwerkstoffen
Bestellnummer i. 27

Kupfer und Kupferwerkstoffe ein Beitrag zur öffentlichen Gesundheitsvorsorge
Bestellnummer i. 28

Gewichtstabellen für Kupfer und Kupferlegierungen
Bestellnummer i. 29

Durchführungsanleitungen für die Kupferrohrverarbeitung zum Rahmenlehrplan GWI 1/92 „Unlösbare Rohrverbindung und Rohrverarbeitung"
Bestellnummer i. 157

Die fachgerechte Kupferrohr-Installation
Bestellnummer i. 158

Verbinden von Kupferrohren
Bestellnummer i. 159

Die fachgerechte Installation von thermischen Solaranlagen
Bestellnummer i. 160

DKI-Fachbücher

Kupfer	DM 31,40
Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen	DM 33,20
Chemische Färbungen von Kupfer und Kupferlegierungen	DM 18,20
Treiben von Kupfer und Kupferlegierungen	DM 22,50
Kupfer als Werkstoff für Wasserleitungen	DM 19,80
Kupferrohre in der Heizungstechnik	DM 24,80
Kupfer in der Landwirtschaft	DM 32,00
Guß aus Kupfer und Kupferlegierungen – Technische Richtlinien	DM 8,50
Kupferrohrnetzberechnung	kostenlos
Kupfer im Hochbau	Preis auf Anfrage
Planungsleitfaden Kupfer-Messing-Bronze	Preis auf Anfrage

Werkstoffdatenblätter DM 1,50

SF-Cu, E-Cu57, CuFe2P, CuCrZr, CuZn30, CuZn36, CuZn37, CuZn39Pb2, CuZn39Pb3, CuZn40Pb2, CuNi9Sn2, CuSn4, CuSn6, CuSn8, G-CuSn5ZnPb, GD-, GK-CuZn37Pb, G-, GZ-, GC-CuSn7ZnPb, G-, GK-, GZ-, GC-CuAl10Ni

Informationsbroschüren

Dienstleistungs- und Verlagsverzeichnis

Kupfer in der Elektrotechnik – Kabel und Leitungen

Dekorativer Innenausbau mit Kupferwerkstoffen

Kupfer in unserer Umwelt

Natürlich Kupfer – Kupfer ökologisch gesehen

Public Design mit Kupfer Messing Bronze
Kupferwerkstoffe in der Umweltgestaltung

Türgriffe: Eine Infektionsquelle in Krankenhäusern

Doorknobs: a source of nosocomial infection?

Kupfer – lebenswichtiges Spurenelement

Wieviel Blei gelangt ins Trinkwasser?

Kupfer spart Energie

Messing – ästhetisch und beständig

Messing ja – Spannungsrißkorrosion muß nicht sein!

Ausschreibungsunterlagen für Klempnerarbeiten an Dach und Fassade

Lernprogramm

Die fachgerechte Kupferrohr-Installation	DM 15,80***

Lehrhilfen

Kupferrohrinstallation Foliensatz zum Lernprogramm	DM 120,00***
Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempnertechnik	DM 55,00
Werkstofftechnik – Herstellungsverfahren 2 Sammelmappen mit farbigen Klarsichtfolien und Texterläuterungen	Band I DM 250,00**
	Band II DM 200,00**

Filmdienst des DKI

Das Deutsche Kupfer-Institut verleiht kostenlos die nachstehend aufgeführten Filme und Videos:

„Kupfer in unserem Leben" Videokassette, 20 Min.	Schutzgebühr DM 42,50 Verleih kostenlos
„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren" Lehrfilm Videokassette, 15 Min.	Schutzgebühr DM 20,00 Verleih kostenlos
„Kupfer in der Klempnertechnik" Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.	Schutzgebühr DM 20,00 Verleih kostenlos

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

** Dozenten im Fach Werkstofftechnik an Hochschulen erhalten die Mappen kostenlos

*** Sonderkonditionen für Berufsschulen.

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