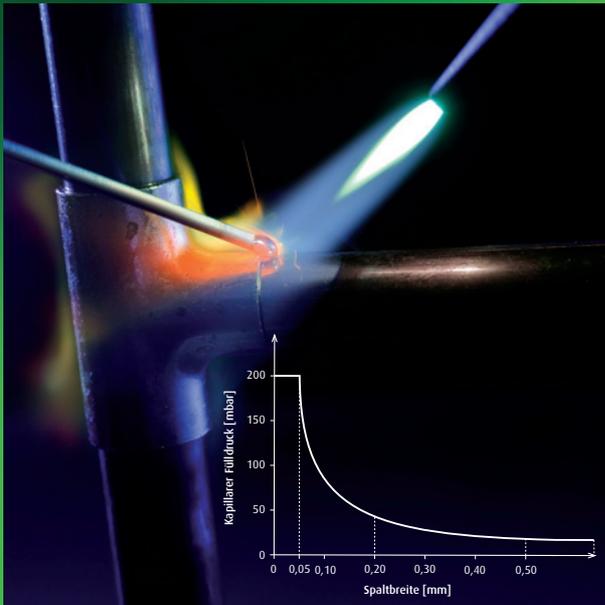


Grundlagen des Lötens



Brazing is BrazeTec 

Brazing is BrazeTec 

Grundlagen des Lötens

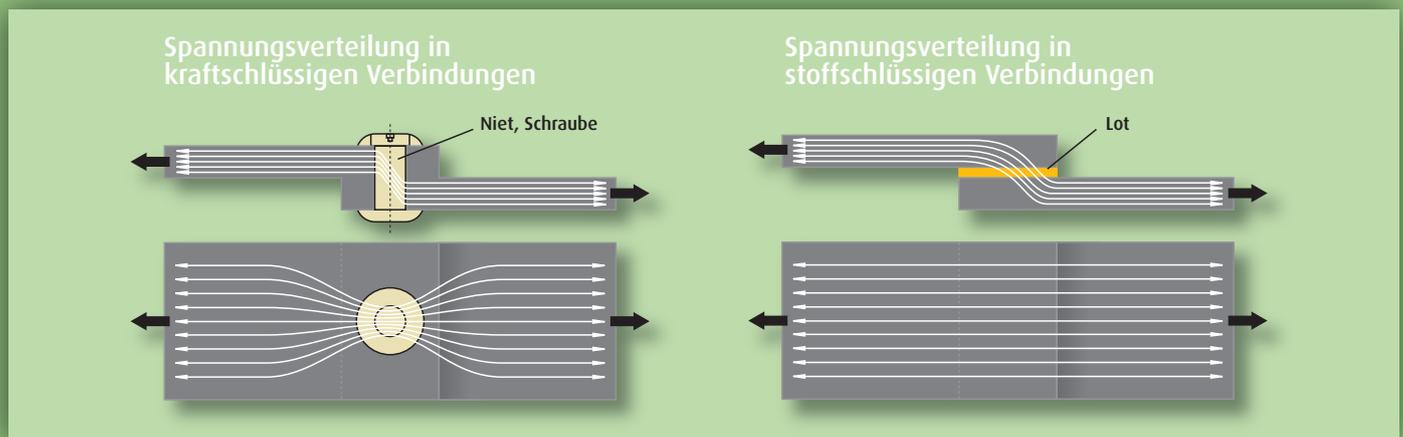
Von Dipl.-Ing. Daniel Schnee
Technical Materials
BrazeTec

Seite 4	1. Einführung
Seite 6	2. Metallkundliche & physikalisch-technische Grundlagen
Seite 10	3. Benetzungsvorgang & Diffusion
Seite 12	4. Lötverfahren
Seite 15	5. Lote
Seite 16	6. Flussmittel
Seite 19	7. Lötbarkeit der Bauteile
Seite 20	8. Anhang
Seite 22	9. Glossar

1. Einführung

In der Verbindungstechnik wird zwischen kraftschlüssigen und stoffschlüssigen Verbindungen unterschieden. Kraftschlüssige Verbindungen werden durch einen Niet oder eine Schraube hergestellt. Zu den stoffschlüssigen Verbindungen zählen das Kleben, das Schweißen und das Löten – siehe **Bild 1**.

Bild 1 | Verbindungsarten



Löten ist ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen, lösbaren Fügen und Beschichten von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes (Schmelzlöten) oder durch Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten) entsteht. Die Solidustemperatur der Grundwerkstoffe wird nicht erreicht [1].

Daraus folgen einige der wichtigsten Eigenschaften, die ein Lot besitzen muss:

- niedrigere Schmelztemperatur als die verwendeten Grundwerkstoffe
- gute Benetzungsfähigkeit der Grundwerkstoffe
- möglichst hohe Festigkeit und Zähigkeit

Um die Beschreibung dieser Eigenschaften besser verstehen zu können, spielt das Verständnis der physikalischen und metall-

kundlichen Grundlagen nicht nur in der Entwicklung neuer Lote, sondern auch für die Anwendung der Vielzahl von Lötarten eine bedeutende Rolle.

Die verwendeten löttechnischen Begriffe werden im Anhang erläutert.

1.1 Abgrenzung Schweißen – Löten

Beim Verbindungsverfahren Schweißen können nur artgleiche Werkstoffe miteinander verbunden werden, z.B. Stahl mit Stahl oder Aluminium mit Aluminium. Der verwendete Zusatzwerkstoff ist ähnlich zusammengesetzt wie der Grundwerkstoff und damit werkstoffspezifisch.

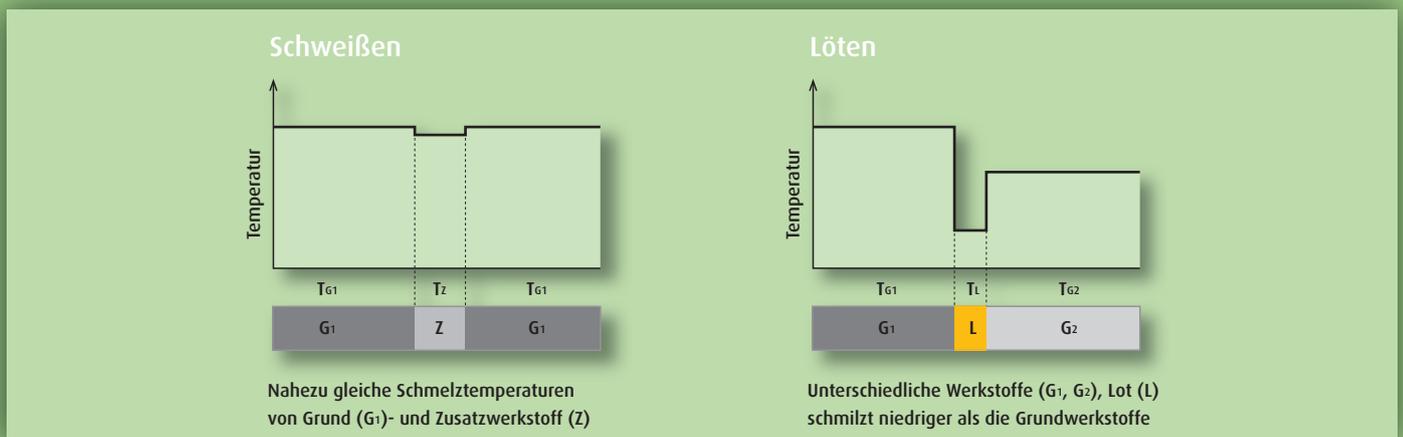
Hingegen können beim Löten artgleiche, aber auch nicht artgleiche Werkstoffe miteinander verbunden werden, z.B. Stahl mit

Kupfer oder Kupfer mit Messing. Der Zusatzwerkstoff, das Lot, ist in der Regel nicht werkstoffspezifisch. Die Zusammensetzung der Lote weicht deutlich von der Zusammensetzung der Grundwerkstoffe ab – siehe **Bild 2**.

Man unterscheidet

- Weichlöten: Löten mit Lötarten, deren Liquidustemperatur unterhalb 450 °C liegt.
- Hartlöten: Löten mit Lötarten, deren Liquidustemperatur oberhalb 450 °C liegt.
- Hochtemperaturlöten: flussmittelfreies Löten unter Luftabschluss mit Lötarten, deren Liquidustemperatur oberhalb 900 °C liegt.

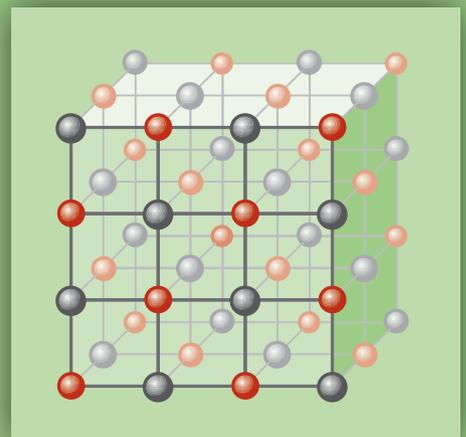
Bild 2 | Schematischer Temperaturenvergleich von Schweißen und Löten



2. Metallkundliche & physikalisch-technische Grundlagen

Für die Beschreibung der in der Einführung aufgeführten Loteigenschaften werden häufig Begriffe wie Liquidustemperatur, Solidustemperatur, Legierungsbildung, eutektische Legierung, Diffusionszone bzw. Bindezonen verwendet. Zum besseren Verständnis werden im Folgenden einige theoretische Grundlagen vorgestellt.

Bild 3 | Metallgitter mit Kupfer- und Nickelatomen



2.1 Zustandsdiagramme

Die Kenntnis des Schmelzverhaltens eines Metalls bzw. einer Legierung ist für die Beurteilung und den Einsatz als Lot unbedingt notwendig. Dabei werden nur wenige reine Metalle (z.B. Kupfer) als Lot eingesetzt. In der Regel trifft man auf Mischungen von zwei oder mehreren Metallen, die als Legierungen bezeichnet werden.

Die Messdaten aus Aufheiz- oder Abkühlkurven einer Legierung werden für die Erstellung der sogenannten Zustandsdiagramme verwendet. Bei einer Legierung aus zwei Metallen spricht man von einem Zweistoffzustandsdiagramm. Die obere Linie in **Bild 4** wird die Liquiduslinie (liquidus = flüssig), die entsprechenden Temperaturen die Liquidustemperaturen genannt. Die untere Linie heißt Soliduslinie (solidus = fest) bzw. die Temperaturen die Solidustemperaturen.

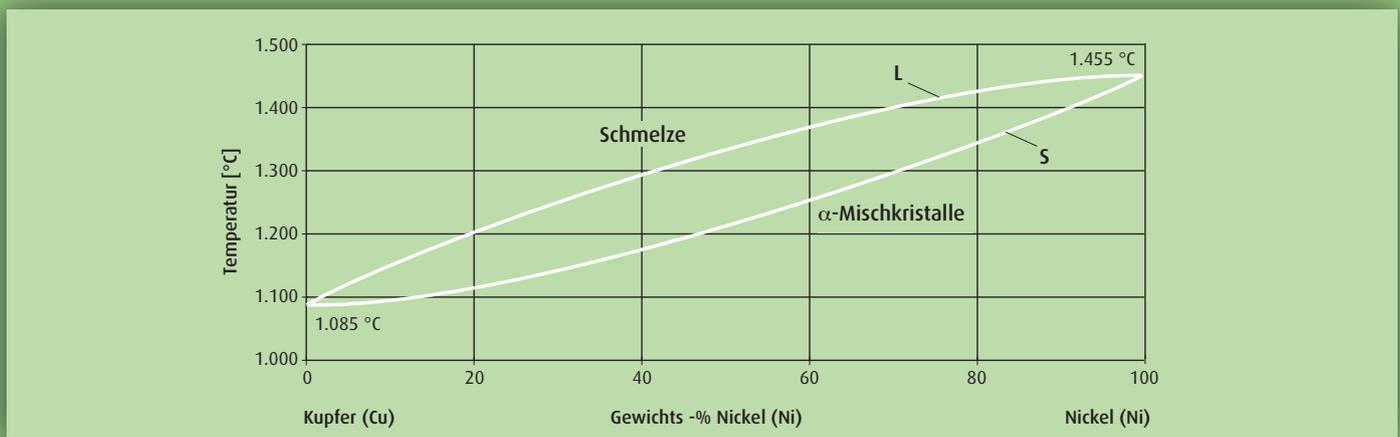
Oberhalb der Liquiduslinie (L) ist die gesamte Legierung aufgeschmolzen, unterhalb der Soliduslinie (S) ist die Legierung vollständig erstarrt. Im zigarrenförmigen Bereich liegen geschmolzene und feste Anteile nebeneinander vor; der Zustand ist dementsprechend teigig. Dieser Bereich wird Schmelz- bzw. bei Abkühlung Erstarrungsbereich genannt.

In **Bild 4** ist das Zustandsdiagramm für die beiden Metalle Kupfer (Cu) und Nickel (Ni) aufgeführt. Beide Metalle sind über den gesamten Konzentrationsbereich vollständig ineinander mischbar, eine Eigenschaft, die jedoch nur wenige Systeme aufweisen, wie z.B. Ag-Au, Cu-Zn (bis 45 % Zn).

Aus dem Zustandsdiagramm wird deutlich, dass sich durch die Zulegierung eines zweiten Metalls der Schmelzpunkt verändert bzw. ein Schmelzbereich erzeugt wird. Es gilt somit die Aussage, dass durch die Zulegierung von Kupfer

der Schmelzpunkt von Nickel abgesenkt wird. Metalle besitzen einen geordneten Aufbau, in dem sich die jeweiligen Atome zu einem Metallgitter zusammensetzen – siehe **Bild 3**. Bei Legierungen setzt sich das Metallgitter aus Atomen der jeweiligen Legierungspartner zusammen. Besitzen die Atome der Metalle einer Legierung eine ähnliche Größe wie z.B. Kupfer- und Nickelatome, so ist der Einbau der Fremdatome kein Problem und die Metalle sind vollständig miteinander mischbar.

Bild 4 | Zweistoffzustandsdiagramm Kupfer-Nickel [2]



Der Einbau sehr großer Atome anstelle der vorhandenen ist nur begrenzt möglich. Daraus folgt der Begriff der begrenzten Löslichkeit. In ihrer Folge treten häufig Veränderungen der Festigkeit und des Schmelzbereiches auf. Unter anderem resultieren hieraus sinkende Schmelztemperaturen. In Systemen, die eine begrenzte Löslichkeit der Metalle ineinander haben, trifft man oft auf ein Schmelztemperaturminimum (eutektischer Punkt), wie es in **Bild 5** für das System Kupfer-Silber zu sehen ist.

Bei einem Cu-Gehalt von 28 % erstarrt die abkühlende Schmelze bei 780 °C und verhält sich während der Erstarrung wie ein reines Metall. Bei den übrigen Konzentrationen nimmt die Liquidustemperatur bis zum Schmelzpunkt des reinen Metalls stetig zu.

2.2 Schmelzbereich des Lotes

Die Breite des Schmelzbereiches eines Lotes ist die Differenz aus Liquidus- und Solidustemperatur.

Der Schmelzbereich bestimmt den Einsatz eines Lotes für das Lötten und hat Einfluss auf die Erwärmungsdauer und die Lötzeit [3].

Für Ofenlötungen sollten nur Lote mit engem Schmelzbereich ausgewählt werden. Bei einem breiten Bereich kann es zur Ausbildung von Seigerungszone kommen. Bei Erreichen der Solidustemperatur beginnt das Lot zu schmelzen. Diese Teilschmelze besteht aus den niedrig schmelzenden Legierungsbestandteilen des Lotes. Sie benetzt den Grundwerkstoff und fließt in den Lötspalt. Der verbleibende Rest, der höherschmelzenden Legierungsbestandteile

der Lotlegierung, bildet einen von der Erstsichelze abweichenden Zustand und bleibt an der Lot-applikationsstelle nicht aufgeschmolzen zurück. Bei Legierungen mit engem Schmelzbereich liegen Schmelzbeginn und Schmelzende des Lotes nah beieinander und die Ausbildung solcher Rückstände kann somit verhindert werden.

Lote mit breitem Schmelzbereich werden bevorzugt für Handlötungen mit angesetztem Lot eingesetzt und ermöglichen so das sichere Auffüllen größerer Lötspalte.

2.3 Niedrig schmelzende Hartlote

Eine der wichtigsten Loteigenschaften ist die niedrige Schmelztemperatur bzw. ein niedrig liegender Schmelztemperaturbereich, woraus eine niedrige Löttemperatur folgt.

Bild 5 | Zweistoffzustandsdiagramm Silber-Kupfer [2]

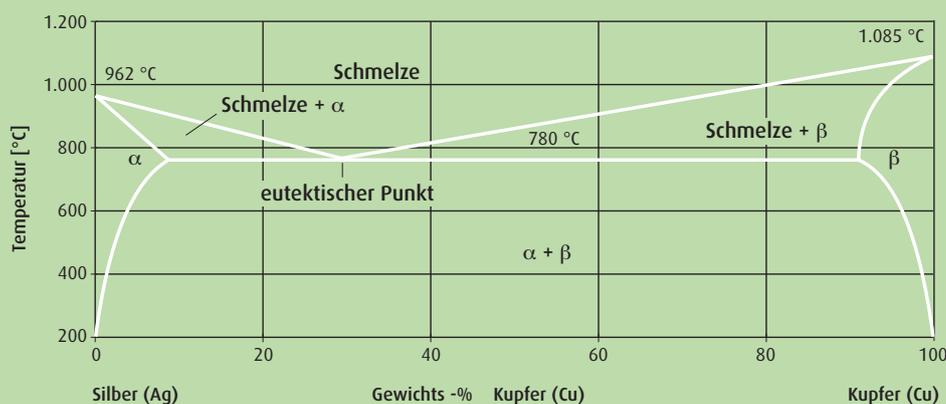


Bild 7 Stahlstäbe gelötet bei ca. 830 °C
 Oben: mit silberfreiem Messinglot^{*)}, Lötstelle nicht formbar
 Unten: mit BrazeTec 1204, Lötstelle verformbar

^{*)} Messinglote mit so niedriger Löttemperatur sind wegen ihrer Sprödigkeit in der Praxis nicht brauchbar und werden nicht hergestellt. Das Lot wurde für den Versuch eigens gefertigt.



Ein weiteres Metall neben Silber, mit dem die Schmelztemperatur von Kupfer abgesenkt werden kann, ist das Zink (Zn). Die daraus entstehenden Messinglegierungen sollten einen Zinkgehalt von 45 % nicht überschreiten, um eine Versprödung der Lotlegierung und damit der Lötstelle zu vermeiden. Andere niedrig schmelzende Metalle machen schon bei relativ geringen Zusätzen Lot und Lötstelle spröde (z.B. Cd, Sn, Al und Mg) oder warmbrüchig (z.B. Pb, Bi, Sb).

Die Edelmetalle Gold (Au) und Silber (Ag) senken die Löttemperatur der Cu-Zn-Legierungen, ohne sie zu verspröden. Dabei wirkt das preisgünstigere Silber noch besser als Gold. Die untere Kurve in **Bild 6** lässt erkennen, dass 10 % Silber ebenso wirksam sind wie

45 % Zink (Senkung der Solidustemperatur um etwa 250 °C bis 300 °C) und dass diese Wirkung bei allen Zink-Gehalten bis zu 30 % gleichmäßig ist (untere Kurve nahezu parallel zur oberen).

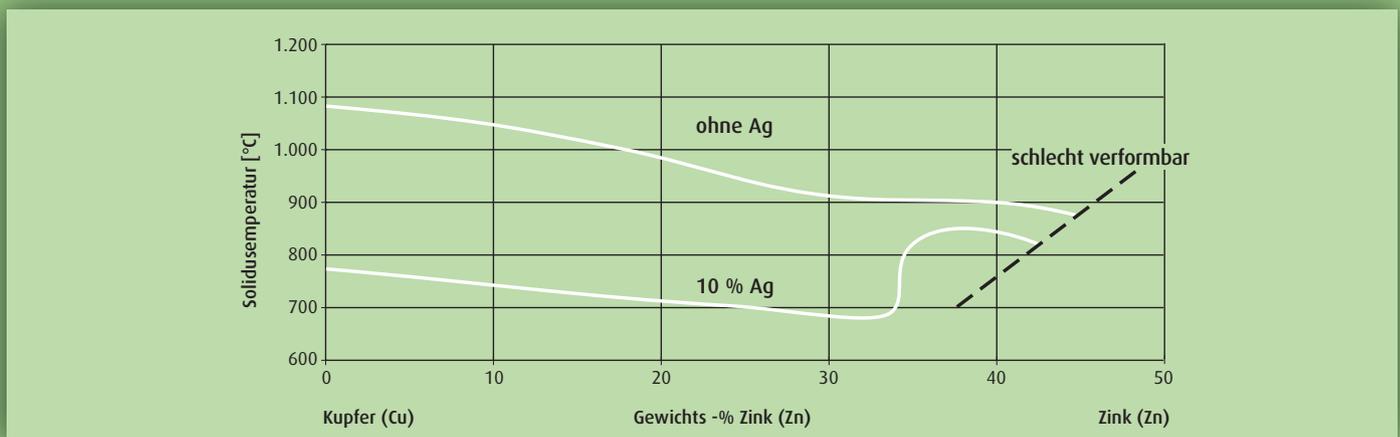
In **Bild 7** wird die Formbarkeit eines silberfreien Messinglotes mit etwa 800 °C Liquidustemperatur^{*)} mit der des Hartlotes BrazeTec 1204 (12 % Ag; Liquidustemperatur 830 °C) verglichen. Mit jedem der beiden Lote wurde ein Stahlstab stumpf zusammengelötet. Während das, mit BrazeTec 1204, gelötete Bauteil stark gebogen werden kann, ohne zu reißen, ist die silberfreie Lötstelle schon nach Biegung um etwa 0,5° spröde gebrochen [4].

Die Hauptkomponenten der niedrig schmelzenden BrazeTec Hartlote – Silber, Kupfer und Zink –

sind so gewählt, dass eine optimale Verarbeitung – niedrige Arbeitstemperatur, leichtes Fließen und hohe Festigkeit – gewährleistet ist. Die Lotbestandteile werden innerhalb enger Toleranzen konstant gehalten.

Hartlote für spezielle Verwendungszwecke enthalten noch weitere Komponenten um die Benetzung der entsprechenden Grundwerkstoffe zu verbessern. Für Hartmetallwerkzeuge werden Lote mit Nickel und Mangan-Zusatz verwendet. Ihr Mischungsverhältnis wird so gewählt, dass eine optimale Verarbeitung erzielt wird, ohne die anderen Loteigenschaften stark zu beeinflussen.

Bild 6 | Senkung der Solidustemperatur – a) durch Zn allein, b) durch Zn + 10 % Ag

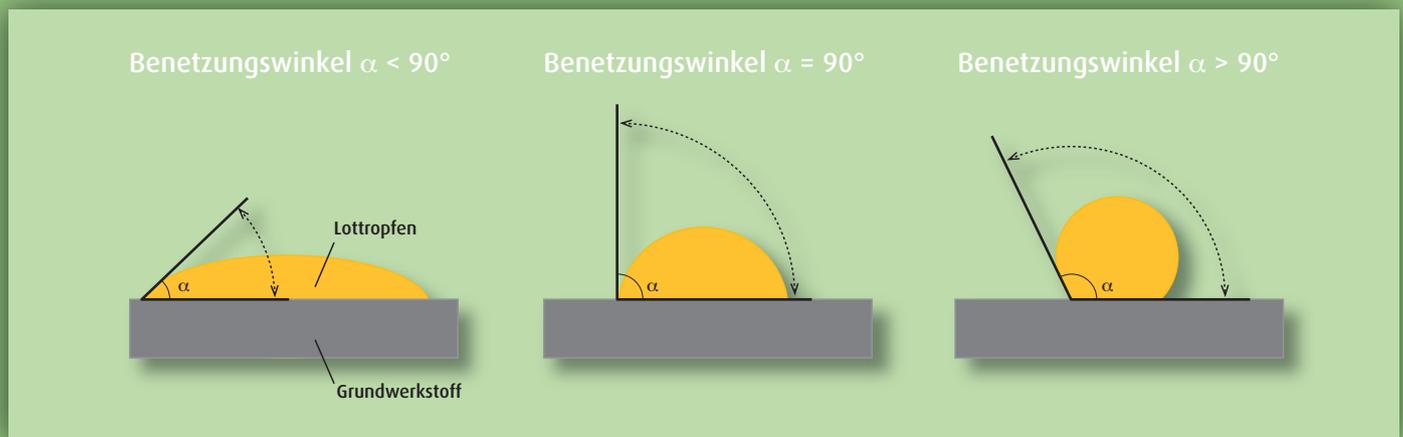


3. Benetzungsvorgang & Diffusion

Lote benetzen den Grundwerkstoff nur dann, wenn drei wichtige Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Lötflächen wie auch das Lot müssen „metallisch“ blank sein.
- Die Lötflächen sowie das Lot müssen zumindest die Arbeitstemperatur erreicht haben.
- Mindestens ein Legierungsbestandteil des Lotes muss mit dem Grundwerkstoff eine Legierung eingehen können.

Bild 8 | Unterschiedliche Benetzungswinkel



3.1 Benetzen

Neben niedrigen Löttemperaturen ist als weiteres Kriterium die Benetzungsfähigkeit des Grundwerkstoffes durch ein Lot zu prüfen.

Trifft ein Tropfen flüssigen Lotes auf eine feste Metalloberfläche, so wird er diese unter Umständen benetzen und sich mehr oder weniger stark ausbreiten [5]. Voraussetzung für das Benetzen und Ausbreiten ist eine saubere und oxidfreie Metalloberfläche, ausreichende Erwärmung des Lotes und Grundwerkstoffes sowie ein niedrigviskoser Zustand der Lotschmelze.

Der Benetzungswinkel α ist ein Maß für die Benetzbarkeit und bezeichnet den Winkel, der sich zwischen einem Lottropfen auf der ebenen Grundwerkstoffsoberfläche einstellt – siehe **Bild 8**.

- Bei $\alpha < 90^\circ$ liegt eine Benetzung des Grundwerkstoffes vor. Als optimal wird ein Benetzungswinkel $< 30^\circ$ angesehen. Bei $\alpha = 0^\circ$ liegt eine vollkommene Benetzung vor, d.h. der Lottropfen breitet sich auf der Metalloberfläche unter Bildung eines dünnen Filmes aus.
- Bei $\alpha = 90^\circ$ hat der Lottropfen benetzt, breitet sich aber nicht aus.
- Bei $\alpha > 90^\circ$ ist keine Benetzung erfolgt.

3.2 Diffusion

Bei einer gelungenen Lötung legiert das Lot eine dünne Schicht der metallisch blanken Grundwerkstoffoberfläche auf. Die Wanderung der Atome, die dafür notwendig ist, nennt man Diffusion. Dementsprechend werden die sich ausbildenden Verbindungszone auch als Diffusionszonen bezeichnet – siehe **Bild 9**. Lotbestandteile lassen sich im Grundwerkstoff (D_G) nachweisen und umgekehrt sind Bestandteile des Grundwerkstoffes in der Lotschicht zu finden (D_L) [6].

Auf der Ausbildung einer Diffusionszone basiert die Festigkeit einer Lötstelle. Damit diese Zonen ausgebildet werden können, müssen sich die Atome der Lotlegierung in das Metallgitter der Atome des Grundwerkstoffes einpassen. Es ist verständlich, dass diese Bedingungen der Mischkristallbildung nicht von jedem Metallatom gleichermaßen erfüllt werden kann. Je größer die Unterschiede in den Atomradien, desto weniger Atome können eingebaut werden und desto langsamer können sie sich möglicherweise bewegen. Zur Erreichung der optimalen Festigkeit sollte das Lot mindestens 5 bis 10 Sekunden flüssig sein, damit eine ausreichend tiefe Diffusionszone erreicht wird.

Ein Lot sollte daher immer ein Metall enthalten, das Bestandteil bzw. Legierungselement

des zu verbindenden Grundwerkstoffes ist. So erfüllt zum Beispiel das Legierungselement Zink diese Aufgabe bei allen Stählen sowie Nickel- und Kupferbasislegierungen sehr gut.

3.3 Gefügeänderung

Das Gefüge von Lötverbindungen weist einen Zonencharakter auf. An den unbeeinflussten Grundwerkstoff G schließt sich eine Wärmeeinflusszone G_w an, in der der Grundwerkstoff eine Gefügeänderung durch Kristallverholung, Rekristallisation, Anlassen, Ausscheidungs Vorgänge oder Gitterumwandlung usw. erfahren hat [7]. Die Legierungsschicht D stellt den Übergang zwischen Grundwerkstoff zum Lot dar und besteht aus den Diffusionszonen D_G und D_L – siehe hierzu Kapitel 3.2. Beim Weichlöten kann diese Schicht so dünn sein, dass sie mikroskopisch kaum nachweisbar ist. An sie schließt sich die Zone des unvermischten Lotes L an – siehe **Bild 10**.

Die genannten Gefügezonen müssen jedoch nicht immer alle vorhanden sein. Das Ausbilden der Wärmeeinflusszone G_w ist abhängig von Löttemperatur und Zeit. Die Zone unvermischten Lotes kann insbesondere bei geringen Lötspaltbreiten und günstigen Diffusionsbedingungen (hohe Löttemperatur, lange Löttdauer) verschwinden.

Bild 9 | Hartlötung mit ausgebildeten Diffusionszonen

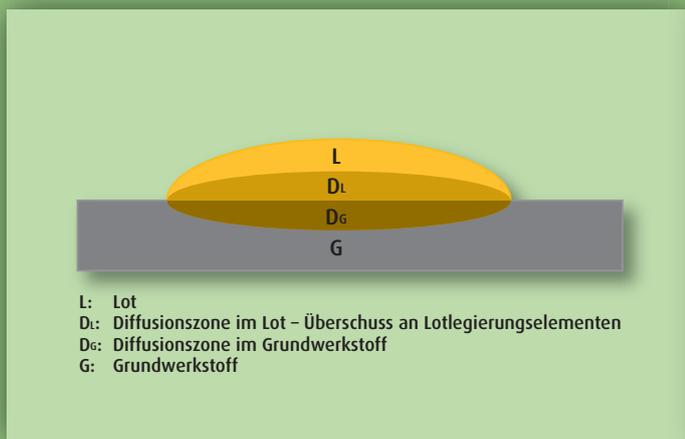


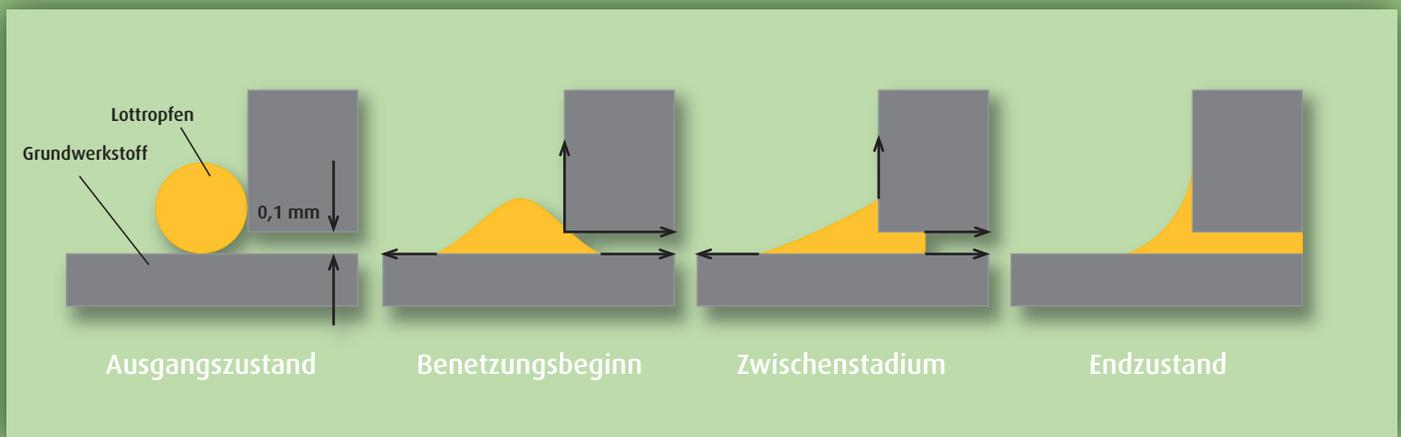
Bild 10 | Gefügeausbildung in Lötverbindungen



4. Lötverfahren

In der Löttechnik gibt es verschiedene Möglichkeiten Lötverfahren zu kategorisieren wie z.B. Liquidustemperatur der Lote, Art der Lotzuführung oder Erwärmungsmethoden. In diesem Kapitel wird die Einteilung nach Form der Lötstelle vorgenommen.

Bild 12 | Lotfluss einer Spaltlötung mit angelegtem Lot





4.1 Fugenlöten

Unter Fugenlöten ist ein Lötverfahren zu verstehen, bei dem die Form der Lötstelle – bzw. die miteinander zu verbindenden Flächen – einen größeren Abstand als 0,5 mm voneinander haben. Aufgrund der großen Spalte sollten die verwendeten Lotlegierungen eine in Bezug auf den Grundwerkstoff höhere Festigkeit aufweisen, um eine entsprechende Festigkeit der Lötstelle zu erreichen [8]. Die Liquidustemperatur des Lotes darf beim Fugenlöten nicht wesentlich überschritten werden, um ein Herauslaufen des Lotes zu vermeiden.

Beim Fugenlöten sind die Nahtvorbereitung und Arbeitstechnik ähnlich dem Gasschmelzschweißen. Es wird daher auch als Schweißlöten oder Lotschweißen bezeichnet.

Wichtigstes Anwendungsgebiet ist das Fugenlöten verzinkter Stahlrohre – siehe **Bild 11**.

4.2 Spaltlöten

Beim Spaltlöten werden die Werkstücke so vorbereitet, dass die Verbindungsstellen eine enge Kapillarspalte bilden. Sie werden über die ganze Länge des Spaltes gleichmäßig auf Löttemperatur erwärmt. Das flüssige Lot wird durch den „kapillaren Fülldruck“ in den Spalt gedrückt – siehe **Bild 12**. Der überwiegende Teil aller Lötaufgaben wird im Spaltlötvorgang ausgeführt.

Wird an der Atmosphäre unter Verwendung eines Flussmittels gelötet, so muss das in den Lötspalt eindringende Lot die Möglichkeit haben, das Flussmittel aus dem Spalt hinauszuschieben.

Beim Spaltlöten kann die Liquidustemperatur des Lotes um 20 bis 50 °C überschritten werden, um ein gleichmäßiges Spaltfüllen sicher zu stellen.

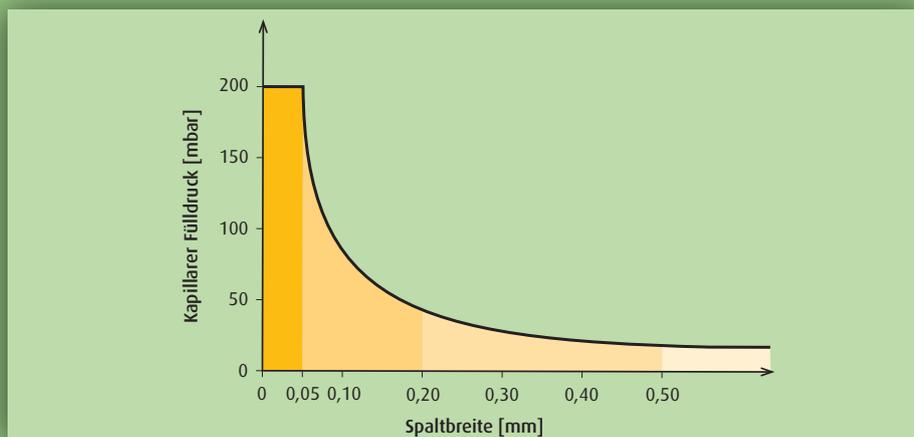
4.2.1 Kapillareffekt

Die Kraft, die das flüssige Lot in den Spalt treibt, wird als "Kapillareffekt" bzw. kapillarer Fülldruck bezeichnet. Je enger der Lötspalt, umso höher ist der kapillare Fülldruck.

Bei 0,1 mm Parallelspalt erreicht der kapillare Fülldruck ca. 100 mbar (10 kPa). Dies wiederum entspricht einer Lotsteighöhe (Dichte des Lotes = 10 g/cm³) von 10 cm – siehe **Bild 13**. Die berechneten Steighöhen wurden in praktischen Versuchen bestätigt [9].

Die richtige Bemessung des Lötspaltes (Spaltbreite) und die Sauberkeit der Lötflächen bestimmen maßgeblich die Kapillarwirkung [10]. Zu große Spaltbreiten und nicht genügend gesäuberte Oberflächen setzen die Kapillarwirkung herab und führen zu einem nur teilweise gefüllten Lötspalt.

Bild 13 | Kapillarer Fülldruck in Abhängigkeit der Spaltbreite



Der hohe kapillare Fülldruck bei Spalten kleiner 0,05 mm wird für Lötungen unter Schutzgas oder Vakuum genutzt. Für mechanisierte Lötungen unter Anwendung von Flussmittel wird im Bereich von 0,05 bis 0,2 mm gearbeitet. Bis 0,2 mm ist der kapillare Fülldruck groß genug, um ein sicheres Eindringen und Füllen des Spaltes durch das Lot zu gewährleisten. Noch breitere Spalten sind schwierig zu füllen und daher für das mechanisierte Löten nicht mehr geeignet. Für die Handlötungen kann aber der Bereich bis 0,5 mm noch genutzt werden [11]. Bei Spaltbreiten größer 0,5 mm ist auf Grund des geringen kapillaren Fülldrucks ein sicheres und gleichmäßiges Auffüllen der Lötspalte nicht mehr gewährleistet.

Der Mindestspalt beim Flussmittellöten ergibt sich durch die Notwendigkeit, genügend Flussmittel im Spalt unterzubringen, damit alle eventuell auf der Oberfläche befindlichen Oxide gelöst werden können.

Die Spaltbreitenbereiche für die unterschiedlichen Lötprozesse sind in **Bild 14** zusammengestellt.

Neben der Breite des Lötspaltes haben auch die Spaltgeometrie einen Einfluss auf den Fülldruck und damit auf das Lötresultat. Eine offene Hohlkehle hat einen 4,5-fach höheren kapillaren Fülldruck als ein paralleler Flächenspalt – siehe **Bild 15**.

4.3 Auftragslötungen

Beim Auftragslöten werden keine Teile durch die Lotlegierung verbunden, sondern das Lot wird teilweise mit Zusatzmaterial auf dem Grundwerkstoff aufgetragen und dient zur Steigerung von Härte, Verschleißfestigkeit oder Korrosionsbeständigkeit.

Beim BrazeCoat-Verfahren® [12] werden die Oberflächen hoch beanspruchter Bauteile vor Verschleiß geschützt, indem ein

Hartstoff-Hartlot-Vlies aufgebracht und anschließend in einem Ofenprozess eingeschmolzen wird. Die erstellten Schichten sind dicht, glatt und nahezu porenfrei und dienen zum Schutz von Lüfterrädern, Mühlengehäusen, hoch beanspruchten Transportpumpen sowie Zylindern, Kolben und Kolbenstangen in Hydraulik und Pneumatik.

Bild 14 | Spaltbreitenbereiche unterschiedlicher Lötprozessen

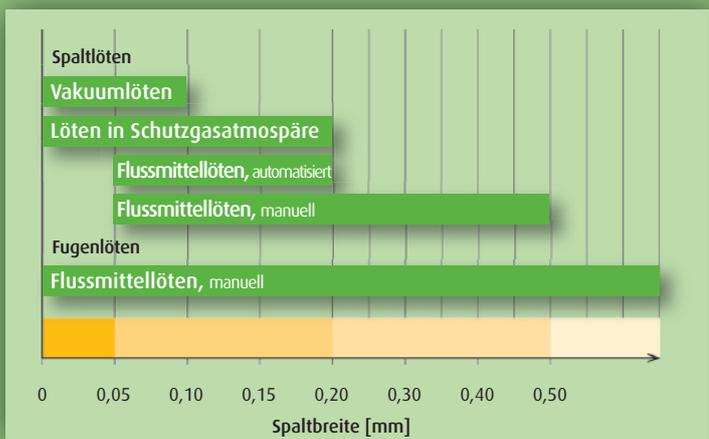
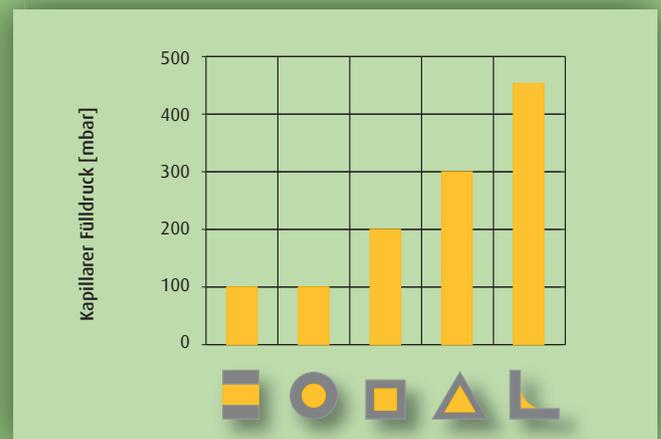


Bild 15 | Kapillarer Fülldruck in Abhängigkeit der Spaltgeometrie



5. Lote

Nach DIN ISO 857-2 sind Lote mit einer Liquidustemperatur unter 450 °C Weichlote und über 450 °C Hartlote.

Der Löttemperaturbereich des Lotes wird nach unten durch den Schmelzbereich und nach oben durch folgende Parameter begrenzt:

- die Flussmittel (sättigen sich bei zu hoher Temperatur mit Oxiden)
- das Lot (einzelne Legierungsbestandteile können verdampfen)
- die Wirtschaftlichkeit (unnötig hohe Temperaturen kosten wertvolle Zeit und Energie)
- den Grundwerkstoff (Gefügewandlung, Festigkeitsverlust)

5.1 Weichlote

Weichlote sind in der EN ISO 9453 zusammengefasst und werden in bleihaltige und bleifreie Legierungen aufgeteilt [13].

Die bleihaltigen Weichlotlegierungen (Zinn-Blei, Blei-Zinn, Zinn-Blei-Antimon, Zinn-Blei-Bismut, Zinn-Blei-Cadmium,

Zinn-Blei-Kupfer, Zinn-Blei-Silber und Blei-Silber) haben einen Schmelzbereich von 145 °C bis 370 °C.

Die bleifreien Weichlotlegierungen (Zinn-Antimon, Zinn-Bismut, Zinn-Kupfer, Zinn-Indium, Zinn-Silber und komplexere Zusammensetzungen) haben einen Schmelzbereich von 118 °C bis 380 °C.

Blei gilt als krebserregend und wird daher in einigen Industriebereichen, insbesondere in der Gas-Wasser-Installation und in der Elektroindustrie nicht mehr als Weichlot verwendet.

5.2 Hartlote

Die Hartlote sind nach DIN EN ISO 17672 genormt und werden darin in 7 Gruppen nach Hauptlegierungselement zusammengefasst – siehe **Bild 16** [14].

Neben den genormten Hartloten werden in industriellen Fertigungsprozessen weitere Legierungsgruppen eingesetzt:

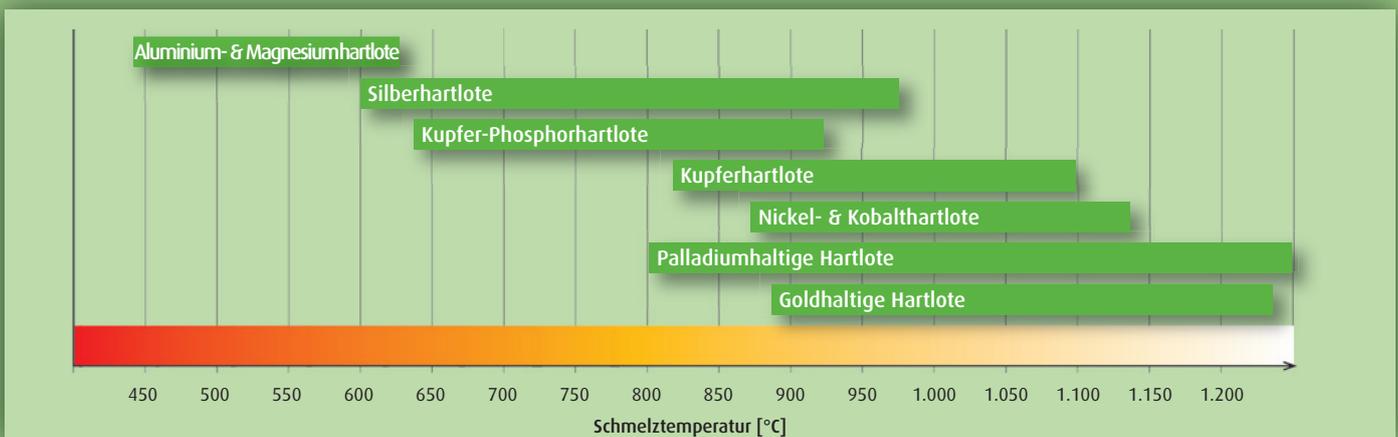
CuPbNi-Legierungen mit einem Schmelzbereich 590 °C bis 620 °C für das Hartlöten von Kupfer-Messing-Kühlern im sogenannten CuproBraz®-Verfahren [15].

Aktivlote – Silber-Titanbasis mit Zusätzen von Kupfer und Indium zum Löten von keramischen Werkstoffen bei Temperaturen von 850°C bis 1050 °C [16].

CuMnCo-Legierungen mit einem Schmelzbereich 980°C bis 1030 °C für das Hartlöten von Hartmetallen auf Stahlkörper unter Schutzgas.

Seit Dezember 2011 ist die Verwendung und das in den Verkehrbringen von cadmiumhaltigen Hartloten in der EU verboten. Sie dürfen nur aus Sicherheitsgründen und für Verteidigungs- sowie Luft- und Raumfahrtanwendungen eingesetzt werden [17].

Bild 16 | Schmelztemperaturbereiche der Lotgruppen nach DIN EN ISO 17672



6. Flussmittel

Nach DIN ISO 857-2 sind Flussmittel nichtmetallische Stoffe, die vorwiegend die Aufgabe haben, vorhandene Oxide von den Lötflächen zu beseitigen und ihre Neubildung zu verhindern.

Die Wirkung von Flussmittel beruht darauf, dass es die Metalloxide benetzt, auflöst und von der Metalloberfläche abtransportiert. Weiterhin muss es die Metalloberfläche vor Luftzutritt schützen und sich bei Löttemperatur von der Lotschmelze vollständig von der Metalloberfläche verdrängen lassen. Diese Aufgaben kann das Flussmittel nur erfüllen, wenn es

- mindestens 50 °C tiefer schmilzt als das eingesetzte Lot und bei dieser Temperatur auch voll wirksam ist und
- einen dichten, gleichmäßigen Überzug bildet, der bei der erforderlichen Löttemperatur und während der Lötzeit erhalten bleibt.

Die Flussmittel müssen mit ihrem Wirktemperaturbereich auf die Löttemperatur des jeweiligen Lotes abgestimmt sein. Demnach kann grob zwischen Flussmitteln für das Weichlöten und Flussmitteln für das Hartlöten unterschieden werden. Innerhalb dieser beiden Klassen gibt es weitere Temperaturintervalle, die mit den eingesetzten Loten abgestimmt werden müssen [18].

Darüber hinaus müssen die Flussmittel auf die unterschiedlichen chemischen Bedingungen der zu lösenden Oxide eingestellt werden, so dass es kein Universalflussmittel gibt [19].

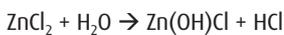
Tabelle 1 | Flussmittelgruppen zum Hartlöten metallischer Werkstoffe nach DIN EN 1045

Typ	Flussmittelbasis	Wirktemperaturbereich	Anwendung	Verhalten der Flussmittelrückstände
FH10	Borverbindungen; Fluoride	550 °C – ca. 800 °C	Vielzweckflussmittel	korrosiv
FH11	Borverbindungen; Fluoride; Chloride	550 °C – ca. 800 °C	Cu-Al-Werkstoffe	korrosiv
FH12	Borverbindungen; Fluoride; Bor	550 °C – ca. 850 °C	Rostfreie und hochlegierte Stähle, HM	korrosiv
FH20	Borverbindungen	700 °C – ca. 1.000 °C	Vielzweckflussmittel	korrosiv
FH21	Borverbindungen	750 °C – ca. 1.100 °C	Vielzweckflussmittel	Nicht korrosiv
FH30	Bor- und Siliziumverbindungen; Phosphate	>1.000 °C	Cu- oder Ni-Lote	Nicht korrosiv
FH40	Chloride; Fluoride, Borfrei	600 – ca. 1.000 °C	Borfreie Anwendungen	korrosiv
FL10	Chloride; Fluoride, Lithiumverbindungen	> 550 °C	Leichtmetalle	korrosiv
FL20	Fluoride	> 550 °C	Leichtmetalle	Nicht korrosiv

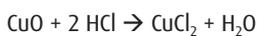
6.1 Weichlötlösungsmittel

Flussmittel zum Weichlöten sind in der Norm DIN EN 29454-1 zusammengefasst – siehe Anhang **Tabelle 3** [20].

Die Wirkungsweise von Weichlötlösungsmitteln soll am Beispiel Kupfer mit dem wässrigen Flussmittel des Typs 3.1.2 A mit Zinkchlorid dargestellt werden. Beim Erwärmen kommt es zu folgender Reaktion:



Die freiwerdende Salzsäure reduziert das Kupferoxid auf der Bauteiloberfläche zu Kupferchlorid. Dieses ist wasserlöslich und kann leicht von der Oberfläche entfernt werden.



6.2 Hartlötlösungsmittel

Flussmittel zum Hartlöten sind in der Norm DIN EN 1045 zusammengefasst [21]. Auszüge aus der Norm mit wichtigen Flussmitteltypen mit Flussmittelbasisstoffen sind in der **Tabelle 1** zu finden.

Das Lösevermögen der Flussmittel ist nicht für alle Oxide gleich. Für das Flussmittel Braze-Tec h wurde das Lösevermögen für die häufig

vorkommenden Schwermetalloxide bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Es kann im Temperaturbereich von 650 °C bis 750 °C etwa 1 (Cr₂O₃) bis 5 (ZnO) Gew.-% Metalloxid lösen. Ist das Flussmittel mit Metalloxid gesättigt, verliert es seine Wirksamkeit. Daher ist die Lötzeit beim Löten mit Flussmittel an Luft begrenzt.

Dies bedeutet aber auch, dass im Verhältnis zum angebotenen Oxid eine entsprechend große Menge Flussmittel im geschmolzenen Zustand zur Verfügung stehen muss, sonst kommt keine einwandfreie Lötung zustande. Extrem enge Spalten, z.B. unter 0,05 mm, machen deshalb Schwierigkeiten, weil im Spalt nicht genügend Flussmittel zur Verfügung steht. Dies hat selbstverständlich einen großen Einfluss auf die lötgerechte Konstruktion.

Mehr als 5 Minuten Standzeit ist von einem Flussmittel nicht zu erwarten. In der Praxis ist die Standzeit oft deutlich geringer.

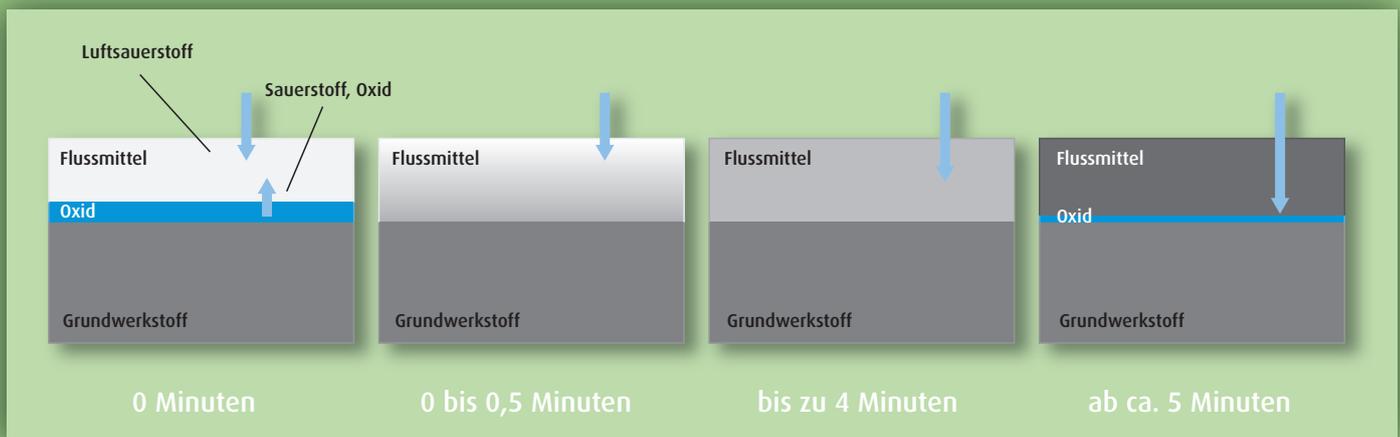
Vielfach erkennt man am Schwarzwerden des Flussmittels, dass dieses verbraucht ist – siehe **Bild 17**. Ist die Lötung bis zu diesem Moment nicht erfolgt, kann sie nun nicht mehr stattfinden. Auch eine Zugabe von frischem Flussmittel ist zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich.

Um zu einem guten Lötterfolg zu gelangen, muss Folgendes geschehen: Das Bauteil muss abkühlen und gesäubert werden. Das Flussmittel wird neu aufgebracht, und dann erfolgt eine erneute Erwärmung. Hierbei muss nun mit einem stärkeren Brenner oder mit höherer induktiver Leistung gearbeitet werden, um eine raschere Erwärmung des Bauteils zu erreichen. Schwere, massive Bauteile lassen sich aber auf diese Art und Weise oft nicht schnell genug auf die notwendige Löttemperatur bringen. In diesen Fällen muss die Erwärmung unter Schutzgasabdeckung im Ofen erfolgen.

Die Rückstände der hygroskopischen Flussmittel müssen entfernt werden, da sie korrosiv wirken können. Dies geschieht durch Abkochen in Wasser oder durch Beizen in an die Grundwerkstoffe angepassten Beizbädern. Ultraschall fördert die Entfernung dieser Flussmittelreste.

Die Rückstände der nicht hygroskopischen Flussmittelreste brauchen aus Korrosionsgründen nicht entfernt zu werden. Ist ihre Beseitigung aus anderen Gründen (z.B. Lackieren der Bauteile) notwendig, so werden sie meistens mechanisch (z.B. Sandstrahlen) entfernt.

Bild 17 | Schematische Darstellung der Flussmittelreaktionen beim Hartlöten



6.3 Gasförmiges Flussmittel

Fugenlötungen (V-Nähte und Kehlnähte) können unter Einsatz gasförmiger Flussmittel gelötet werden. Für Spalllötungen – besonders bei größeren Spalttiefen und geringen Spaltbreiten – ist der Einsatz gasförmiger Flussmittel allein nicht zu empfehlen, weil die Flamme nicht in den Kapillarspalt eindringt. Ungenügend wirksam sind diese Flussmittel bei Chromnickelstählen. Gegebenenfalls kann gasförmiges Flussmittel ergänzend zu anderen Flussmitteln eingesetzt werden, mit dem Ziel, die Oberfläche gegen Oxidation zu schützen.

Zu beachten ist, dass bei der Verarbeitung in der Brennerflamme Borsäure entsteht, die sich auf dem Werkstück und im Arbeitsbereich niederschlägt. Seit Dezember 2010 ist Borsäure in der EU als fortpflanzungsgefährdend eingestuft [22] und der Lötler muss daher vor dem entstehenden Borsäurestaub geschützt werden.

Die Wirktemperatur gasförmiger Flussmittel reicht von etwa 750 °C bis 1100 °C.

6.4 Löten mit flussmittelbildenden Lötstäben – BrazeTec Silfos-Hartote

Kupfer-, Kupfer-Zinn-Legierungen sowie Silber können mit phosphorhaltigen Hartloten ohne Zusatz von Flussmittel gelötet werden. Der Selbstfließeffekt dieser Lote lässt sich wie folgt erklären:

Der im Silfos-Hartlot einlegierte Phosphor reagiert beim Schmelzen des Lotes mit Luftsauerstoff zu Phosphorpentoxid, das sich mit dem auf der Kupferoberfläche gebildeten Kupferoxid zu Kupfermetaphosphat umsetzt, das Flussmittelwirkung besitzt. Kupfermetaphosphat bildet einen dunklen, nicht wasserlöslichen Film, der korrosionschemisch unbedenklich ist – siehe **Bild 18**. Die Lötstellen brauchen daher nicht nachbehandelt zu werden. Gegebenenfalls kann Kupfermetaphosphat durch Behandeln in verdünnter Schwefelsäure entfernt werden.

Auch beim Löten mit den BrazeTec Silfos-Loten sollte die Lötzeit nicht länger als etwa 3 bis 4 Minuten sein.

Bild 18 | Typisches Erscheinungsbild einer Silfoslötung



7. Lötbarkeit der Bauteile

Nach DIN 8514 ist die Lötbarkeit die Eigenschaft eines Bauteils, durch Löten derart hergestellt werden zu können, dass es die gestellten Anforderungen erfüllt [23].

Die Lötbarkeit eines Bauteils (siehe **Seite 24**) ist vorhanden, wenn:

- a) der vorgesehene Grundwerkstoff zum Löten geeignet ist, d.h., wenn Löteignung besteht,
- b) die Anwendbarkeit eines oder mehrerer Lötverfahren möglich ist, d.h., wenn Lötmöglichkeit besteht,
- c) die Lötteile lötgerecht und hinsichtlich der zu erwartenden Betriebsbedingungen so konstruiert sind, dass die Sicherheit des gelöteten Bauteils sichergestellt ist, d.h. Lötsicherheit besteht.

Jede der drei Eigenschaften Löteignung, Lötmöglichkeit, Lötsicherheit hängt von den Einflussgrößen Werkstoff, Fertigung, Konstruktion ab, wobei der Grad der Abhängigkeit von der jeweiligen Lötaufgabe bestimmt wird.

Die Löteignung verschiedener Werkstoffe ist in **Tabelle 2** dargestellt.

Vorschläge, wie die in **Tabelle 2** aufgeführten Werkstoffe gelötet werden können, sind im Anhang in **Tabelle 6** zu finden. Damit ist noch nicht gesagt, dass die so gelöteten Bauteile allen Betriebsbelastungen standhalten. Um dies zu gewährleisten,

müssen vor der Auswahl der Lötparameter die Betriebsbedingungen der Verbindungsstellen bekannt sein. Diese sind werkstückspezifisch und von Fall zu Fall verschieden. In besonderen Fällen – mit relativ hohem Schadensrisiko – empfehlen wir, wegen der optimalen Auswahl der Lötparameter mit uns Rücksprache zu nehmen.

Die Löttechnik bietet den großen Vorteil, dass fast alle lötgeeigneten Werkstoffe nahezu beliebig miteinander kombiniert werden können. Selbstverständlich müssen die Lötparameter immer nach dem löttechnisch schwierigeren Werkstoff ausgewählt werden.

Tabelle 2 | Löteignung der Werkstoffe

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
<p>Werkstoffe, die mit Universallöten und -flussmitteln sowie allen üblichen Verfahren gelötet werden können.</p> <p>Beispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kupfer und Kupferlegierungen • Nickel und Nickellegierungen • Eisenwerkstoffe • Beliebige Stähle • Kobalt • Edelmetalle 	<p>Werkstoffe, die Speziallote und/oder -flussmittel, jedoch keine speziellen Verfahren erfordern.</p> <p>Beispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aluminium und Aluminiumlegierungen • Hartmetalle, Stellite • Chrom, Molybdän, Wolfram, Tantal, Niob • Weichlotähnliche Werkstoffe 	<p>Werkstoffe, die nur unter Verwendung spezieller Lote und spezieller Verfahren gelötet werden können.</p> <p>Beispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titan • Zirkonium • Beryllium • Keramiken

8. Anhang

Tabelle 3 | Weichlötlösungsmittel nach ihren Hauptbestandteilen nach DIN EN 29454-1

Flussmitteltyp	Flussmittelbasis	Flussmittelaktivator	Flussmittelart
1 Harz	1 Kolophonium (Harz) 2 ohne Kolophonium (Harz)	1 ohne Aktivator 2 mit Halogenen aktiviert 3 ohne Halogenen aktiviert	A flüssig
2 organisch	1 wasserlöslich 2 nicht wasserlöslich		
3 anorganisch	1 Salze	1 mit Ammoniumchlorid 2 ohne Ammoniumchlorid	B fest
	2 Säuren	1 Phosphorsäure 2 andere Säuren	C Paste
	3 alkalisch	1 Amine und/oder Ammoniak	

Tabelle 4 | Lotgruppen zum Löten metallischer Werkstoffe

Gruppenbezeichnung	Löttemp.- Bereich °C	Typische Lote dieser Gruppe Bezeichnung nach DIN EN ISO 9453 oder DIN EN 1044	BrazeTec- Bezeichnung	Solidus- Temp. °C	Liquidus- Temp. °C	Max. zul. Dauerbetriebs- Temp. ¹⁾ °C	Wichtigste Anwendungsgebiete
Zinn-Antimon-Weichlote EN DIN EN ISO 9453& ISO 3677	250	201 Sn95Sb5	Soldamoll 235	235	240	110	Kältetechnik
Zinn-Kupfer-Weichlote EN DIN EN ISO 9453& ISO 3677	230 – 320	402 Sn97Cu3	Soldamoll 230 (BrazeTec 3)	227	310	110	Kupferrohr-Installation für Warm- und Kaltwasser
Zinn-Silber-Weichlote DIN EN ISO 9453& ISO 3677	220 – 260	703 Sn96Ag4	Soldamoll 220	221	–	110	Nahrungsmittelindustrie
		702 Sn96Ag3	BrazeTec 4	221	224	–	
Silberhartlote DIN EN ISO 17672	650 – 1.100	Ag 156	BrazeTec 5600	620	655	200	Elektroindustrie
		Ag 145	BrazeTec 4576	640	680	200	Gas- und Wasserinstallation
		Ag 134	BrazeTec 3476	630	730	200	Gas- und Wasserinstallation
		Ag 244	BrazeTec 4404	675	735	200	Elektrotechnik
		Ag 212	BrazeTec 1204	800	830	300	
Manganhaltige Spezialhartlote DIN EN ISO 17672	690 – 1.020	Ag 449	BrazeTec 4900	680	705	400	Hartmetall-Werkzeuge
			BrazeTec 21/68	980	1.030	600	
Phosphorhaltige Hartlote für Kupferwerkstoffe DIN EN ISO 17672	650 – 800	CuP 284	BrazeTec Silfos 15	645	800	150	Elektroindustrie
		CuP 279	BrazeTec Silfos 2	645	825	150	Kupferrohrinstallation
		CuP 179	BrazeTec Silfos 94	710	890	150	für Stadtgas/Erdgas
Spezialhartlote für Sonderfälle DIN EN ISO 17672	730 – 960	Ag 272	BrazeTec 7200	780	780	300	Vakuumtechnik
		Ag 160	BrazeTec 6009	600	720	200	Nichtrostender Stahl
Messinghartlote DIN EN ISO 17672	900 – 910	Cu 680	BrazeTec 60/40	870	900	300	Verzinkte Stahlrohre
		Cu 773	BrazeTec 48/10	890	920	300	Fahrzeugbau
Hochtemperaturlote auf Nickelbasis DIN EN ISO 17672	900 – 1.200	Ni 710	BrazeTec 897	890	890	–	Heizelemente
		Ni 650	BrazeTec 1135	1.080	1.135	–	AGR-Kühler
		Ni 620	BrazeTec 1002	970	1.000	–	AGR-Kühler
Hochtemperaturlote auf Kupferbasis DIN EN ISO 17672	1.040–1.120	Cu 110	BrazeTec 801	1085	1.085	–	Nichtrostender Stahl
		Cu 922	BrazeTec 802	910	1.040	–	Nichtrostender Stahl
		Cu 925	BrazeTec 803	825	990	–	Kupfer oder Stahl
Aluminiumhartlote DIN EN ISO 17672	560 – 600	Al 112	BrazeTec 88/12	575	590	200	Wärmetauscher

¹⁾ nicht genormte

Tabelle 5 | Flussmittelgruppen zum Weichlöten metallischer Werkstoffe DIN EN 29454-1

Flussmittelgruppe	Flussmitteltyp	Flussmittelbasis	Wichtigste Anwendungsgebiete	Verhalten der Flussmittelrückstände
Flussmittel zum Weichlöten von Schwermetallen	3.2.2.	Zink- und/oder Ammoniumchlorid und freie Säuren	Chromhaltige Stähle; stark oxidierte Werkstücke	korrosiv
	3.1.1.	Zink- und/oder Ammoniumchlorid	Chromfreie Stähle und NE-Metalle, wenn Abwaschen der Rückstände möglich	
	3.1.1.	Zink- und Ammoniumchlorid in organischer Zubereitung	Chromfreie Stähle und NE-Metalle, wenn Abwaschen der Flussmittelrückstände nicht möglich	bedingt korrosiv
	2.1.3.	Organische Säuren		
	2.1.1.	Amine, Diamine, Harnstoff		
	2.1.2.	Organische Halogenverbindungen		
	1.1.2.	Harze mit halogenhaltigen Aktivatoren	Kupfer	nicht korrosiv
	1.1.1.	Harze ohne Zusatz		
1.1.3.	Harze mit halogenfreien Zusätzen			
Flussmittel zum Weichlöten von Leichtmetallen	3.1.1.	Lotbildende Zink- und/oder Zinnchloride; auch mit Zusätzen	Werkstücke, die gewaschen werden können	korrosiv
	2.1.3.	Organische Verbindungen		
	2.1.2.	Organische Halogenverbindungen		

Tabelle 6 | Vorschläge zur Lot-, Flussmittel- und Verfahrensauswahl

Werkstoffe	BrazeTec Hartlot	BrazeTec Flussmittel	Verfahren ¹⁾	BrazeTec Weichlot	BrazeTec Flussmittel	Verfahren ¹⁾
Cu	BrazeTec Silfos 2 BrazeTec Silfos 94	-	FL / IN	BrazeTec 3	BrazeTec 7000	FL / EL
Cu-Leg.	BrazeTec Silfos 2 BrazeTec 5600 BrazeTec 4404	BrazeTec h				
Ni + Ni-Leg. beliebige Stähle	BrazeTec 5600	BrazeTec h	FL / IN / EL / AO	BrazeTec 3	BrazeTec K	FL / EL / IN
Eisen-Werkstoffe beliebige Stähle	BrazeTec 4404		SO / VO	Soldamoll 220	BrazeTec K	
Kobalt	BrazeTec 60/40	BrazeTec s	FL / IN / EL / AO	-	-	-
	BrazeTec 48/10		SO / VO			
	BrazeTec 801	-				
Cr- u. Cr/Ni-Stähle	BrazeTec 6009	BrazeTec Special h	FL / IN / EL	Soldamoll 220	BrazeTec Z	FL / EL / KB
	BrazeTec 897/1002/1135	-	SO / VO			HL / AO
	BrazeTec 7200					
	BrazeTec 801					
Edelmetalle	BrazeTec 5600	BrazeTec h	FL / ID	Soldamoll 220	BrazeTec K	-
	BrazeTec 7200		AO			
Al u. Al-Leg. (mit Mg- und/oder Si-Gehalten ≤ 2%)	BrazeTec L88/12	BrazeTec F30/70	FL AO	-	-	-
Hartmetalle	BrazeTec 4900	BrazeTec Special h	FL	-	-	-
	BrazeTec 49/Cu					
Stellite	BrazeTec 4900	BrazeTec Special s	IN	-	-	-
	BrazeTec 48/10					
Chrom, Molybdän, Wolfram, Tantal, Niob	BrazeTec 4900	BrazeTec Special h	FL / IN	-	-	-
			BrazeTec 21/68			
Zink	-	-	-	Soldamoll 220	BrazeTec K	FL / EL
Antimon	-	-	-	-	-	KB / HL
Titan	BrazeTec 7200	-	SO (Argon)	-	-	-
	BrazeTec SCP 2		VO			
Zirkonium	BrazeTec SCP 2	-	SO (Argon)	-	-	-
Beryllium			VO			
Graphit	BrazeTec CB 4	-	SO (Argon)	-	-	-
Metalloxid-Keramiken			VO			

¹⁾ FL=Flamme; EL=Elektrischer Widerstand.; SO=Schutzgasofen; KB=Kolben; IN=Induktiv; AO=Atmosph.-Ofen; VO=Vakuufofen; HL=Heißluftgebläse

9. Glossar

A

Abkühlzeit [1]

Zeit, in der die Verbindung von der Löttemperatur auf Umgebungstemperatur abgekühlt wird. Sie kann Zeit für die benötigte nachfolgende Wärmebehandlung der weich- oder hartgelöteten Teile enthalten.

Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

Aktivlöten [24]

Unter Aktivlöten wird das direkte Löten von Keramik-Keramik- und Keramik-Metall-Verbindungen verstanden. Die zum Aktivlöten erforderlichen Aktivlote enthalten Komponenten wie Titan, Zirkonium oder Hafnium, die durch eine Reaktion an der Grenzfläche Lot-Keramik die Benetzung ermöglicht.

Anlegieren [24]

Unter Anlegieren wird eine starke Diffusion der Lotbestandteile in den Grundwerkstoff verstanden. Da die Diffusion zeit- und temperaturabhängig ist, sollte die Verweildauer auf Löttemperatur vor allem bei den Hochtemperaturlöten möglichst kurz sein, um ein zu starkes Anlegieren des Grundwerkstoffes (Erosion) und ggf. die Bildung spröder Phasen in den Übergangszonen zu vermeiden.

Arbeitstemperatur [25]

Die Arbeitstemperatur ist die niedrigste Oberflächentemperatur an der Lötstelle, bei der das Lot benetzt oder sich durch Grenzflächendiffusion eine flüssige Phase bildet. Die Arbeitstemperatur ist seit Veröffentlichung der Norm ISO 857-2 nicht mehr definiert.

Aufwärmzeit [1]

Zeit, in der die Löttemperatur erreicht wird. Sie umfasst die Durchwärmzeit und kann auch andere Zeiten enthalten, z.B. Entgasung.

Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

Auftraglöten [24]

Unter Auftraglöten wird das Beschichten durch Löten verstanden. Die Beschichtungen können als Verschleißschutz und auch als Korrosionsschutz dienen.

Ausglühen [24]

Ein großer Teil der technischen Gebrauchsmetalle, z.B. Kupfer, Messing, Tiefziehstahl, wird bekanntlich durch

Kaltverformen (auftiefen, pressen, ziehen, walzen usw.) verfestigt. Durch Ausglühen kann der weiche und weniger feste Ausgangszustand wieder hergestellt werden. Bei anderen Werkstoffen, den härtbaren Stählen oder Kupfer-Beryllium kann durch ausgeklügelte Wärmebehandlungen Härte und Festigkeit erhöht werden. Es empfiehlt sich, das Löten dieser beiden Stoffgruppen getrennt zu betrachten.

Automatisiertes Löten [1]

Weich- oder Hartlöten, bei dem alle Vorgänge einschließlich aller Hilfsvorgänge, wie das Wenden des Bauteils, automatisch durchgeführt werden.

B

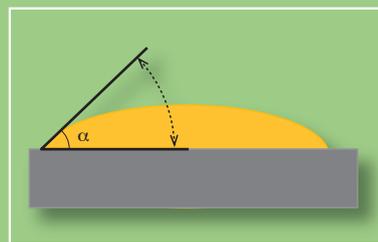
Benetzen

Ausbreiten und Haften einer durchgehenden dünnen Schicht aus geschmolzenem Lot auf der Oberfläche des zu löfenden Bauteils [1].

Lote benetzen den Grundwerkstoff nur dann, wenn die zu löfenden Flächen und das Lot metallisch blank sind. Des Weiteren müssen die Lötflächen und das Lot zumindest die Arbeitstemperatur des verwendeten Lotes erreicht haben und mindestens ein Bestandteil des Lotes muss mit dem zu löfenden Grundwerkstoff freiwillig eine Legierung eingehen können [23].

Benetzungswinkel

Siehe 3.1, Seite 8



Betriebstemperatur [24]

Erhöhte Betriebstemperaturen führen fast immer zu einem erheblichen Festigkeitsrückgang in den Lötverbindungen. Die in technischen Datenblättern oder Lieferprogrammen angegebenen maximalen Betriebstemperaturen sollten bei Dauerbelastung nicht überschritten werden. Kurzzeitige Überschreitungen sind in der Regel zulässig, wenn bei erhöhter Temperatur keine nennenswerten Belastungen der Lötverbindungen vorliegen.

Bindeprozess [1]

Prozess, bei dem eine Verbindung zwischen der flüssigen Phase des Lotes und dem festen Grundwerkstoff aufgrund

einer metallurgischen Reaktion hergestellt wird.

Binder

Substanz, mit der Lote und Flussmittel als Pulver zusammengehalten werden, sodass sie als Paste an die Verbindung angebracht werden kann.

Blank, metallisch blank [24]

Sichtbare Oxidschichten (Rost und Zunder) sowie Fett- und Schmutzschichten müssen vor dem Löten entfernt werden. Dünne Oxidschichten (z.B. Anlauffarben) dürfen auf den Werkstücken verbleiben, wenn unter Anwendung von Flussmittel gelötet wird.

Brennbare Gase [24]

Für Leitungen, in denen Gase der öffentlichen und privaten Gasversorgungsunternehmen transportiert werden, ist in der Bundesrepublik nur Hartlöten zugelassen. Zugelassen sind hier nach DVGW (Deutscher Verband des Gas- und Wasserfaches e.V.) Arbeitsblatt GW2 die Silberhartlote BrazeTec 4576, 3476 und 4404 sowie die phosphorhaltigen Hartlote BrazeTec Silfos 94 und Silfos 2. Können schwefelhaltige Medien (z.B. Motorenöle, Stallatmosphären etc.) an die Lötstelle gelangen, scheiden phosphorhaltige Lote aus. Azetylenleitungen müssen nach DIN EN ISO 9539,[25] mit Loten gelötet werden, die nicht mehr als 46 % Ag und nicht mehr als 36 % Cu enthalten (BrazeTec 4576 bzw. 4404).

Brenner [24]

Instrumente zum Erwärmen der Bauteile an Atmosphäre. Brenner gibt es für unterschiedliche Gasarten: Azetylen-Sauerstoff; Azetylen-Ansaugluft; Propan-Sauerstoff; Propan-Ansaugluft; Erdgas-Sauerstoff-Erdgas-Pressluft oder auch Wasserstoffbrenner. Die gewählte Gasart sowie die Größe der Brennerspitze entscheiden über die Lötzeit.

D

Dampfdruck [27]

Der Dampfdruck ist ein stoff- und temperaturabhängiger Gasdruck. Anschaulich gesprochen ist der Dampfdruck der Umgebungsdruck, unterhalb dessen eine Flüssigkeit – bei konstanter Temperatur – beginnt in den gasförmigen Zustand überzugehen. Befinden sich verschiedene Stoffe im betrachteten System, so setzt sich der gemessene Druck der Gasphase aus den Partialdrücken der verschiedenen Stoffe zusammen.

Diffusion [24]

Unter Diffusion wird im Allgemeinen ein makroskopischer Massetransport verstanden, der durch Wanderung einzelner Atome um Wege, die größer als ein Atomabstand sind, bewirkt wird.

Diffusionsphase [1]

Schicht von Phasen, die während des Lötens gebildet wird und deren chemische Zusammensetzung sich von Grundwerkstoff und Lötgut unterscheidet.

Durchwärmtemperatur [1]

Temperatur, bei der die zu lötenen Bauteile gehalten werden, sodass sie einheitlich durchgewärmt werden. Sie ist geringer als die Solidustemperatur des Lotes. Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

Durchwärmzeit [1]

Zeit, in der die zu lötenen Bauteile auf Durchwärm-/Vorwärmtemperatur gehalten werden.

Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

E

Elektronenstrahllöten [1]

Die Hartlötverbindung wird durch Absorption eines gebündelten Elektronenstrahls erwärmt. Dies geschieht üblicherweise im Vakuum.

Entnetzen [1]

Beseitigung von festem Lot, welches, obwohl es über die Oberfläche der zu fügenden Bauteile verteilt wurde, es nicht binden konnte, z.B. auf Grund von mangelhaftem Säubern oder mangelhafter Flussmittelzugabe.

Eutektische Legierungen [24]

Eutektische Legierungen besitzen wie reine Metalle einen Schmelzpunkt statt eines Schmelzbereiches. Das in der Löttechnik bekannteste Beispiel für eine eutektische Legierung ist das Lot BrazeTec 7200, das aus 72 % Silber und 28 % Kupfer besteht und einen Schmelzpunkt von 780 °C aufweist.

F

Festigkeit [28]

Die Festigkeit von Lötverbindungen ist abhängig vom Lot, der konstruktiven Gestaltung, Lötspalt, Überlappung, vom Grundwerkstoff sowie der Vorbehandlung. Die Qualität und damit auch die Festigkeit von Lötverbindungen sind verfahrensabhängig. Es ist eine Scherbelastung anzustreben. Festigkeitswerte sollen bauteilbezogen ermittelt werden. Anhaltswerte können den Herstelleran-

gaben entnommen werden.

Flammlöten [1]

Ein mit Gas betriebener Brenner wird als Wärmequelle genutzt. Der Brenner wird so eingestellt, dass eine neutrale oder leicht reduzierte Flamme entsteht.

Fließweg [1]

Strecke, die das geschmolzene Lot in der Fugestelle entlang fließt.

Flussmittel

Nicht-metallischer Stoff, der, wenn geschmolzen, das Benetzen unterstützt, indem vorhandene Oxide oder schädliche Beläge von den zu fügenden Oberflächen entfernt werden und ihre Neubildung während des Fügevorgangs verhindert wird [1].

Zur Herstellung von Hartlöt-Flussmitteln werden Salzmischungen verwendet, die in der Lage sind, Metalloxide zu lösen. Sie enthalten in der Regel Bor-Verbindungen als Grundlage. Das Flussmittel muss tiefer schmelzen als das eingesetzte Lot. Es wird vor dem Löten als dünne Schicht auf die Lötstellen aufgetragen und löst, sobald die Temperatur der zu lötenen Bauteile den Wirktemperaturbereich des Flussmittels erreicht hat, die Oxidschicht [24].

Flussmittelauswahl [24]

Hartlotflussmittel werden anhand der zu erwartenden Löttemperatur und den zu lötenen Grundwerkstoffen ausgewählt. Hinweise enthält das BrazeTec-Lieferprogramm.

Flussmitteldämpfe [24]

Die beim Löten mit Flussmitteln entstehenden Dämpfe sind reizend bis ätzend. Daher ist eine Absaugung immer zu empfehlen. Werden die jeweils gültigen AGW-Werte (Arbeitsplatzgrenzwert) überschritten, muss unter Absaugung gearbeitet werden.

Füllgrad [29]

Prozentualer Anteil des mit Lot gefüllten Lötspaltvolumens

Fugenlöten [24]

Sind die zu verbindenden Flächen der zu lötenen Werkstücke mehr als 0,5 mm voneinander entfernt, spricht man von einer (Löt-)Fuge (weniger Abstand = Lötspalt) – siehe Bild 11, Seite 10. Arbeitsweise und Temperaturverteilung beim Fugenlöten sind mit dem Gasschmelzschweißen zu vergleichen. Beim Fugenlöten werden relativ große Lotmengen benötigt. Daher setzt man hierfür fast ausschließlich die silberfreien Hartlote BrazeTec 60/40 und BrazeTec 48/10 ein.

Verträgt ein Bauteil mit Lötspalt keine gleichmäßige Erwärmung über die Gesamtlänge der Lötstelle, kann ebenfalls nach dem Fugenlötverfahren gearbeitet werden.

G

Galvanisieren [24]

Wenn die Oberfläche der zu lötenen Bauteile nach dem Löten galvanisch beschichtet werden soll, sind niedrigschmelzende Silberhartlote zu bevorzugen, da bei diesen die Flussmittelreste leicht entfernbar sind. Cadmiumfreie Lote bilden in der Regel glattere Hohlkehlen. In speziellen Fällen sind siliziumhaltige Silberhartlote empfehlenswert. Bei Anwendung höher-schmelzender Lote wie BrazeTec 60/40 oder BrazeTec 48/10 müssen die Flussmittelreste mechanisch entfernt werden. Oftmals kann auch mit gasförmigen Flussmitteln gearbeitet werden.

Gasförmige Flussmittel [24]

Gasförmige Flussmittel bestehen aus Borsäureestern und einem leicht verdampfenden Lösungsmittel als Trägermedium. Sie werden nur beim Flammlöten eingesetzt. Der Brenngasstrom wird bei diesem Verfahren durch das Flüssigkeitsgemisch geleitet und reichert sich dabei mit Flussmittel an. Das Flussmittel wird dann über die Flamme auf das zu lötenen Bauteil befördert und entfernt dort die Oxide. Zu beachten ist, dass bei der Verarbeitung in der Brennerflamme Borsäure entsteht, die sich auf dem Werkstück und im Arbeitsbereich niederschlägt. Seit Dezember 2010 ist Borsäure in der EU als fortpflanzungsgefährdend eingestuft [21] und der Lötler muss daher vor dem entstehenden Borsäurestaub geschützt werden. Nachteilig bei der Verwendung von gasförmigen Flussmitteln ist, dass sie erst ab ca. 750 °C wirkt und nicht in enge Spalten eindringt, wodurch das Durchlöten verhindert wird.

Gesamtzeit [1]

Zeit, die die Aufwärmzeit, die Haltezeit und die Abkühlzeit umfasst.

Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

Grundwerkstoff [1]

Werkstoff, der weich-/hartgelötet werden soll.

H

Haltezeit [1]

Zeit, in der die Verbindung auf Löttem-

peratur gehalten wird. Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

Hartlöten [1]

Fügeprozess mit Loten, deren Liquidustemperatur oberhalb 450 °C liegt.

Hartmetalle [24]

Hartmetalle (HM) sind pulvermetallurgisch – ausgehend von Pulvergemischen auf dem Sinterwege – hergestellte naturharte Werkstoffe, die einen hohen Anteil an Metallkarbiden enthalten, unter denen Wolframkarbid (WC) eine herausragende Stellung einnimmt. Als Binde­metall wird hauptsächlich Cobalt mit Gehalten zwischen 5–13 Gew.-% verwendet. In Ausnahmefällen ist der Cobaltgehalt auch höher.

Hochtemperaturlöten [4]

Fügeprozess im Vakuum oder unter Schutzgas mit Loten, deren Liquidustemperatur oberhalb 900 °C liegt.

I

Induktionslöten [1]

Beim Induktionslöten wird das Bauteil durch einen induzierten Strom erwärmt. Zur Induktion wird das Bauteil berührungslos in eine Spule gestellt, durch die ein elektrischer Strom fließt. Je nach Frequenz des Stromes unterscheidet man Hochfrequenz- (100 kHz bis einige MHz) bzw. Mittelfrequenzlöten (1 kHz bis 50 kHz). In der Regel wird an der Luft mit Lot und Flussmittel gelötet.

Inerte Schutzgasatmosphäre [1]

Gas, das während des Weich- oder Hart­lötprozesses die Bildung von Oxiden ausreichend verhindert und nicht mit den verwendeten Grundwerkstoffen oder Lotbestandteilen reagiert.

Interkristalline Diffusion [27]

Lotdiffusion entlang der Korngrenzen des Grundwerkstoffes.

K

Kapillareffekt [1]

Kraft, ausgelöst durch Oberflächenspannung, die das geschmolzene Lot in den Spalt zwischen die zu fügenden Bauteile hineinzieht, auch entgegen der Schwerkraft. Sie ist abhängig von der Lötspaltbreite und der Geometrie. Allgemein gilt, dass der Kapillareffekt (kapillarer Füll­druck p_k) mit enger werdendem Lötspalt zunimmt.

Keramik

Löten von Keramik – siehe Aktivlöten

Kolbenlöten [1]

Kolbenlöten ist das Erwärmen der Löt­stelle und das Abschmelzen des Lotes mit einem von Hand oder maschinell ge­führten Löt­kolben. Wärmekapazität und Form des Kolbens sowie der Lötspitze müssen der Löt­stelle angepasst sein. Unter Zuhilfenahme von Flussmittel werden beide Verbindungspartner mit dem Lot auf Arbeitstemperatur gebracht, bevor der eigentliche Löt­vorgang begin­nen kann.

L

Laserstrahl­löten [1]

Beim Laserlöten werden die zu löten­den Bauteile mit einem Laser erwärmt. Die Laserlö­tungen erfolgen in der Regel flussmittelfrei.

Legierung [24]

Verbindungen von zwei oder mehreren Metallen werden als Legierung bezeichnet.

Lichtbogenlöten [1]

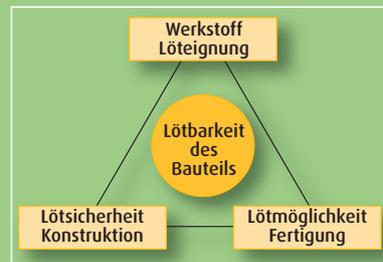
Metall-Lichtbogenhartlötverfahren kann in Metall-Schutzgaslöten (bekannt als Gas-Metall-Lichtbogenhartlöten) und Wolfram-Schutzgashartlöten unterteilt werden. Das Prinzip des Metall-Lichtbogenhartlöten ist nahezu identisch mit dem des Metall-Lichtbogenschweißens. Die am häufigsten gebrauchten Schweißdrähte sind Kupferlegierungen. Die Schmelzbereiche dieser Lote sind niedriger als die der Grundwerkstoffe. Metall-Lichtbogenhartlötverfahren werden üblicherweise mit dünnen Stahlblechen genutzt, die beschichtet oder unbeschichtet sind. Der Grundwerkstoff wird nicht aufgeschmolzen. Normalerweise wird kein Flussmittel benötigt.

Liquidustemperatur [1]

(oberer Schmelzpunkt) Die Liquidustem­peratur ist die obere Temperaturgrenze des Schmelzbereiches bzw. des Schmelz­intervalls. Oberhalb dieser Temperatur ist das Lot vollständig flüssig.

Lötbarkeit [23]

Die Lötbarkeit eines Bauteils ist vorhanden, wenn der vorgesehene Grundwerkstoff zum Löten geeignet ist, die Anwendbarkeit eines oder mehrerer Löt­verfahren möglich ist und die Löt­teile löt­gerecht und hinsichtlich der zu erwartenden Betriebsbedingungen so konstruiert sind, dass die Sicherheit des gelöteten Bauteils sichergestellt ist.



Löt­kolben [1]

Löt­kolben werden ausschließlich zum Weichlöten verwendet. Sie bestehen aus einem Metallstück (Kupfer), das z.B. mit einem Brenner oder auch elektrisch erwärmt wird. Durch Kontakt mit dem Bauteil wird die Wärme, aber auch ab­geschmolzenes Lot übertragen und damit eine Lötung erzielt.

Löt­gut [1]

Metall, das durch den Lötprozess gebil­det wird. Da das Lot geschmolzen ist, kann sich seine chemische Zusammen­setzung aufgrund von Reaktionen mit dem Grundwerkstoff ändern.

Lötspalt [1]

Als Lötspalt wird der Spalt zwischen den zu löten­den Bauteilen bei Löttemperatur bezeichnet. Aufgrund der thermischen Ausdehnung der Grundwerkstoffe kann sich der Lötspalt vom Montagespalt un­terscheiden.

Löt-Stoppmittel [1]

Substanz, die eingesetzt wird, um ein unerwünschtes Ausbreiten des ge­schmolzenen Lotes zu verhindern.

Löttemperatur [1]

Temperatur an der Füge­stelle, bei der das Lot die Oberfläche benetzt oder bei der eine flüssige Phase aufgrund von Grenzflächendiffusion gebildet wird und genügend Werkstofffluss eintritt. Bei ei­nigen Loten findet dies unterhalb der Li­quidustemperatur statt.

Siehe Temperatur-Zeit-Schema.

Löt­vorrichtung [28]

Vorrichtungen werden eingesetzt, um Löt­teile zu fixieren und die Maßhaltigkeit zu erreichen. Löt­vorrichtungen sind im besonderen Maße auf das Löt­verfahren und deren Anforderungen abzustimmen.

Lötzeit [1]

Dauer des Lötzyklus. Zeitraum vom Be­ginn der Erwärmung bis zur vollstän­digen Erstarrung des Lotes. Sie sollte an der Luft maximal 5 Minuten betragen, damit die oxidlösende Wirkung des Flussmittels erhalten bleibt. Siehe Tem­peratur-Zeit-Schema.

Lotbadlöten [1]

Beim Lotbadlöten werden die zu verbindenden Teile in ein Bad aus flüssigem Lot getaucht und so der Lötvorgang vollzogen. Vor dem Eintauchen werden die Teile mit Flussmittel benetzt. Die Eintauchgeschwindigkeit sollte nur so hoch gewählt werden, dass die Löttemperatur in jeder Tauchphase am Werkstück erreicht wird. Ein sichtbares Zeichen dafür ist ein positiver Meniskus an der Grenzfläche von Lotoberfläche und Bauteil.

Lot [1]

Für Lötverbindungen notwendiger Zusatzwerkstoff, der als Draht, Stab, Formteil, Einlage, Pulver, Pasten usw. vorliegen kann.

Lotfolie [1]

Lotlegierung- oder Legierungspulver in Folienform, mit oder ohne Binder.

Lotformteile [24]

Als Lotformteile werden Drahtabschnitte, Drahringe, Drahtbiegeteile, Scheiben, Lochscheiben, quadratische oder rechteckige Blechabschnitte sowie Blechstanzteile verwendet. In besonderen Fällen, z.B. bei Flächenlötungen, muss mit Lotformteilen gelötet werden, da die Fließgeschwindigkeit des Lotes im Innern von engen Flächenspalten bedeutend kleiner ist als in der freien Hohlkehle.

M

Manuelles Löten [1]

Weich- oder Hartlöten, bei dem alle Tätigkeiten manuell ausgeführt werden.

Maximale Löttemperatur [24]

Als maximale Löttemperatur wird die Temperatur verstanden, bis zu der der Grundwerkstoff und das Lot nicht geschädigt werden, d.h. die Wärmequellen müssen so gewählt werden, dass geeignete Temperatur-Zeit-Kurven im Werkstück entstehen.

Mechanisieretes Löten [1]

Weich- oder Hartlöten, bei dem alle wesentlichen Tätigkeiten, mit Ausnahme der Handhabung der Werkstücke, mechanisch ausgeführt werden.

Messerschnittkorrosion [24]

Bei der Messerschnittkorrosion handelt es sich um eine Grenzflächenkorrosion. Diese tritt z.B. bei mit zinkhaltigen Loten hartgelöteten Bauteilen aus nichtrostenden Stahl auf, die mit chloridhaltigen, wässrigen Medien in Kontakt kommen. Meist wird die Stahloberfläche am Rand

und unter der Lötstelle deutlich angegriffen. Verringert wird die Korrosionsgefahr durch Löten mit Zn-freien Loten wie BrazeTec 6009 (Ag 60 %, Cu 30 %, Sn 10 %) und Flussmittel. Bei Ofenlötungen (ohne Flussmittel), z.B. mit Kupfer als Lot, sind bisher noch keine Messerschnittkorrosionsfälle bekannt geworden.

Montagespalt [1]

Als Montagespalt wird der Spalt zwischen den zu lötenden Bauteilen bei Raumtemperatur bezeichnet.

N

Nacharbeit [28]

Je nach Lötverfahren und eingesetzten Stoffen sind Nacharbeiten erforderlich. Rückstände von Flussmittel, Lötstopmittel und Bindermittel sind durch Spülen, Beizen und/oder mechanische Mittel zu entfernen. Die Lötverbindung muss so konstruiert sein, dass ein erforderliches Nacharbeiten möglich ist und Rückstände leicht zu beseitigen sind.

O

Ofenlöten [1]

Die zu lötenden Bauteile werden durch Wärmestrahlung und/oder Konvektion der heißen Ofengase erwärmt. Die Bauteile müssen gegenseitig fixiert werden. Das Lot wird vor dem Erwärmen eingelegt. Üblicherweise wird der Prozess ohne Flussmittel in reduzierendem Schutzgas oder Vakuum durchgeführt. In einigen Fällen kann auch eine Inertschutzgasatmosphäre und/oder Flussmittel, z.B. für Aluminiumlegierungen, genutzt werden.

P

Partialdruck [27]

Der Partialdruck ist der Druck, der in einem Gasgemisch wie z.B. Luft, einem bestimmten Gas zugeordnet werden kann. Der Partialdruck entspricht dabei dem Gesamtdruck, den die Komponente beim alleinigen Ausfüllen des gesamten Volumens ausüben würde. Beim Vakuumlöten wird der Vakuumatmosphäre ein Gas zugesetzt, um das Verdampfen von Legierungsbestandteilen des Lotes oder der Grundwerkstoffe zu verhindern.

R

Reduzierende Schutzgasatmosphäre [1]

Gas, das Metalloxide aufgrund seiner hohen Affinität zu Sauerstoff reduziert.

Oxidationsempfindliche Werkstoffe, wie

Legierungen mit über 0,5 % Aluminium, Titan oder Zirkon können auch in reduzierenden Schutzgasen nicht ohne Flussmittel gelötet werden [29]. Schutzgasgelötete Teile sind blank und bedürfen keiner Nacharbeit.

S

Salzbadlöten [1]

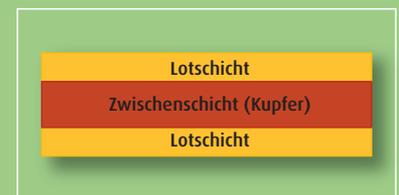
Die Bauteile werden erwärmt, indem sie in ein Bad, das eine Mischung von verschiedenen Salzen enthält, getaucht werden. Viele Salzmischungen besitzen ebenfalls Flussmittelwirkung. Hartlotformteile werden in die unmittelbare Nähe des Verbindungsbereiches vor dem Eintauchen platziert.

Sauerstoffgehalt

Sauerstoffgehalt von angelieferten inerten Schutzgasen oder deren Ofenatmosphären wird in vpm oder ppm (1 Volumenanteil pro Millionen) angegeben.

Schichtlote [24]

Schichtlote bestehen aus einer Kupferschicht oder einem Nickelnetz, welche auf beiden Seiten mit Lot plattiert werden. Sie werden für das Löten von Hartmetallen eingesetzt, um die aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten entstehenden inneren Spannungen zu kompensieren.



Schmelzpunkt [25]

Als Schmelzpunkt bezeichnet man die Temperatur, bei der ein Stoff schmilzt, das heißt vom festen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.

Schmelztemperaturbereich des Lotes [1]

Temperaturbereich, der vom Beginn des Schmelzens (Solidustemperatur) bis zum vollständigen Aufschmelzen (Liquidustemperatur) reicht.

Schutzgasatmosphäre zum Löten [1]

Gasatmosphäre oder Vakuumhülle um ein Bauteil herum, um die Oxide oder andere schädliche Beläge auf der Oberfläche zu beseitigen oder die Neubildung solch eines Belages auf Oberflächen, die vorher gesäubert wurden, zu verhindern.

Schweißlöten

Siehe Fugenlöten

Siedepunkt [27]

Der Siedepunkt stellt die Bedingungen der beiden Größen Druck und Temperatur dar, welche beim Phasenübergang eines Stoffes von der flüssigen in die gasförmige Phase vorliegen, was als Sieden oder Verdampfen bezeichnet wird.

Solidustemperatur [24]

Die Solidustemperatur ist die untere Temperatur des Schmelzbereiches oder Schmelzintervalls. Unterhalb dieser Temperatur ist das Lot vollständig erstarrt.

Spalllöten [24]

Spalllöten ist Fügen von Teilen, wobei ein konstruktiv zwischen den Teilen befindlicher enger Spalt vorzugsweise durch kapillaren Fülldruck mit Lot gefüllt wird. Werkstücke mit Lötstellenbreiten unter 0,5 mm werden im Spalllötverfahren gelötet.

Stufenlöten [29]

Löten nachfolgender Verbindungsstellen eines Bauteils mit einem Lot mit niedrigerer Löttemperatur zum Vervollständigen der Lötaufgabe, ohne die Erstverbindungsstellen zu beeinträchtigen.

Stumpfer Lötstoß [31]

Lötverbindung zweier Grundwerkstoffe ohne Überlappung.

T

T-Stoß [31]

Die Teile stoßen rechteckig (T-förmig) aufeinander

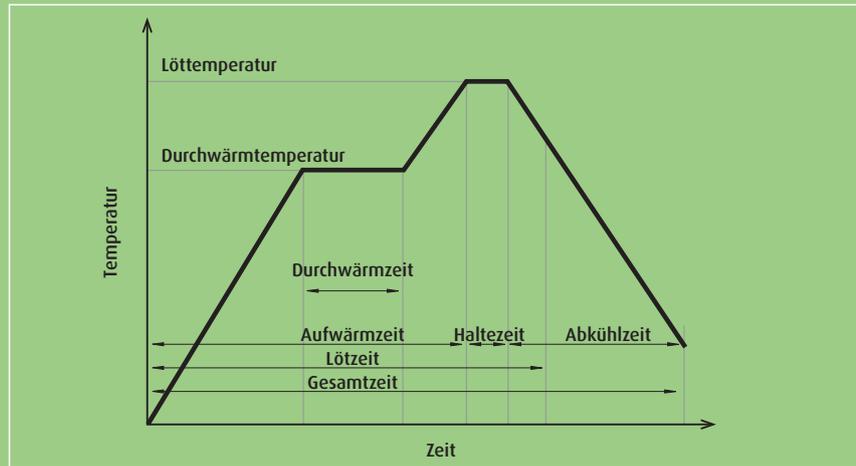
Taupunkt oder Taupunkttemperatur [27]

Bei der Taupunkttemperatur handelt es sich um diejenige Temperatur der feuchten Luft oder Atmosphäre, bei der diese wasserdampfgesättigt wäre sowie bei einer zunehmenden Temperatursenkung kondensieren würde.

Thermoelement [27]

Ein Thermoelement ist ein Bauteil aus zwei unterschiedlichen und an einem Ende miteinander verbundenen Metallen. Thermoelemente dienen zur Temperaturmessung am Bauteil und/oder der Atmosphäre.

Temperatur-Zeit-Schema von Lötprozessen [31]



U

Übergangsphase

Siehe Diffusionsphase

Überlappender Lötstoß [31]

Die Teile liegen parallel aufeinander und überlappen teilweise oder vollständig (Flächenlötung)

V

Vakuum, Vakuumlöten [1]

Ausreichender Druck unterhalb des Atmosphären-Druckes, sodass aufgrund des niedrigen Partialdruckes des verbleibenden Gases die Bildung von Oxiden in einem für das Weich- oder Hartlöten ausreichenden Maß verhindert wird.

Vakuummhartlote [24]

Als Vakuummhartlote scheiden sämtliche Hartlote aus, deren Legierungskomponenten bei der Löttemperatur einen hohen Dampfdruck haben, beispielsweise alle Lote, die leichtflüchtige Elemente wie Cadmium und Zink enthalten. Beim Löten in Vakuum handelt es sich in der Regel um eine Ofenlötung, wobei vorwiegend widerstands- bzw. induktionsbeheizte Vakuumöfen verwendet werden.

Während beim Löten an der Atmosphäre Flussmittel und Gase im Lötspalt eingeschlossen werden können, ist das beim Löten im Vakuum praktisch nicht der Fall, sodass Lötverbindungen mit gutem Füllgrad und hoher Festigkeit entstehen.

Vorwärmtemperatur

Siehe Durchwärmtemperatur

Vorwärmzeit

Siehe Durchwärmzeit

W

Wärmeeinflusszone [1]

Bereich, der Grundwerkstoffe, der vom Lötprozess betroffen ist.

Weichlöten [1]

Fügeprozess mit Loten, deren Liquidustemperatur bei 450 °C oder darunter liegt.

Widerstandslöten [1]

Beim Widerstandslöten werden Elektroden aus Metall oder Kohle am Bauteil angelegt. Durch diese Elektroden und durch das Bauteil wird ein elektrischer Strom geleitet. Wie jeder elektrische Leiter erwärmt sich das Bauteil infolge seines elektrischen Widerstandes durch den Stromfluss und wird so bis auf Löttemperatur erwärmt. Bei Verwendung von Kohlelektroden erwärmen sich diese aufgrund des höheren elektrischen Widerstandes im Vergleich zum Bauteilwerkstoff (in der Regel Kupfer). Die Erwärmung des Bauteiles erfolgt daher über Wärmeleitung. Das Widerstandslöten wird vorwiegend zum Weichlöten eingesetzt, aber in speziellen Fällen wird auch erfolgreich hartgelötet.

Wirktemperaturbereich [24]

Temperaturbereich, in dem die Flussmittel oder Schutzgasatmosphären wirken.

Wirkzeit [1]

Zeit, in der das Flussmittel während des Lötens wirksam bleibt.

Literatur

- [1] DIN ISO 857-2:2007-05: Schweißen und verwandte Prozesse – Begriffe – Teil 2: Weichlöten, Hartlöten und verwandte Begriffe
- [2] Massalski, T.B.: Binary Alloy Phase Diagrams, ASM International (1996)
- [3] Zeramba, P.: Hart- und Temperaturlöten, S. 10, DVS Verlag (1988)
- [4] N.N.: Technik, die verbindet, Band 1, S. 3-4, Degussa AG (1987)
- [5] Dorn, L.: Hartlöten und Hochtemperaturlöten, S. 11, expert Verlag (2007)
- [6] Zeramba, P.: Hart- und Temperaturlöten, S. 8, DVS Verlag (1988)
- [7] Dorn, L.: Hartlöten und Hochtemperaturlöten, S. 21, expert Verlag (2007)
- [8] Wuich, W.: Löten, S. 55, Vogel-Verlag (1972)
- [9] Zimmermann, K.: Technik, die verbindet, Band 4, S. 28, Degussa AG (1990)
- [10] Beckert, M.: Grundlagen der Schweißtechnik – Löten, S. 32, VEB Verlag Technik Berlin (1973)
- [11] N.N.: Grundlagen des Lötens (L), Degussa AG (1996)
- [12] www.innobraze.com/
- [13] DIN EN ISO 9453:2006-12: Weichlote – Chemische Zusammensetzung und Lieferform
- [14] DIN EN DIN EN ISO 17672:2010-11: Hartlöten – Lote
- [15] <http://www.cuprobraze.com>
- [16] Weise, W., Malikowski W., Krappitz, H.: Verbinden von Keramik mit Keramik oder Metall durch Aktivlöten unter Argon oder Vakuum, Dagussa-Hüls AG (1999)
- [17] Verordnung (EG) Nr. 494/2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Anhang XVII (Cadmium).
- [18] Wuich, W.: Löten, S. 97, Vogel-Verlag (1972)
- [19] Müller, W.: Löttechnik, S. 61, DVS Verlag (1995)
- [20] DIN EN 29454-1:1994-02: Flussmittel zum Weichlöten – Einteilung und Anforderung – Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung
- [21] DIN EN 1045:1997-08: Hartlöten – Flussmittel zum Hartlöten – Einteilung und technische Lieferbedingungen
- [22] Verordnung (EG) Nr. 790/2009 der Kommission vom 10. August 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt
- [23] DIN 8514:2006-05: Lötbarkeit
- [24] <http://www.saxonia-tm.de>
- [25] DIN 8505-1:1979-05: Löten; Allgemeines, Begriffe
- [26] DIN EN ISO 9539:2010-05; Werkstoffe für Geräte für Gasschweißen, Schneiden und verwandte Prozesse
- [27] Wikipedia.org/wiki
- [28] DIN 65169:1986-10; Luft- und Raumfahrt, Hart- und hochtemperaturgelötete Bauteile, Konstruktionsrichtlinien
- [29] Müller, W.: Löttechnik, S. 2f, DVS Verlag (1995)
- [30] Wuich, W.: Löten, S. 52, Vogel-Verlag (1972)
- [31] DIN 1912-4:1981-05; Zeichnerische Darstellung Schweißen, Löten
- [32] Prozesskontrolle beim Hochtemperaturlöten, DVS Merkblatt 2607 (2008)

Unsere Angaben über unsere Produkte und Geräte sowie über unsere Anlagen und Verfahren beruhen auf einer umfangreichen Forschungsarbeit und anwendungstechnischen Erfahrung. Wir vermitteln diese Ergebnisse, mit denen wir keine über den jeweiligen Einzelvertrag hinausgehende Haftung übernehmen, in Wort und Schrift nach bestem Wissen, behalten uns jedoch technische Änderungen im Zuge der Produktentwicklung vor. Darüber hinaus steht unser anwendungstechnischer Dienst auf Wunsch für weitergehende Beratungen sowie zur Mitwirkung bei der Lösung fertigungs- und anwendungstechnischer Probleme zur Verfügung.

Das entbindet den Benutzer jedoch nicht davon, unsere Angaben und Empfehlungen vor ihrer Verwendung für den eigenen Gebrauch selbstverantwortlich zu prüfen. Das gilt – besonders für Auslandslieferungen – auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter sowie für Anwendungen und Verfahrensweisen, die von uns nicht ausdrücklich schriftlich angegeben sind. Im Schadensfall beschränkt sich unsere Haftung auf Ersatzleistungen gleichen Umfangs, wie sie unsere Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen bei Qualitätsmängeln vorsehen.