

Handlöttechnik in der Elektronik

Grundlagen



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Einleitung.....	4
Ausblick	5
Kapillarität, Benetzung und Diffusion.....	6
Lötbarkeit.....	8
Flussmittel	10
Lote	12
Löttemperatur und Lötzeit.....	15
LötKolben und Lötspitzen.....	16
Praxis des Handlötens.....	18
Qualitätssicherung.....	19
Entlöten	20
Löt Arbeitsplatz	21
EGB (ESD)-Schutz	22
Schlusswort	23

Vorwort

Der nachfolgende Text ist eine Zusammenfassung der grundlegenden Kenntnisse und wichtigsten Voraussetzungen für die Herstellung qualitativ hochwertiger Weichlötstellen.

Lötexperten mögen bitte Nachsicht üben, sofern für sie triviale Punkte angesprochen sind. Aufgrund jahrelanger Erfahrung in der Anwendungstechnik weiß der Verfasser jedoch, daß häufig selbst bei löttechnischen Grundbegriffen noch Unklarheiten bestehen. Diese Schrift soll informieren und zur Klärung beitragen.

Wertheim, im November 2003

Einleitung

Das Löten ist eine Verfahrenstechnik, mit der man metallische Werkstoffe mit Hilfe eines Zusatzmetalles (Lot), unter Zuführung von Wärme mechanisch, dichtend und elektrisch leitend verbinden kann. Die Schmelztemperatur des Lotes liegt unterhalb derjenigen der zu verbindenden Grundwerkstoffe. Diese werden vom flüssigen Lot benetzt, ohne selbst geschmolzen zu werden.

Tabelle 1: **Schmelztemperaturen einiger Metalle:**

Metall	Chem. Zeichen	Schmelztemperatur in °C	Metall	Chem. Zeichen	Schmelztemperatur in °C
Eisen	Fe	1530	Antimon	Sb	630
Gold	Au	1064	Blei	Pb	327
Kupfer	Cu	1083	Cadmium	Cd	321
Nickel	Ni	1452	Indium	In	156
Palladium	Pd	1555	Wismut	Bi	271
Silber	Ag	960	Zinn	Sn	232

Beim Weichlöten, von dem in der Folge ausschließlich die Rede ist, liegt die Arbeitstemperatur unter 450°C, beim Hartlöten darüber, wobei diese Grenze relativ willkürlich gewählt ist.

DIN 8505 definiert das Weichlöten als ein Füge- und Beschichtungsverfahren mit Loten, deren Liquidustemperatur (Schmelztemperatur) unter 450°C liegt.

In der Regel werden Zinn-Blei-Legierungen mit oder ohne Zusätze anderer Elemente verwendet. Die Zinnanteile können dabei zwischen 1 % und 100 % liegen, d.h. auch Reinzinn kommt als Weichlot in Frage.

Das Weichlöten ist eines der ältesten Fügeverfahren, wie prähistorische Funde beweisen. Ungeachtet des Alters dieses Verfahrens und der auch heute noch gelegentlich zu beobachtenden Sorglosigkeit bei der Durchführung von Weichlötungen muß deutlich herausgestellt werden, daß der gesamte Vorgang des Weichlötens eine Reihe von Fehlermöglichkeiten beinhaltet und das Nichtbeachten wichtiger Regeln zu schwerwiegenden Konsequenzen führen kann.

In der Elektronikindustrie verursacht das Aufspüren und Beheben von Fehlern hohe Kosten, die die Rentabilität der Fertigung in Frage stellen können.

In Bereichen der Medizintechnik, im Steuerungsbau, in Verkehrsmitteln usw. bedeuten fehlerhafte Lötstellen oft ein hohes Sicherheitsrisiko für Leben und Gesundheit der Menschen.

Die Kenntnisse über das Weichlöten sind aber heute so weit fortgeschritten, daß bei Beachtung aller Probleme und Fehlermöglichkeiten ein Optimum an Zuverlässigkeit erreicht werden kann. Gestützt wird dies dadurch, daß vor und während der Fertigung alle Komponenten sorgfältig überprüft und die fertigen Lötstellen strengen Qualitätskontrollen unterzogen werden.

Für den Techniker wie für den Heimwerker ist bei Verwendung geeigneter Lötwerkzeuge und bei Beachtung einiger wichtiger Grundlagen das Löten kein Problem.

Die Voraussetzung zum Gelingen einwandfreier Lötverbindungen sind:

- die Eignung der Werkstoffe
- die Anwendbarkeit eines Lötverfahrens
- eine lötsichere Konstruktion

Im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik gilt als Grundvoraussetzung:

Die Lötstelle ist eine elektrische und nur bedingt eine mechanische Verbindung. Mechanische Spannungen führen zu plastischen Verformungen und schließlich zur Reißbildung, d.h. zur Zerstörung der Lötstelle.

Nach DIN 8505 stehen bei Weichlötverbindungen dichtende und/oder elektrisch leitende Eigenschaften im Vordergrund. Festigkeitsanforderungen verlangen entsprechende konstruktive Maßnahmen.

Ausblick

Im Bereich der Elektronik ist das Weichlöten eine Verbindungstechnik, für die es auf nahe und mittlere Sicht kaum eine Alternative geben wird.

Als Beweis für diese Feststellung müssen wir uns die wesentlichen Merkmale dieses Fügeverfahrens vor Augen führen.

Setzt man eine vernünftige Wahl der Werkstoffe und der Bauelemente voraus und sorgt der Entwickler für ein lötgerechtes Konzept der Verbindungen, können beim maschinellen Löten viele Verbindungen nahezu gleichzeitig hergestellt werden.

Die Lötstellen besitzen darüber hinaus noch folgende vorteilhafte Eigenschaften:

- der Platzbedarf ist gering
- die elektrische und die thermische Leitfähigkeit sind gut
- eine zerstörungsfreie Prüfung ist mit hoher Sicherheit möglich
- unter unterschiedlichsten Umgebungs- und Temperaturbedingungen (-55°C bis +125°C) erfüllen sie Ihre Funktion zuverlässig
- sie sind mit wenig Aufwand zu lösen und zu reparieren

Alle anderen Verbindungstechniken, die in geringerem Umfang auch im Elektronikbereich Anwendung finden, sind meist nur einzeln herstellbar und haben nicht gleichzeitig alle vorgenannten Eigenschaften.

Quetsch- und Schweißverbindungen sind nicht zerstörungsfrei prüf- und reparierbar, Wire-Wrap-Verbindungen benötigen viel Raum.

Kapillarität, Benetzung und Diffusion

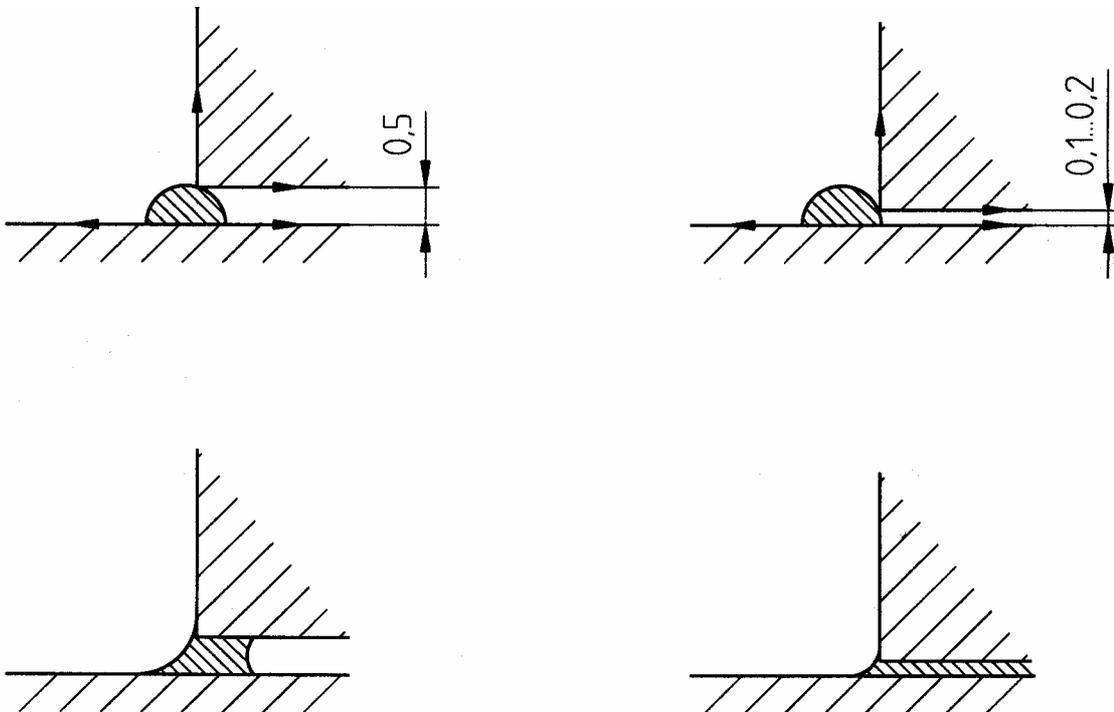
Beim Löten wird der Spalt zwischen den zu verbindenden Teilen mit einem Metall oder einer Legierung gefüllt, wobei deren Schmelzpunkt, wie schon in der Einleitung gesagt, meist weit unter dem der Teile liegt, die zu verbinden sind.

Dabei spielen Kapillarkräfte, wie immer bei der Berührung Festkörper - Flüssigkeit eine dominierende Rolle.

Bild 1: Ausbreitung des Lotes durch Kapillarkräfte

a) bei weitem Spalt

b) bei engem Spalt



Bei der Betrachtung der metallurgischen Reaktionen sei Kupfer und Zinn-Blei-Lot zugrundegelegt, da diese Werkstoffe in der Elektronik am häufigsten vorkommen.

Wird das Lot auf einer chemisch reinen Kupferoberfläche über die Liquidus-temperatur erhitzt, beginnt es zu fließen. Diesen physikalischen Vorgang nennt man „Benetzung“.

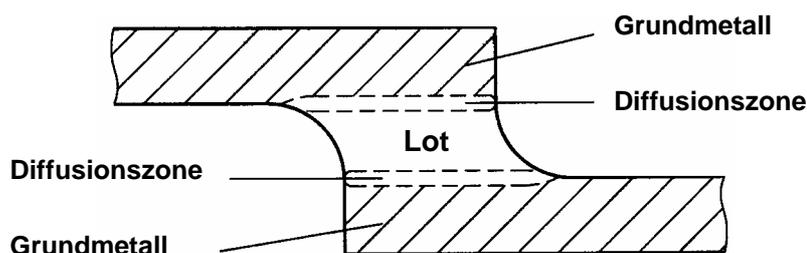
Gleichzeitig erfolgt eine „Atomwanderung“, eine sogenannte „Diffusion“. Dabei diffundiert Kupfer ins Lot und Zinn in die Kupferoberfläche. Das Blei ist an der Diffusion nicht beteiligt. Zwischen den beiden Werkstücken entsteht eine Grenzschicht, die gelegentlich auch als Mischkristallschicht bezeichnet wird.

Handlöttechnik in der Elektronik

Eine Lötstelle hat also folgenden grundsätzlichen Aufbau:

Grundmetall – Diffusionszone (Mischkristallschicht)
 – Lot –
 Diffusionszone (Mischkristallschicht) – Grundmetall

Bild 2: Aufbau einer Lötstelle



In den Diffusionszonen bilden sich intermetallische Verbindungen aus Kupfer und Zinn, deren Vorhandensein erst eine Lötstelle als gelungen ausweist.

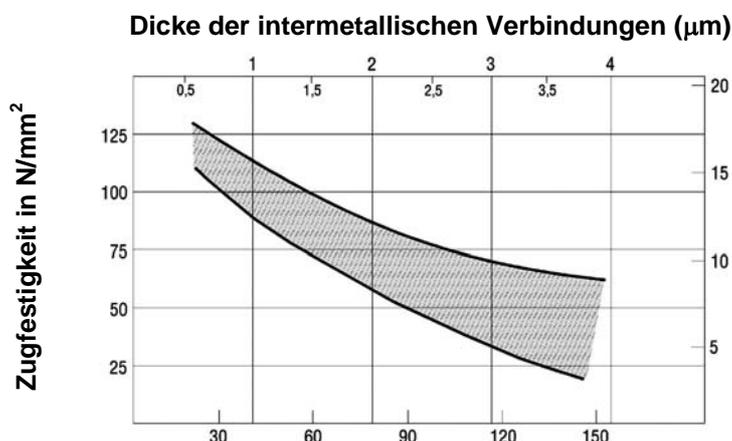
Ihre chemischen Formeln lauten: - Cu_3Sn und Cu_6Sn_5 ,
 - bei Lötstellentemperaturen über 350°C
 auch noch Cu_4Sn .

Die Ausbildung der Diffusionszonen ist das einzig absolut sichere Qualitätsmerkmal einer einwandfreien Lötverbindung. Leider kann man sie nur durch eine zerstörende Prüfung (Schliffbild) sichtbar machen.

Zu beachten ist, daß dicke Diffusionszonen die Lötverbindung verspröden, d.h. mechanisch schwächen. Je höher die Lötstellentemperatur liegt und je länger die Lötzeit dauert, umso dicker wird die Diffusionszone. Daraus ergibt sich, daß Lötverbindungen bei möglichst niedriger Temperatur in möglichst kurzer Zeit hergestellt werden müssen.

Bei einer Lötzeit von 1 bis 2 Sekunden und einer Lötstellentemperatur von 280°C (Handlöten) bildet sich eine Diffusionszone von etwa $1\ \mu\text{m}$ (siehe Grafik).

Anzumerken ist, daß auch bei normalen Umgebungstemperaturen die Dicke der Diffusionszonen noch zunimmt (ca. $1\ \mu\text{m}/\text{p.a.}$, jedoch mit abnehmender Geschwindigkeit).



Lötbarkeit

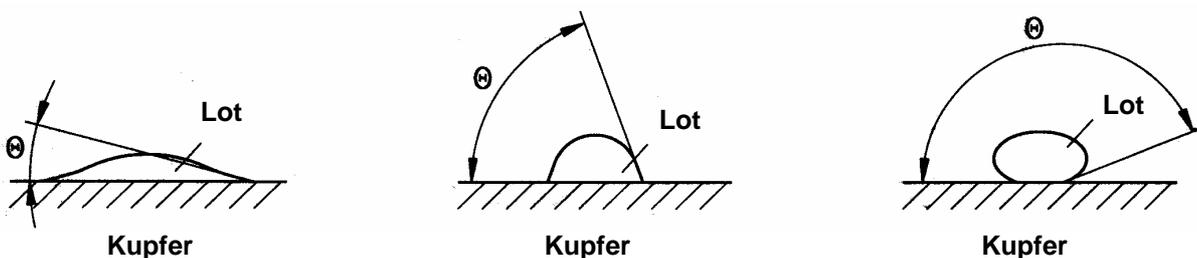
Die Lötbarkeit eines Werkstoffes ist die Eigenschaft seiner Oberfläche, die es erlaubt, daß sie vom flüssigen Lot benetzt wird.

Ziel des Weichlötvorganges ist es, die Benetzung und Ausbreitung des Lotes auf alle zu verlötenden Oberflächen in möglichst kurzer Zeit bei möglichst niedriger Temperatur zu erreichen.

Sofern bei der Benetzung zugleich eine Legierung (feste Löslichkeit) oder die Bildung einer intermetallischen Verbindung (chemisch-metallurgische Bindung) entsteht, handelt es sich um Werkstoffe, die mit dem verwendeten Lot lötbar sind.

Erwünscht ist ein möglichst kleiner Winkel (Theta), also der Kontaktwinkel zwischen Lot und Grundmetall.

Bild 3: Benetzungswinkel



$\Theta < 10^\circ$ bis 20°
sehr gute Benetzung

$\Theta > 20^\circ$ bis 80°
zweifelhafte Benetzung

$\Theta > 80^\circ$ bis 180°
keine Benetzung

Ein tolerierbarer Benetzungswinkel liegt immer innerhalb der Lötstelle.

Mit geeigneten Loten und Flußmitteln ist nahezu jedes Metall sowie eine Reihe von Nichtmetallen, z.B. Glas und Keramik lötbar.

In der Elektronik können wir uns jedoch auf Kupfer, Messing, Nickel, Gold und Silber beschränken. Die prinzipielle Lötbarkeit mit Zinn-Blei-Loten ist hier immer gegeben (s. Tabelle 2).

Kupfer läßt sich unter den zahlreichen Metallen mit Sn-Pb-Loten mit am leichtesten verlöten. Diese besondere Eigenschaft dieses Werkstoffes beruht auf der hohen Löslichkeit des Kupfers im Lot.

Handlöttechnik in der Elektronik

Tabelle 2

Lötbarkeit von Metallen und Legierungen mit Sn-Pb-Lot

	Kolophonium nicht aktiviert	aktiviert nicht korrosiv	Organ. Säuren mittel korrosiv	Anorg. Säuren hoch korrosiv	Bemerkungen
Aluminium	0	0	0	0	Speziallot, -flußmittel
Aluminiumbronze	0	0	0	0	Speziallot, -flußmittel
Beryllium	0	0	0	0	nicht lötbar
Beryllium-Kupfer	0	0	1	2	Spezialflußmittel
Blei	0	2	2	2	
Bronze	0	1	2	2	
Chrom	0	0	0	1	
Eisen	0	0	0	2	
Gußeisen	0	0	0	0	Spezialflußmittel
Stahl	0	0	0	2	Spezialflußmittel
Edelstahl	0	0	0	2	Spezialflußmittel
Inconel	0	0	0	2	Spezialflußmittel
Germanium	0	0	1	2	
Gold	1	2	2	0	
Indium	1	2	2	0	Speziallot, -flußmittel
Kadmium	1	2	2	0	
Kobalt	0	0	0	0	nicht lötbar
Kovar	0	0	1	2	
Kupfer	1	2	2	0	
Kupfer-Legierungen	0	0	1	2	
Magnesium	0	0	0	0	Spezialflußmittel
Magnesiumbronze	0	0	0	0	Spezialflußmittel
Messing	1	2	2	2	
Monel	0	0	0	1	Spezialflußmittel
Nickel	0	1	2	2	
Nickelchrom	0	0	0	0	Spezialflußmittel
Palladium	1	2	2	2	
Platin	1	2	2	0	
Rhodium	0	0	1	2	
Silber	0	2	2	2	
Silizium	0	0	0	0	nicht lötbar
Titan	0	0	0	0	nicht lötbar
Wismut	0	2	2	2	
Zink	0	1	2	2	
Zinn	1	2	2	0	

0 = nicht anwendbar
 1 = bedingt anwendbar
 2 = anwendbar

Flussmittel

Wichtigste Voraussetzung zum Gelingen einer guten Lötstelle ist absolute Sauberkeit. Leiter und Bauelemente müssen frei von Schmutz, Öl und Oxidation sein. (Oxidation ist die chemische Verbindung der Metalle mit dem Sauerstoff der Luft.) Mit geeigneten Reinigungs- und Lösungsmitteln oder mit Alkohol (Äthylalkohol, Isopropylalkohol) können Schmutz bzw. Öl- und Fettschichten entfernt werden.

Obwohl die Metalloberflächen dann meist sauber oder gar glänzend erscheinen, sind Oxidationsfilme praktisch immer noch vorhanden.

Bei der Erklärung von Benetzung und Diffusion wurde eine chemisch reine Kupferoberfläche zugrundegelegt. Unter praktischen Bedingungen ist eine chemisch reine Kupferoberfläche jedoch schon in wenigen Minuten derart oxidiert, daß eine Benetzung durch das Lot nicht mehr möglich ist.

Nahezu jedes Metall (auch das Lot) überzieht sich mit einem Oberflächenbelag, der im Wesentlichen aus Oxiden und diversen Korrosionsprodukten besteht. Ausgenommen sind die Edelmetalle wie Gold und Platin, nicht jedoch Silber, das auf seiner Oberfläche Silbersulfid bildet.

Mit Hilfe von Flußmitteln lassen sich solche Beläge entfernen, so daß das Lot die nun chemisch reinen Oberflächen der Grundmetalle benetzt. Dabei wird das Flußmittel vollständig von dem sich ausbreitenden flüssigen Lot verdrängt.

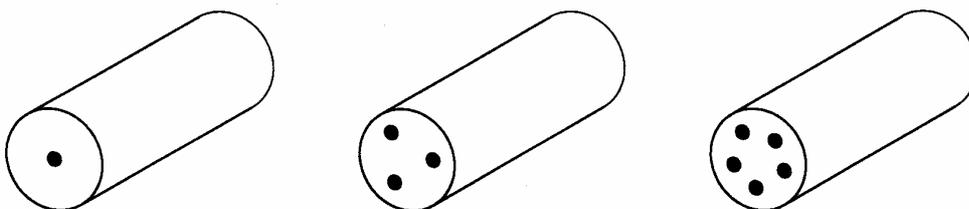
Durch die Entfernung der Oxidfilme auch von der Lotoberfläche setzt es dessen Oberflächenspannung herab und erleichtert so das Fließen und Ausbreiten des Lotes.

Beim Erkalten und Erstarren des Lotes wird das Flußmittel auf der Oberfläche abgesondert, von wo es ggf. mit einem geeigneten Lösungsmittel entfernt werden kann.

Die in der Elektronik zugelassenen Flußmittel können jedoch meistens auf der Lötstelle verbleiben, da sie Nichteisenmetalle nicht angreifen.

Beim Handlöten wird in der Regel ein Lötendraht mit einer oder mehreren sog. Flussmittelseelen benutzt.

Bild 4: Lötendraht



Handlöttechnik in der Elektronik

Solche Lötdrähte, die in verschiedenen Durchmessern gefertigt werden, sind insbesondere im Bereich der Reparatur und Nacharbeit bestückter Leiterplatten ideal, da man mit ihnen auf einfachstem Wege Flußmittel beim Schmelzen des Lotes auf die Lötstelle bringt. Der Flussmittelanteil liegt meistens bei 2,2 Gew. %, für besondere Lötaufgaben auch darunter bzw. darüber.

Im Normblatt DIN 8511 sind die verschiedenen Flussmittelsorten zum Weichlöten zusammengefaßt.

In der Elektronik werden vorzugsweise Flußmittel in den folgenden Spezifikationen eingesetzt:

- a) **F-SW 26** auf Basis natürlicher Harze (Kolophonium) oder modifizierter natürlicher Harze mit Zusätzen organischer halogenhaltiger Aktivatoren (z.B. Glutaminsäurehydrochlorid)

- b) **F-SW 32** auf Basis natürlicher oder modifizierter natürlicher Harze (Kolophonium) mit organischen halogenfreien Aktivierungszusätzen (z.B. Stearin-, Salizyl-, Adipinsäure), jedoch ohne Amine, Diamine oder Harnstoff

Das verwendete Kolophonium ist ein Wasserdampfdestillat von Fichtenausscheidungen, gewonnen bei der Zellstoffherstellung. Es schmilzt zwischen 60 und 80°C und ist bereits bei 120°C völlig flüssig. Bei Raumtemperatur ist dieses Harz ein bernsteinfarbener, wasserunlöslicher, etwas spröder durchsichtiger Festkörper mit hohem Isolationswiderstand. Metallen und anderen Substanzen gegenüber zeigt es sich so völlig inaktiv.

Chemisch betrachtet ist das Harz eine Mischung milder organischer Säuren.

Gelöst in Alkohol, besonders im heißen geschmolzenen Zustand wirkt es als Säure. Es ist dann reaktionsfähig genug, dünne Kupferoxidschichten bei 200 bis 300°C innerhalb von 1 bis 2 Sekunden aufzulösen.

Die bei reinem Kolophonium noch vorhandene Reaktionsträgheit wird heutigen Anforderungen in der Technik oft nicht mehr gerecht. Aus diesem Grunde setzt man den Harzen Aktivatoren zu, welche die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen, ohne die Inaktivität und das Isolationsvermögen nach dem Erkalten zu beeinträchtigen.

Heutige Harzflussmittel halten Temperaturen bis zu 300°C ohne Schaden aus. Werden sie zu lange und zu hoch erhitzt, werden sie dunkel und zähflüssig und verlieren ihre lötfördernde Wirkung.

Lote

Im Normblatt DIN 1707 sind die allgemein verwendeten Weichlote aufgeführt.

Im Bereich der Elektronik finden meist Lote mit 60 % Zinn und 40 % Blei (Gewichtsprozente) Verwendung. Die Liquidustemperatur (Lot ist völlig flüssig) ist 190°C, die Solidustemperatur (Erstarrungstemperatur beim Abkühlen) ist 183°C.

Vielfach verwendet wird auch noch das eutektische Lot mit 63 % Zinn und 37 % Blei (Liquidustemperatur = Solidustemperatur = 183°C).

Aus Qualitätssicherungsgründen sollten nur Lote erster Schmelze, d.h. kein Recyclinglot verwendet werden.

Erhitzt man Sn-Pb-Lot über die Solidustemperatur, wird es zunächst teigig, bei weiterer Temperaturerhöhung und dem Erreichen der Liquidustemperatur ist es völlig flüssig.

Beim Abkühlen erfolgt bei der Liquidustemperatur der Übergang in die teigige Phase und beim Erreichen der Solidustemperatur erstarrt es völlig (s. Bild Zustandsdiagramm von Zinn-Blei-Legierungen).

Wie leicht zu erkennen ist, bildet das Lot Sn 63 Pb 37 eine Ausnahme.

Ein Karosseriefachmann oder Kunsthandwerker wird Lote mit 20 % Sn oder 30 % Sn vorziehen, weil hier die Plastizität länger anhält (s. Tabelle 3).

Beim Löten in der Elektronik liegen die Kriterien jedoch anders.

Zunächst wünscht man sich einen möglichst niedrigen Schmelzpunkt, um thermisch empfindliche Bauelemente so gering wie möglich zu belasten. Nach dem Lötvorgang soll die Erstarrung des Lotes schnell und übergangslos einsetzen, da Erschütterungen in dieser Phase zu Verbindungsfehlern führen können.

In diesem Zusammenhang sei auf den oft benutzten Begriff der „kalten Lötstelle“ eingegangen. Es ist der am meisten verwendete Ausdruck für eine fehlerhafte Lötstelle, verursacht durch:

- a) Bewegen der zu verlötenden Teile vor dem Erstarren des Lotes
- b) Löten einer verschmutzten Lötstelle
- c) Löten ohne Flußmittel
- d) zu wenig Wärme beim Lötvorgang

Bei den letzten drei Punkten bildet sich keine Diffusionszone.

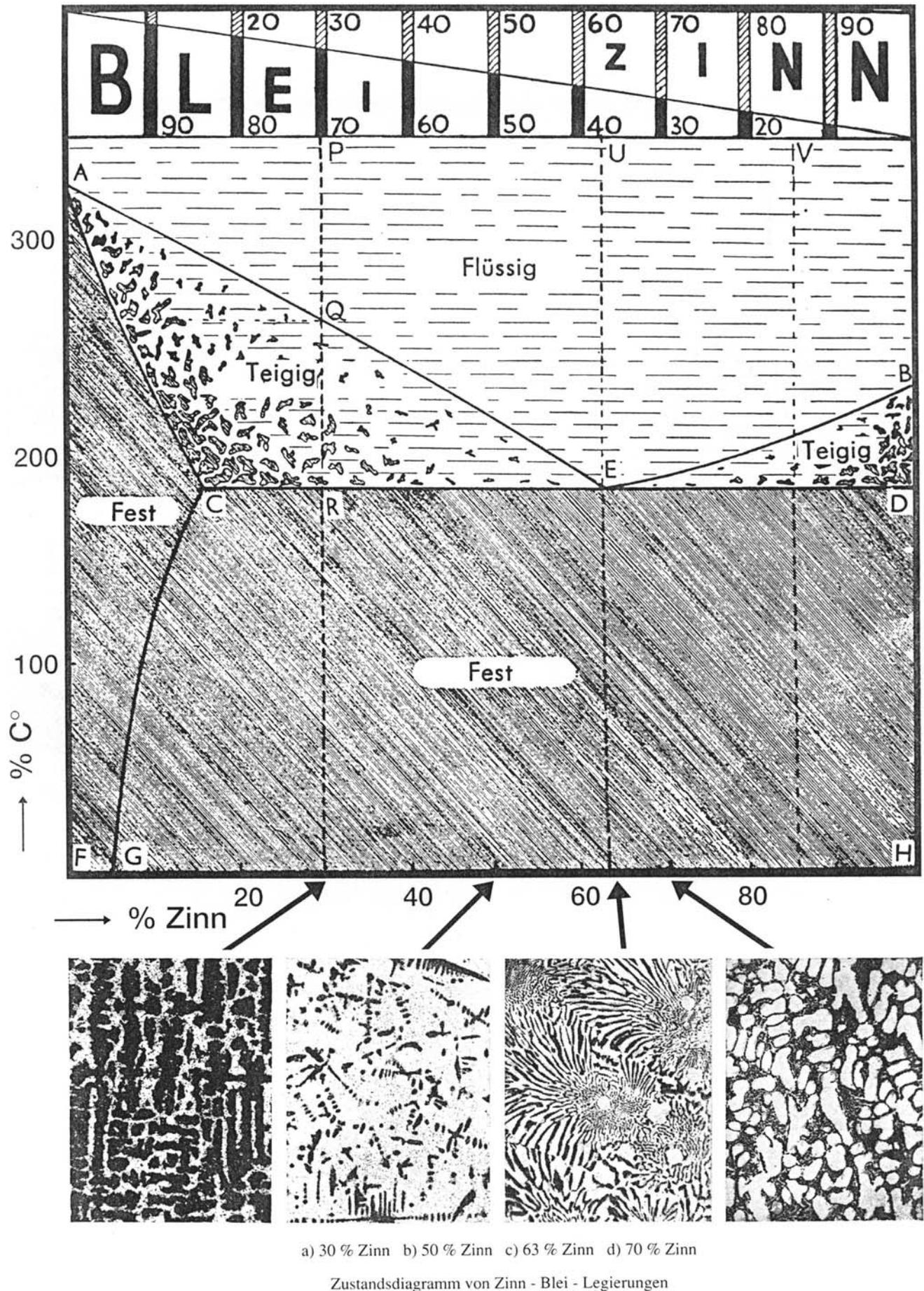


Tabelle 3: Lotlegierungen für die Elektro- und Elektronikindustrie

Schmelz- temperatur Sol. Liq.	Legierung	Sn	Pb	Cu	Ag	Cd	Anwendungen
145°C	L-SnPbCd 18	50	32			18	Schmelzsicherungen, Stufenlöten, Einbrennlöten für Keramik
179°C	L-Sn62PbAg2	62	36		2		Elektronikindustrie, Silberschutzlot
178°C - 180°C	L-Sn60PbAg	60	36		4		Elektro- und Elektronikindustrie
180°C - 195°C	L-SnCd20	80				20	Elektrotechnik, Schmelzsicherungen
183°C	L-Sn63Pb	63	37				eutektisches Lot, Elektro- und Elektronikindustrie
183°C - 189°C	L-Sn67PbCu2	67	31	2			Elektro- und Elektronikindustrie, Kupferschutzlot
183°C - 190°C	L-Sn60PbCu2	60	38	2			Elektro- und Elektronikindustrie, Kupferschutzlot
183°C - 190°C	L-Sn60Pb	60	40				Elektro- und Elektronikindustrie, Verzinnung
183°C - 215°C	L-Sn50Pb	50	50				Elektrotechnik
183°C - 215°C	L-Sn50PbCu	50	48,5	1,5			Elektrotechnik, Kupferschutzlot
183°C - 235°C	L-PbSn40	40	60				Elektro- und Glühlampenindustrie, Verpackung
183°C - 255°C	L-PbSn30	30	70				Glühlampen, Motoren, Elektroindustrie, Verpackungen
183°C - 276°C	L-PbSn20	20	80				Strukturelles Löten, Lampen, Kühler, Karosseriebau
221°C	L-Sn96,5Ag3,5	96,5				3,5	Kupferrohrinstallation, Kälteindustrie, bleifreies Silberschutzlot
227°C - 288°C	L-PbSn15	15	85				Schmierlöten, Lampen, Kühlerbau
230°C - 250°C	L-SnCu3	97		3			hochschmelzendes, bleifreies Kupferschutzlot, Installation
233°C	L-Sn99,9	99,9					Bleifreies Löten, Elektro- und Elektronikindustrie
280°C	L-PbSn5Ag3	5	92		3		Elektroindustrie, Motoren, Luftfahrtindustrie
280°C - 305°C	L-PbSn8	8	92				hochschmelzendes Lot, Kühlerbau, Thermostate
309°C	L-PbAg2Sn2	2	96,5		1,5		Stufenlöten, Motoren, Luftfahrtindustrie

Kupferschutzlote Bereits aus früheren Zeiten, als man nur blanke Kupferlötspitzen verwendete, ist Zinn-Blei-Lot mit bis zu 2 % Kupfer bekannt. Mit ihm konnte man das Ablegieren des Kupfers vermindern und die Standzeit der Lötspitzen erhöhen. Heute macht die Verwendung nur noch beim Löten auf sehr dünnen Kupferoberflächen, beim Verlöten sehr dünner Kupferdrähte < 0,2 mm u.ä. Sinn. Dadurch kann eine merkliche Querschnittsverminderung durch Ablegieren verhindert werden. Ansonsten ist die Verwendung von Kupfer im Zinn-Blei-Lot wenig sinnvoll.

Bei den heute verwendeten Dauerlötspitzen mit Eisenüberzug bildet das Kupfer mit dem Eisen bei Temperaturen über 375°C intermetallische Verbindungen, was die Benetzbarkeit erheblich beeinträchtigt.

Silberschutzlote Auch Silber hat in Zinn-Blei-Loten eine hohe Löslichkeit. Durch eine Zugabe von 2 - 4 % Silber kann man das Ablegieren dünner Silberschichten auf Keramiksubstraten und an SMD-Bauelementen verhindern. Höhere Silberanteile bewirken ein erhebliches Ansteigen der Liquidustemperatur.

Löttemperatur und Lötzeit

Bei den üblichen Sn60Pb40-Loten sollte die Lötstellentemperatur 300°C nicht überschreiten, da bei höheren Temperaturen das Zinn stark oxidiert und die Kolophoniumflussmittel verbrennen.

Als Faustregel gilt für das Handlöten:

Bei bedrahteten Bauelementen soll die Lötstellentemperatur 80 bis 100°C über der Erstarrungstemperatur (Solidustemperatur) des Lotes liegen, also etwa bei 260 bis 290°C. Man muß jedoch klar zwischen der Lötstellentemperatur und der Lötspitzentemperatur unterscheiden:

Um die Lötstellentemperatur in möglichst kurzer Zeit zu erreichen, benötigt man eine Lötspitzentemperatur von 320 bis 350°C.

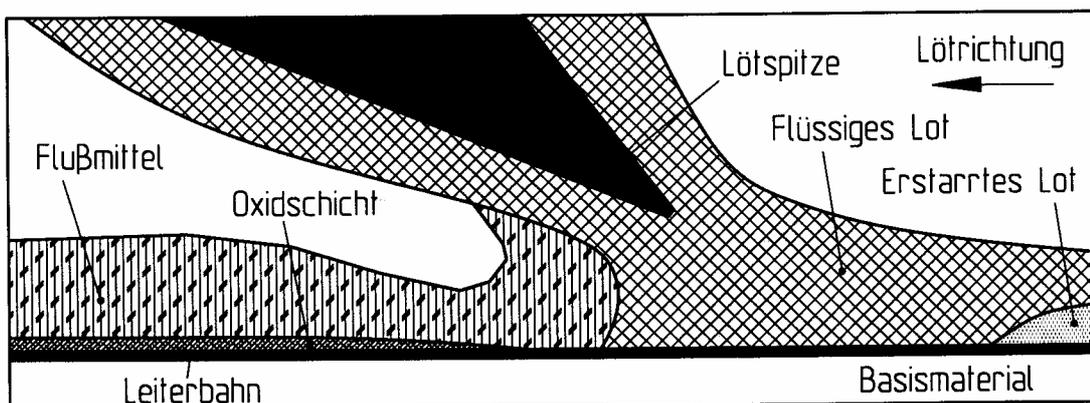
In der SMD-Technik wählt man wegen der geringeren Massen eher etwas niedrigere Temperaturen.

Bei Bauelementen mit guter Lötbarkeit sollte die Lötzeit bei 1 bis 2 Sekunden liegen. Gemeint ist die Zeit, in der sich Lot auf der Lötstelle im flüssigen Zustand befindet.

Die Gesamtzeit zum Herstellen einer Lötstelle setzt sich zusammen aus der Aufheizzeit bis die Schmelztemperatur des Lotes erreicht ist, der bereits erläuterten Lötzeit und der Abkühlzeit.

Während der Aufheizzeit schmilzt das Flußmittel und beseitigt Oxidationen von den Metalloberflächen. Das Lot schmilzt, benetzt die Metalloberflächen und bildet mit den Metallen Diffusionszonen.

Bild 6: Flussmittelreaktion



Die Zeit zur Herstellung einer Lötverbindung hängt hauptsächlich von der Leistung des Lötkolbens, dem Wärmewiderstand der Lötspitze und den Wärmeübergangswiderständen ab. Auch die Masse der Lötstelle spielt eine wichtige Rolle.

Um kurze Lötzeiten zu erreichen, sollten die Lötspitzen einen möglichst geringen Wärmewiderstand aufweisen. Praktisch bedeutet das, daß man kurze, dicke Lötspitzen, langen, dünnen vorziehen sollte.

LötKolben und Lötspitzen

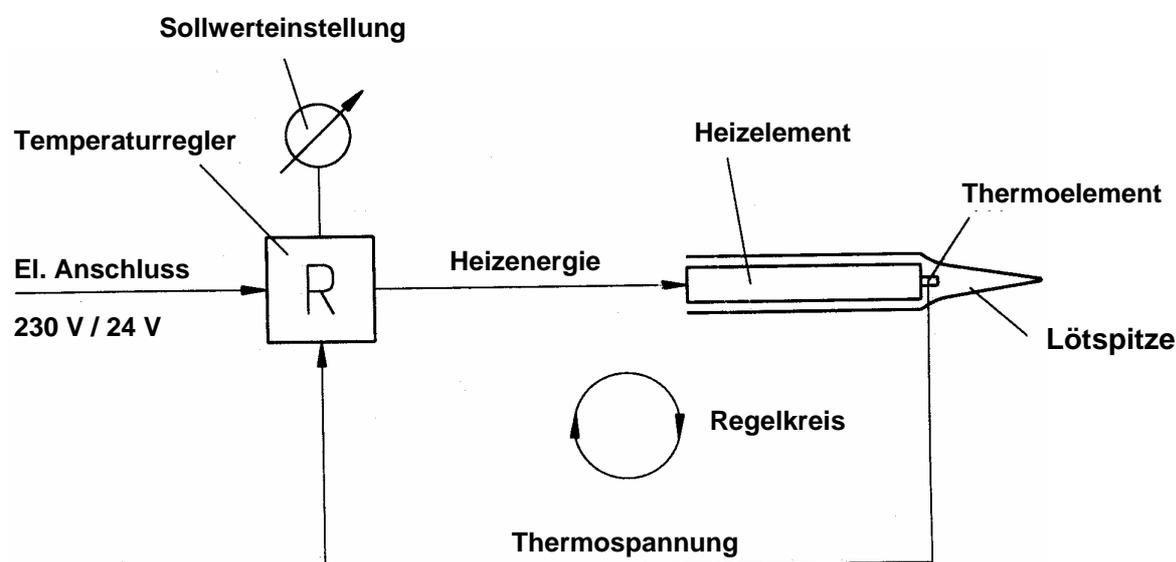
Bei der Auswahl eines geeigneten LötKolbens ist zunächst zu entscheiden, ob man ein geregeltes oder ungeregeltes Gerät benötigt.

Standard in allen Bereichen der Elektronik sind heute temperaturgeregelte KleinspannungslötKolben, da bei Verwendung von LötKolben, welche mit Netzspannung arbeiten, die Beschädigung der gegen Überspannung empfindlichen Bauelemente fast zur Gewißheit wird. Diese KleinspannungslötKolben sind über einen Transformator an das Netz angeschlossen.

Stand der Technik bei den heutigen Lötstationen ist die vollelektronische Regelung, d.h. ohne mechanischen Schaltkontakt, wobei das Ein- und Ausschalten mittels Nullspannungsschalter und Triac im Nulldurchgang der Wechselstrom-Sinuskurve erfolgt.

Bei diesen Geräten kann die Spitzentemperatur stufenlos eingestellt werden, wobei ein Thermoelement in Wärmekontakt mit der LötKolbenspitze die augenblickliche Temperatur erfaßt und die elektronische Regelung den notwendigen Wärmenachschub fein dosiert.

Bild 7: Skizze Temperaturregelung



Sinnvollerweise wird man das Gerät auswählen, das die größte Heizleistung und den besten Wirkungsgrad besitzt.

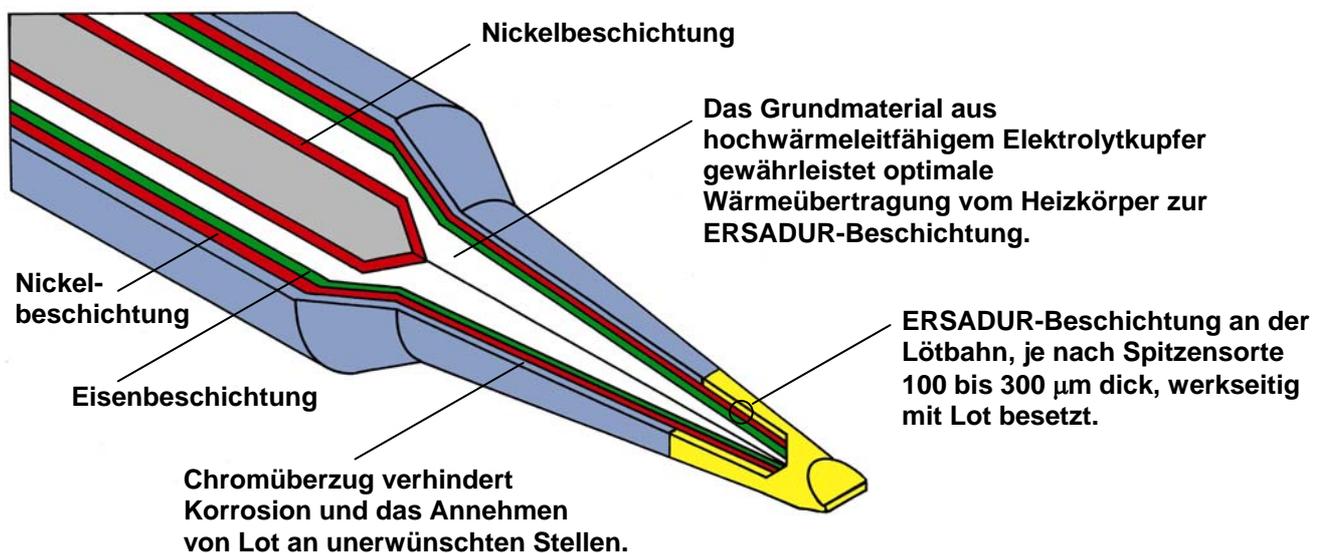
Damit ist man für alle Lötarbeiten gerüstet. Wegen des vorhandenen Energieüberschusses erfolgt kein unzulässiger Temperaturabfall bei schneller Arbeitsweise und die exakte Temperaturregelung verhindert ein Überhitzen der Lötstellen.

Selbstverständlich wird man auch die Handlichkeit, das Gewicht, die Ablagemöglichkeit usw. bei der Wahl des Lötgerätes berücksichtigen.

Moderne Lötgeräte sind heute fast ausschließlich mit Dauerlötspitzen ausgestattet. Diese Dauerlötspitzen bestehen im wesentlichen aus einem gut wärmeleitenden Kupferkern und einem mit Lot benetzten Eisenüberzug an der Lötbahn. Am Schaft sind diese Spitzen zusätzlich mit einer Chromschicht als Korrosionsschutz überzogen.

Mit diesen Spitzen verbindet man die gute Wärmeleitfähigkeit des Kupfers mit der hohen Standzeit des Eisens beim Löten. Die Wärmeleitfähigkeit des Kupfers ist 372,1 W/Km, die des Eisens 47 ... 58 W/Km.

Bild 8: Schematischer Aufbau einer Dauerlötspitze



Zur Spitzenreinigung ist nur das Abstreifen an einem mit destilliertem Wasser angefeuchteten Spezialschwamm erforderlich. Festgebrannte Flussmittelrückstände kann man ggf. mit einem Messingbürstchen beseitigen.

Dauerlötspitzen dürfen im Gegensatz zu reinen Kupferspitzen nicht befeilt werden. Die Eisenschicht würde beschädigt werden und die Dauerhaftigkeit ginge verloren. Dauerlötspitzen sollen immer mit Lot benetzt sein, da sie ansonsten leicht passiv werden und das Lot nicht mehr gut annehmen.

Für die Größe der zu verwendenden Lötspitzen kann keine allgemein gültige Norm aufgestellt werden. Grundsätzlich gilt jedoch, daß die Größe der Lötspitze der Lötstelle anzupassen ist, also entsprechend der Wärmekapazität und Wärmeableitung der Lötstelle ausgewählt werden muß.

D.h. große Lötstelle erfordern große (breite) Lötspitzen. Sinnvollerweise bevorzugt man die kürzestmöglichen Spitzen. Lange Spitzen besitzen einen höheren Wärmewiderstand, was den schnellen Wärmefluß zur Lötstelle behindert.

Praxis des Handlötens

Vor dem Lötens wird die Lötspitze am feuchten Schwamm abgewischt, um unerwünschte Rückstände und ggf. verbranntes Flußmittel zu entfernen.

Anschließend führt man die Lötspitze an die Stelle der Lötverbindung mit der größten Masse. Dann bringt man den Lötendraht (mit Flussmittelseele) in Kontakt mit der Lötspitze und der Lötstelle (s. *Bild 9*).

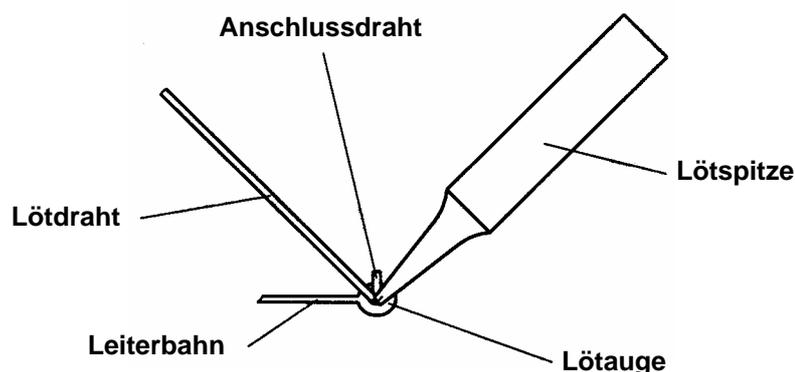
Das schmelzende Flussmittel und anschließend das schmelzende Lot sorgen für eine Wärmebrücke von der Lötspitze zur Lötstelle und somit zur erwünschten schnellen Erwärmung.

Im Zuge der Durchwärmung der Lötstelle führt man solange weiteren Lötendraht zu, bis die gesamte Lötstelle benetzt ist.

Anschließend ist die Lötspitze sofort zu entfernen, um das geschmolzene Lot nicht zu überhitzen.

Bis zur Erstarrung des Lotes sollten Erschütterungen der Lötstelle vermieden werden.

Bild 9: Lötvorgang



Bei richtig dimensionierter Lötspitze und ausreichender Spitzentemperatur sollte der Lötvorgang innerhalb von 2 bis 5 Sekunden ausgeführt sein.

Längere Zeiten deuten auf eine zu kleine oder zu kalte Lötspitze hin.

Sobald die letzte Lötstelle gelötet ist, wird der Lötspitzenablage sicher abgelegt. Keinesfalls soll die Spitze vorher gereinigt werden, da das Restlot die Oxidbildung an der darunterliegenden Lötbahn verhindert.

Im Bereich der SMD-Technik verwendet man heute vorzugsweise Spitzen mit einem kleinen Lotdepot (Mikroschwallspitze).

Neben höchster Lötstellenqualität lassen sich hiermit enorme Kostenreduzierung insbesondere in der Fine-Pitch-Technik erreichen.

Qualitätssicherung

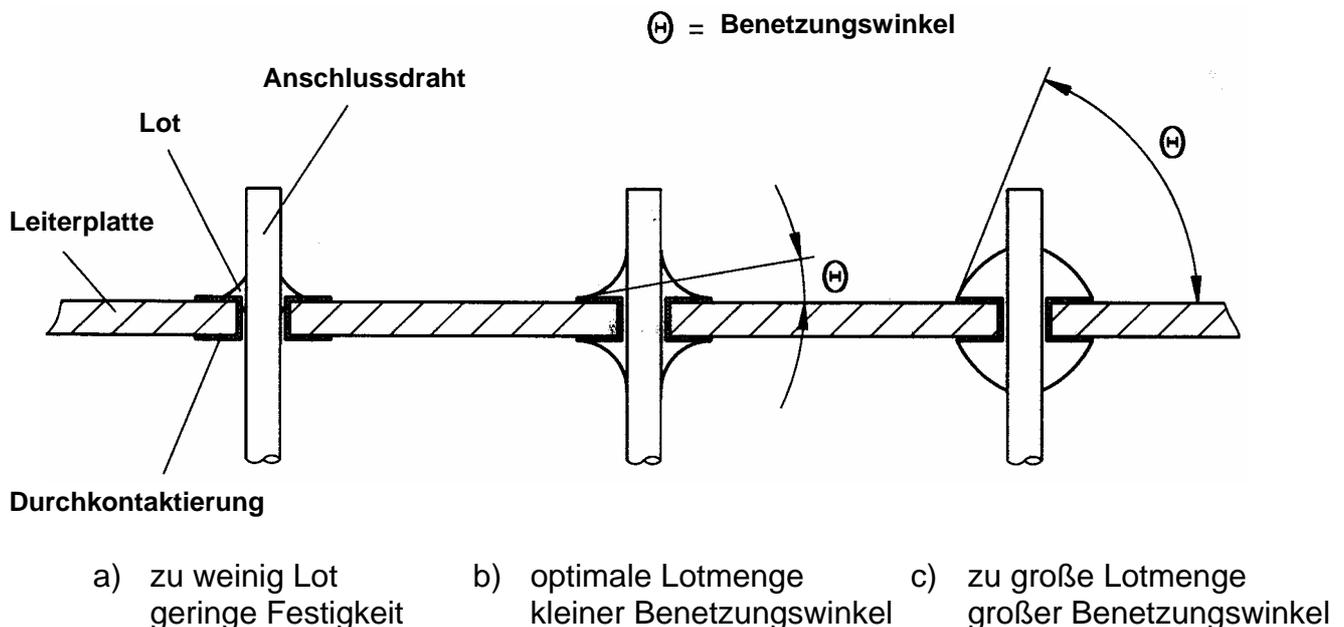
Eine gute Lötstelle erkennt man bei umgebogenen Anschlußdrähten auf der Leiterplatte daran, daß die Konturen des verlöteten Leiters noch sichtbar sind (Konturenlöten). Voraussetzung ist allerdings, daß nicht zuviel Lot zugeführt wurde.

Ein weiteres Qualitätsmerkmal ist der Benetzungswinkel. Dabei geht man von der Tatsache aus, daß eine gute Benetzung der Lötäugen, sichtbar durch einen kleinen Benetzungswinkel, die Bildung der Diffusionszonen beinhaltet.

Schwierig wird das Erreichen kleiner Benetzungswinkel beim Handlöten bei sehr kleinen Lötäugen, da man die Lotmenge im Gegensatz zum maschinellen Löten nicht so gut dosieren kann.

Benetzungswinkel bis 25° deuten auf eine gelungene Lötstelle hin, Benetzungswinkel bis 50° sind beim Handlöten in der Regel noch tolerierbar.

Bild 10: Lotmenge und Benetzungswinkel



Als weiteres Qualitätsmerkmal gilt das Aussehen der Lotoberfläche. Diese sollte möglichst glatt, ohne poröse Stellen und glänzend sein.

Körnige Oberflächen deuten auf eine Überhitzung oder eine zu lange Lötzeit hin.

Entlöten

Bei der Reparatur einer fehlerhaften Lötstelle ist das nochmalige Erhitzen des vorhandenen Lotes nicht empfehlenswert.

Richtig ist es, vorher das Altlot mit einem geeigneten Entlötwerkzeug oder unter Zuhilfenahme von Entlötlitze zu entfernen und anschließend die Lötstelle neu zu verlöten.

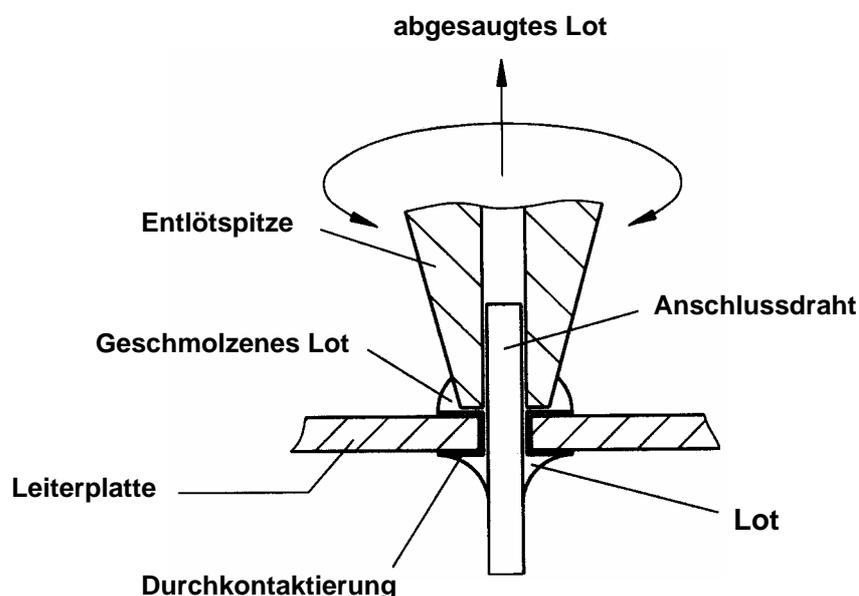
Gleiches gilt beim Austausch defekter Bauelemente. Unbeheizte Entlötpumpen und Entlötlitzen erreichen jedoch bei durchkontaktierten Leiterplatten schnell die Grenze ihrer Verwendungsmöglichkeit.

Aus diesem Grunde sind heute beheizte, temperaturgeregelte Entlötgeräte weit verbreitet. Bei diesen Geräten wird die hohle Entlötspitze über den Bauelementanschluss im rechten Winkel auf das Lötauge geführt, bis das Lot völlig geschmolzen ist. Anschließend ist kurzzeitig die Saugtaste zu betätigen, um das verflüssigte Lot abzusaugen.

Leicht kreisende Bewegung der Entlötspitze um den Anschlußdraht haben einen günstigen Einfluß auf das Entlötergebnis.

Auch Entlötspitzen sind vor dem Entlötvorgang am feuchten Schwamm zu reinigen.

Bild 11: Entlötvorgang



Wie bei den Lötspitzen ist auch hier die Wahl der geeignetsten Entlötspitzen zu treffen.

Verchromte Kupfer-Entlötspitzen mit Stahleinsatz garantieren eine hohe Standzeit und sind insbesondere für kleine und mittlere Lötstellen geeignet.

Vernickelte Kupfer-Entlötspitzen ohne Stahleinsatz eignen sich bestens für Lötstellen mit hoher Wärmekapazität sowie für Multilayer-Leiterplatten.

Der lichte Durchmesser der Entlötspitze sollte dem Durchmesser der Leiterplattenbohrung entsprechen oder geringfügig größer sein.

Für die Wahl des geeigneten Entlötgerätes gelten die gleichen Kriterien wie für die Wahl der Lötstation. Eine hohe Heizleistung erlaubt die Verwendung einer leistungsfähigen Vakuumpumpe und damit einen großen Einsatzbereich.

Modulare Systeme und Kombinationssysteme bieten darüber hinaus noch weitere Verwendungsmöglichkeiten im SMD-Bereich.

Hier ist vor allem an den Einsatz von HeißluftlötKolben und SMD-Entlötpinzetten gedacht.

Lötarbeitsplatz

Sauberkeit und Einrichtung

Räume, in denen gelötet wird, sollen in einem sauberen, ordentlichen Zustand gehalten werden. Schmutz, Staub, Öl usw. sind von den Arbeitsplätzen fernzuhalten.

Die Arbeitsflächen sollten mit einer leicht zu reinigenden, temperaturfesten Unterlage ausgestattet sein, damit Lot und Lotspritzer keine Schäden verursachen. Auch der Fußboden sollte leicht und gründlich zu reinigen sein.

Essen, Trinken und Rauchen sind an einem Lötarbeitsplatz strikt untersagt.



Lötdämpfe

Aus gesundheitlichen Gründen empfiehlt es sich, die durch thermische Zersetzung der Flußmittel entstehenden Dämpfe abzusaugen.

Beleuchtung

Für eine ausreichende Beleuchtungsstärke 1000 bis 1500 Lux ist Sorge zu tragen.

EGB (ESD)-Schutz

Mit dieser Abkürzung ist der Ausdruck „Elektrostatisch gefährdete Bauelemente und Baugruppen“ gemeint.

In zunehmendem Maße werden heute in der Elektronik Bauelemente und integrierte Schaltkreise mit Feldeffekttransistoren verwendet. Diese und mit ihnen verwandte Systeme erfreuen sich wegen technischer Vorteile zunehmender Beliebtheit.

Gemeinsam ist diesen MOS-Bauelementen ihr hoher Eingangswiderstand. Dadurch nehmen sie zur Ansteuerung praktisch keine Leistung auf.

Allerdings haben diese Bauelemente in der Fertigung und in der Reparaturpraxis nicht nur Vorteile, denn durch den hohen Eingangswiderstand werden Spannungsquellen kaum bedämpft.

Bei elektrischen Spannungen über etwa 100 V, die sich aufgrund statischer Aufladungen oder wegen Einstreuungen aus dem elektrischen Versorgungsnetz ergeben können, tritt eine Schädigung oder gar ein Durchschlag der sog. Sperrschicht ein, der zu einem Totalausfall des Bauelementes führt.

Um beim Löten und Entlöten Ausfälle an solchen und ähnlichen Bauelementen zu vermeiden, sind die jeweiligen EGB-Vorschriften strikt einzuhalten und geeignete Löt- und Entlötgeräte zu verwenden.

Diese sind hochohmig in den Potentialausgleich des Arbeits- bzw. Reparaturplatzes einzubeziehen, um statische Aufladungen von Löt- und Entlötspitzen abzuleiten oder deren Entstehung zu verhindern.

Bild 12: EGB-Aufkleber



Schlusswort

Die uralte Technik des Weichlötens hat von ihrer Bedeutung nichts eingebüßt.

Als erste und älteste Spezialfabrik elektrisch beheizter Lötgeräte bietet Ihnen ERSÄ eine Palette von Löt- und Entlötgeräten, die nahezu allen Erfordernissen aus Industrie, Handwerk und Hobby Rechnung tragen.

