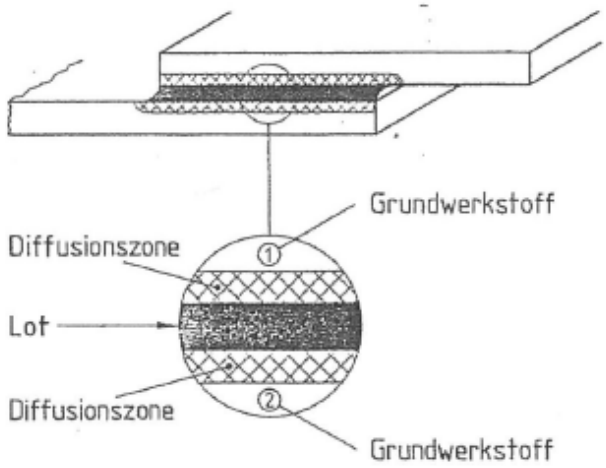
Lötkurs

Was ist Löten ?

Löten ist ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Werkstoffen mit Hilfe eines Lotes. Der Schmelzpunkt des Lotes liegt tiefer als die Schmelzpunkte der Grundwerkstoffe.

Durch Diffusion an den Grenzflächen entsteht eine Oberflächenlegierung, die Grundwerkstoffe werden in der Tiefe aber nicht aufgeschmolzen da die Liquidustemperatur der Grundwerkstoffe wird nicht erreicht.



Es wird unterschieden zwischen:

Hartlöten: Arbeitstemperatur über 450°C

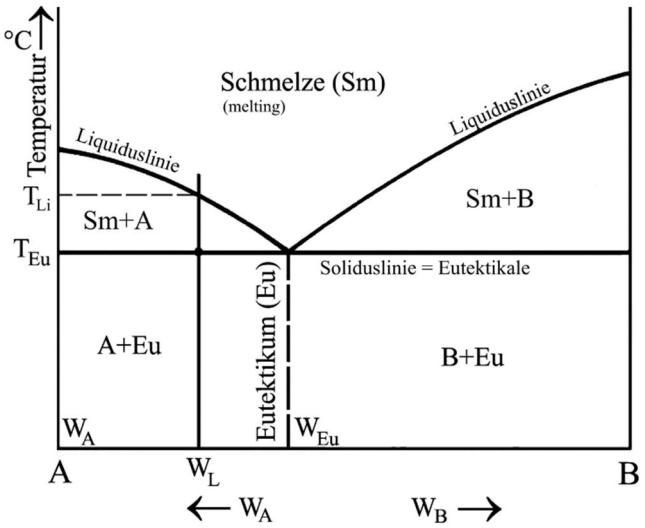
Weichlöten: Arbeitstemperatur unter 450°C

Wir befassen uns in diesem Lötkurs nur mit dem Weichlöten.

Hartlötverbindungen finden sich zum Beispiel in der Sanitärinstallation, als Wärmequelle reicht dabei meist ein Gasbrenner.

Weichlote

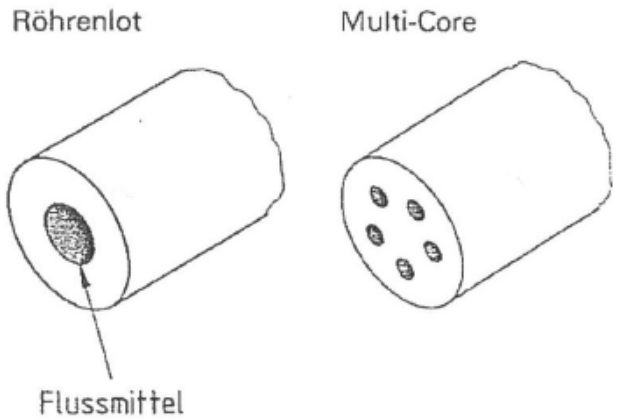
Zum Erzeugen der Verbindung werden Lote verwendet, diese sind meist eutektische Legierungen um den Schmelzpunkt möglichst tief zu halten.



Früher wurden hauptsächlich Zinn-Blei Legierungen verwendet. Der Schmelzpunkt liegt bei einem Verhältnis Sn 63% Pb 37% bei einer Temperatur von 183°C.

Seit der Anwendung der RoHS Richtlinien darf kein Blei mehr verwendet werden und es kommen bleifreie Lote zur Anwendung. Diese sind meist Legierungen mit Kupfer, Nickel und Silber.
Die Schmelzpunkte von bleifreien Loten liegt wesentlich höher, je nach Legierung bei etwa 220°C.
Als Nachteil entsteht ein grösserer Stress (Alterung) für die Bauteile während der Erwärmung, die Lötstellen weisen nicht den gleichen Glanz auf wie bei Verwendung von verbleitem Lot auf.

Damit der Diffusionsprozess stattfinden kann, müssen alle Oberflächen blank und frei von Oxiden und Verschmutzungen sein. Daher verwendet man Flussmittel, welche aufgetragen werden oder im Lot enthalten sind. Die Art der Flussmittel ist vom Anwendungsgebiet abhängig. Viele Flussmittel müssen nach der Lötung beseitigt werden, da sie sonst korrosiv wirken.



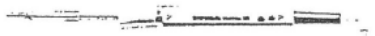
Lötgeräte (Weichlöten)

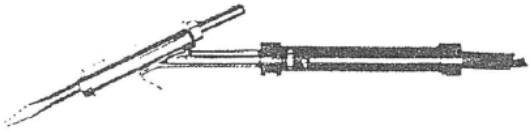
Wärme wird mittels eines Lötkolbens, der Flamme eines Lötbrenners, Heißluft, heißem Dampf, Wärmestrahlung, Laser oder Induktion eingebracht, in manchen Fällen auch durch Ultraschall, Elektronenstrahl oder einen Lichtbogen (Lichtbogenhartlöten).

Beim manuellen Weichlöten werden meist Lötkolben verwendet:

Nicht temperaturgeregelte Lötkolben

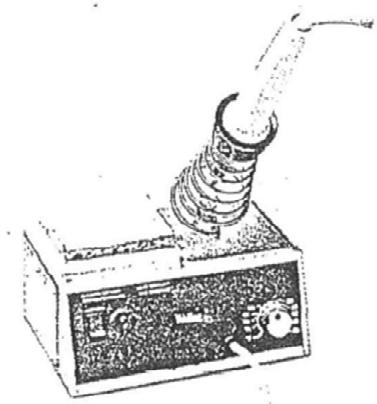
bis 25 W	Miniaturtechnik, kleinste Lötstellen, dünne Drähte, Leiterplatten
35 W	Feine Lötarbeit, dünne Drähte (Ø 0,2 ... 0,5 mm), Leiterplatten
60 W	Drähte bis Ø 1 mm bei schneller Lötfolge
100 W	Drähte bis 1,5 mm² Querschnitt, bei schneller Lötfolge; dicke Lötanschlüsse
120 ... 140 W	Drähte bis 2,5 mm² Querschnitt, bei schneller Lötfolge; massive Lötanschlüsse; Lötarbeiten an Blech bis 1,5 mm Dicke
200 ... 300 W	Drähte über 2,5 mm² Querschnitt; massive Lötanschlüsse; Lötarbeiten an Blech





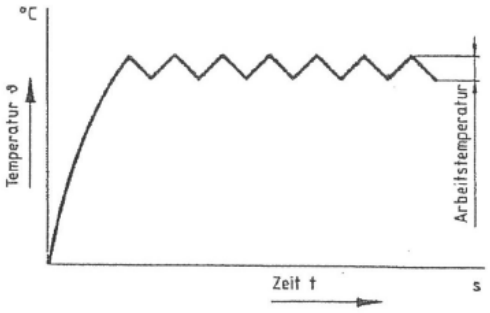
Elektronisch temperaturgeregelte Lötkolben (Lötstationen)

Bei Lötstationen ist der Lötkolben mit einer Temperaturregelung versehen, die eine vorgegebene Temperatur an der Lötkolbenspitze konstant hält. Dadurch wird die Überhitzung der einzulötenden elektronischen Komponenten vermieden.

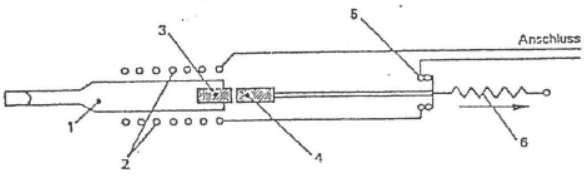


Temperaturgeregelte Lötkolben

Häufig wird ein Magnetschalter zur Temperaturregelung verwendet. Bei einer bestimmten Temperatur (Curie-Punkt) verliert der eingebaute Magnet seine Permeabilität, der Schalter unterbricht den Stromkreis. Unterhalb dieses Punktes erhält der Magnet seine magnetische Kraft zurück. Der Stromkreis wird wieder geschlossen. Der Temperaturbereich wird durch die Lötspitze festgelegt.



1 Lötspitze
2 Heizkörper
3 Temperaturfühler
4 Permanentmagnet
5 Schalter
6 Zugfeder



Schematischer Aufbau eines temperaturgeregelten Lötkolbens

In der Elektrotechnik wird heute im großtechnischen Stil vor allem das Schwallbad-Löten, das Reflow-Löten und das Löten mit Heißluft eingesetzt.

Lötvorgang

- Die zu lötenden Teile erwärmen
- Das Flussmittel schmilzt und reinigt die zu verbindenden Teile
- Das Lot schmilzt und verteilt sich
- Das Flussmittel wird an die Oberfläche verdrängt
- Das Lot verbindet sich mit den zu lötenden Teilen (Bildung der Diffusionszone)
- Das Lot erstarrt
- Das Flussmittel erstarrt

Ein Stücklein Zinn wird mit der Lötkolbenspitze abgestochen und zum Fliessen gebracht. Nie mehr Zinn abstechen als für die Lötstelle nötig ist, es dient nur zur besseren Wärmeübertragung.

Sobald das Zinn der Lötstelle fliesst, ist an die entsprechende Stelle Neues nachzugeben bis alles überdeckt ist. Möglichst wenig Zinn, dass die Drahtkontour noch deutlich sichtbar bleibt.

Nun ist der Lötkolben so wegzuziehen, dass sich das Lötzinn nicht ungünstig verschiebt. Beim Wegziehen des Kolbens dürfen sich die zu lötenden Drähte nicht bewegen, bis das Zinn erstarrt ist.

Der Lötvorgang darf nicht zu lange dauern, weil die Lötstellen sonst verbrennen. (Flussmittel)
Eine verbrannte Lötstelle gibt mit der Zeit Störungen die sehr schwer zu finden sind, sie hat eine rauhe, körnige Oberfläche.

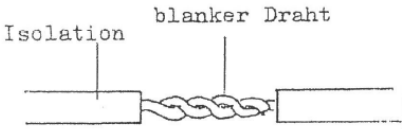
2 Sekunden genügen erfahrungsgemäss um eine Lötstelle herzustellen.

Auch kalte Lötstellen sind gefährlich, weil bei ihnen der elektrische und mechanische Kontakt nicht gewährleistet ist (keine Diffusionszone). Meist ist das Zinn bei ihnen nur teilweise oder überhaupt nicht geflossen und liegt wie ein Tropfen auf der Lötstelle.

Spleissen

Gut:

Die beiden zu spleissenden Enden werden nach dem Abisolieren 3-5 mal gegeneinander verdrillt und sauber verlötet. Durch das Verdrillen wird die Lötstelle mechanisch entlastet.



Noch annehmbar:

Die beiden zu spleissenden Enden werden nach dem Abisolieren zu Haken gebogen, ineinander verhängt und sauber verlötet. Durch die beiden Haken wird die Lötstelle mechanisch entlastet. (nicht zu empfehlen)

Noch annehmbar:

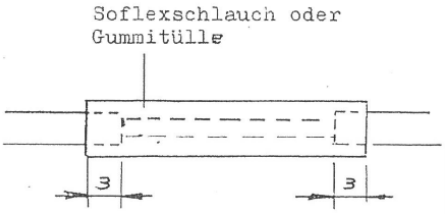
Die beiden zu spleissenden Enden werden nach dem Abisolieren in einen in der Grösse passenden Lötwendel geschoben und sauber verlötet. Die Drähte werden durch den Lötwendel etwas fixiert. (nicht zu empfehlen)

Zurückzuweisen:

Die beiden zu spleissenden Enden werden nach dem Abisolieren parallel zueinander verlötet. Die Drahtenden sind nicht fixiert und die Lötstelle ist mechanisch nicht entlastet. Ein Verwakkeln der Lötstelle vor dem Erstarren des Zinns ist praktisch unvermeidbar. Die Gefahr eines Unterbruches ist sehr gross.

Isolieren:

Die Spleisstelle muss mit einem in Farbe und Grösse passenden Soflexschlauch oder mit einer Gummitülle Geschützt werden, die die Drahtisolationen beidseitig mindestens 3mm überragt.



Beachte:

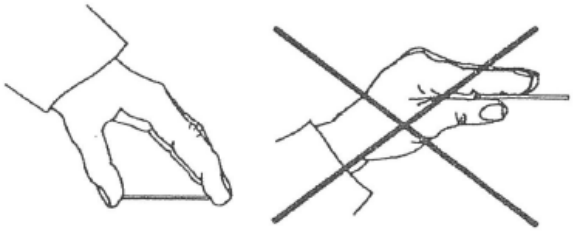
- Die Spleisstellen dürfen nicht mit zuviel Zinn gelötet werden. Die Drahtkonturen und Enden müssen gut sichtbar bleiben.
- Es ist darauf zu achten, dass an der Spleissstelle keine Drahtspitzen vorstehen, damit der Soflexschlauch oder die Gummitülle und benachbarte Drahtisolationen nicht verletzt werden können. (Kurzschlussgefahr)
- Die Spleisstelle darf nicht im Kabelbaum verborgen werden, damit die Lötstelle jederzeit kontrollierbar ist.

Bestücken von Leiterplatten

Behandeln der Leiterplatten

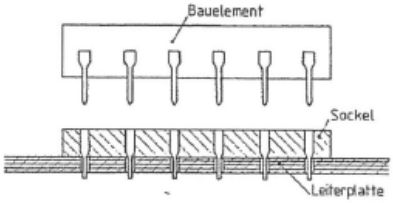
Äusserste Sauberkeit ist Bedingung. Fettige oder schmutzige Platten resp. Bauteile verunmöglichen gute Lötstellen.

Folgende Regeln sind zu beachten:
Am Arbeitsplatz dürfen niemals Fett und Öl gelagert sein. Schmutz, Löt-, Draht- und Isolationsabfälle sind regelmässig zu entfernen.
Nach Möglichkeit soll der Kontakt zwischen Leiterbahn und den Händen vermieden werden. Hände regelmässig waschen.
An diesen Arbeitsplätzen dürfen keinesfalls Früchte gegessen werden (Fruchtsäure).

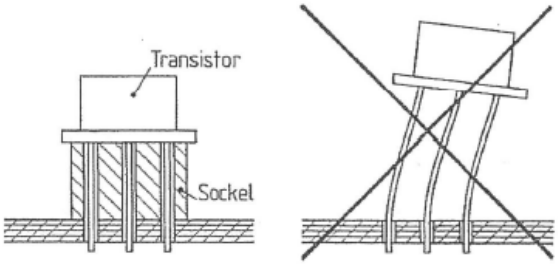


Bestücken der Bauelemente

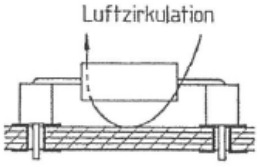
Integrierte Schaltungen (IC)
Integrierte Bauelemente werden entweder direkt auf die Leiterplatte bestückt, oder auf Sockel eingesetzt. Der Sockel wird mit der Leiterplatte verlötet. Die Anschlussbeine des Chips werden nach dem Löten vorsichtig in den Sockel eingeführt (evtl. mit Bestückungswerkzeug).



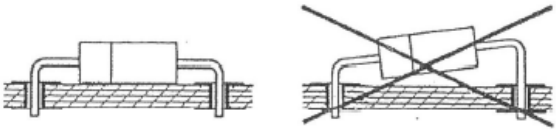
Transistoren
Transistoren sind so zu montieren, dass möglichst keine Kräfte zwischen den Anschlussdrähten und dem Gehäuse auftreten können. Die Art der Transistorenunterlagen ist aus den Unterlagen ersichtlich.



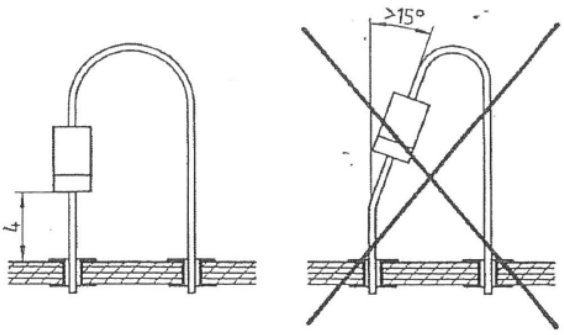
Leistungswiderstände
Bedingt durch ihre Wärmeentwicklung müssen Leistungswiderstände (zirka ab 1 Watt) von der Leiterplatte distanziert werden.



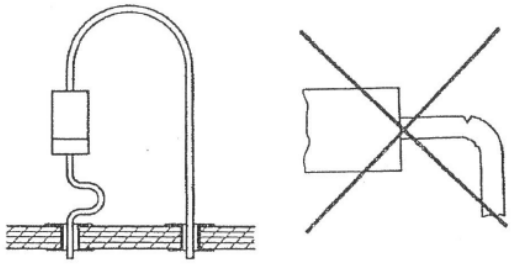
Liegend montierte Bauelemente
Zylindrische Bauelemente mit axialen Anschlüssen sollen auf der Leiterplatte aufliegen.
Ausnahme: Bei beidseitig beschichteten Leiterplatten müssen Bauelemente mit metallischen Gehäusen, wie z. B. Kondensatoren, isoliert werden, falls sie auf der Leiterplatte aufliegen und eine Leiterbahn kreuzen.



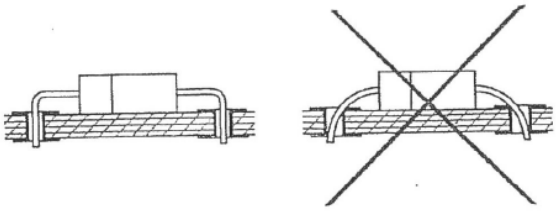
Stehend montierte Bauelemente
Bauelemente, welche stehend zur Leiterplatte montiert werden, dürfen höchstens eine Neigung von 15° aufweisen.
Die Bauelemente müssen vor dem Löten in die richtige Lage gebracht und fixiert werden.
Der Lötabstand von Dioden hat minimal 4 mm zwischen Gehäuse und Leiterplatte zu betragen (Wärmeempfindlichkeit).



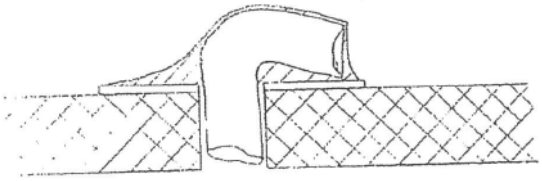
Zur Fixierung der Bauelemente werden häufig Isolierunterlagen verwendet. Eine andere Lösung ist das Sicken der Anschlüsse. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass Wärmedehnungen ausgeglichen und damit nicht auf das Bauelement übertragen werden.



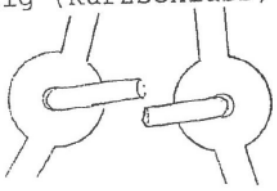
Einsetzen der Elemente
Die Bauelemente müssen so montiert werden, dass der konstruktiv bedingte Sicherheitsabstand von Bohrungen und Leiterplattenrand eingehalten wird.
Die aufgedruckten Angaben sollen nach Möglichkeit sichtbar sein.
Elemente mit Farbcode müssen einheitlich von einer Seite lesbar sein.

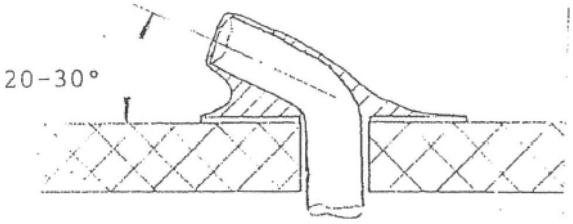


Biegen der Anschlussdrähte
- Die Anschlussdrähte von Bauelementen müssen vor dem Einbau in die Leiterplatte rechtwinklig abgebogen werden.
- Durch den Biegeprozess dürfen keine Kerben an den Anschlussdrähten verursacht werden.
- Bei empfindlichen Bauelementen, z. B. Dioden mit Glaskörpern usw., soll das Abbiegemass mit dem Bohrungsraster so übereinstimmen, dass keine mechanischen Spannungen zwischen der Leiterplattenbohrung und dem Bauelement bestehen.
- Abbiegemethoden
  Biegen von Hand oder
  Biegen und Schneiden auf einer Elementvorbereitungsmaschine.
- Beim Biegen von Hand dürfen Bauelement-Anschlussdrähte nur in Ausnahmefällen mit einer abgerundeten Zange gebogen werden. Das mehrmalige Biegen des Drahtes verursacht Gefügeveränderungen an der Biegestelle, was oft erst viel später zum Drahtbruch führt. Mehrmaliges Biegen des Anschlussdrahtes an der gleichen Stelle ist deshalb streng verboten.
  Der innere Biegeradius von Anschlussdrähten soll mindestens dem Drahtdurchmesser entsprechen.
  Die Anschlussdrähte dürfen beim Biegen keinesfalls einer Zugbelastung in Längsrichtung ausgesetzt werden. Eine Zugbelastung am Bauelementkörper kann zur Zerstörung des Bauelementes führen.



ungünstig (Kurzschluss)

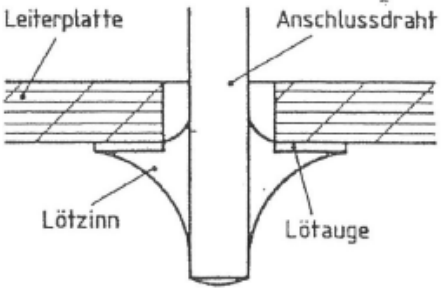




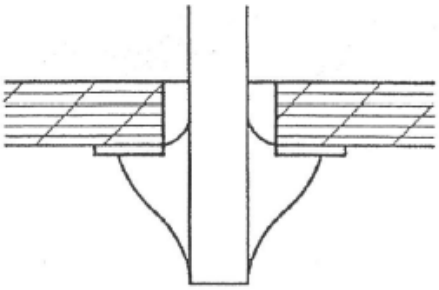
Qualität von Lötungen, Beurteilung

Einseitig beschichtete Leiterplatten

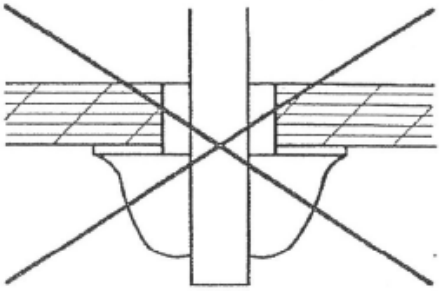
Einwandfreie Lötverbindungen
Am Anschlussdraht und am Lötauge läuft das Lot zu einem kleinen Benetzungswinkel aus.
Der vorstehende Teil des Anschlussdrahtes ist sauber mit Lot überzogen. Die Kapillarwirkung am Anschlussdraht zieht das Lot teilweise in die Bohrung.



Fehlerhafte Lötverbindung
Grosser Benetzungswinkel am Lötauge, zuviel Zinnauftrag.
Ursache: Ungenügende Benetzbarkeit des Lötauges.



Fehlerhafte Lötverbindung
Grosser Benetzungswinkel am Anschlussdraht.
Der Zinnabfluss ist plötzlich gestoppt und bildet eine scharfe Grenze zwischen Lot und Anschlussdraht.
Ursache: Ungenügende Benetzbarkeit des Anschlussdrahtes.
Massnahmen: Unbedingt nachlöten, grosse Wahrscheinlichkeit einer «kalten» Lötstelle. Falls der Anschlussdraht die Zinnannahme verweigert, ist das Bauteil auszuwechseln.



Ein besonders beim Löten im Elektronikbereich gefürchtetes Phänomen sind die sogenannten kalten Lötstellen. Bei einer kalten Lötstelle besteht keine stoffschlüssige Verbindung zwischen Lot und Fügepartner.

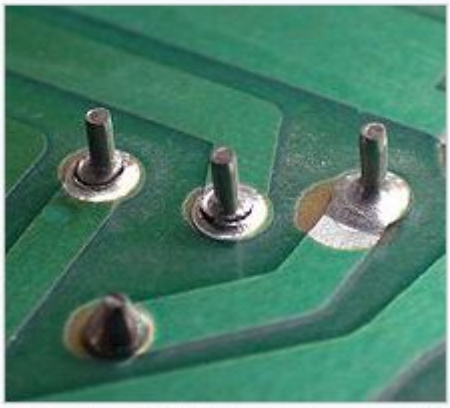
Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften einer kalten Lötstelle sind mangelhaft. Kalte Lötstellen sind typische Ursachen für Zuverlässigkeitsprobleme in elektronischen Baugruppen.

Kalte Lötstellen verursachen oft nicht sofort eine elektrische Unterbrechung. Eine kalte Lötstelle hält jedoch nur geringen mechanischen Belastungen stand. Aufgrund dessen können sowohl kleine Vibrationen oder Erschütterung der Lötstelle als auch Dehnungsbewegungen bei sich erwärmenden Bauteilen zu Funktionsstörungen beitragen.

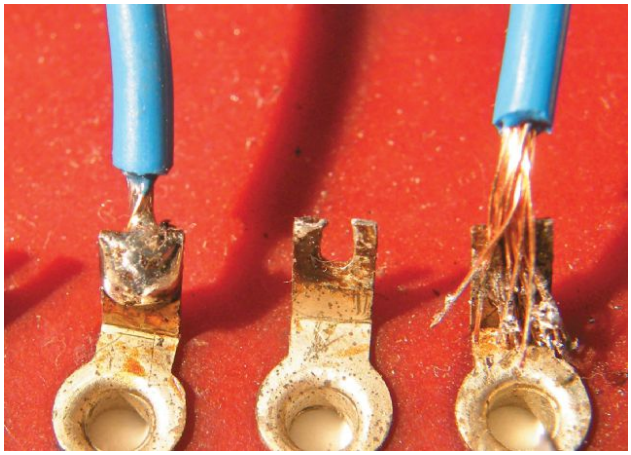
Kalte Lötstellen können viele verschiedene Ursachen haben:

- Die Löttemperatur war zu gering – die Lötstelle war zu kalt – wohl der Namensgeber. Es erfolgte keine oder keine vollständige Benetzung.
- Die Löttemperatur war zu hoch. Das Flussmittel hat sich zu schnell zersetzt, bzw. verdampft bevor eine deoxidierende Wirkung einsetzt. Die hohe Temperatur führt zu einer schnellen Oxidation der zu verbindenden Bereiche.
- Beim Abkühlen einer Lötverbindung wurde nicht sichergestellt, dass der gesamte Lötbereich zwischen der Liquidus- und Solidustemperatur erschütterungsfrei bleibt.
- Die zu benetzenden Oberflächen sind wegen Oxidation oder Überlagerung (Durchwachsen der intermetallischen Phase) nicht mehr benetzbar, so dass das Lot eher formschlüssig eine Art „Verklammerung“ darstellt.

eine kalte Lötstelle

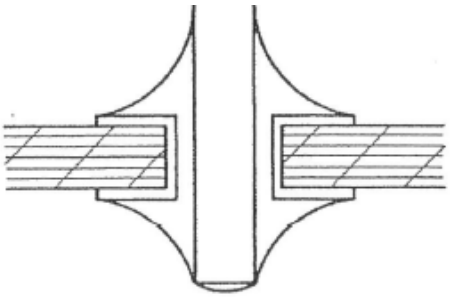


gebrochene Lötstellen an einem Zeilentrafo

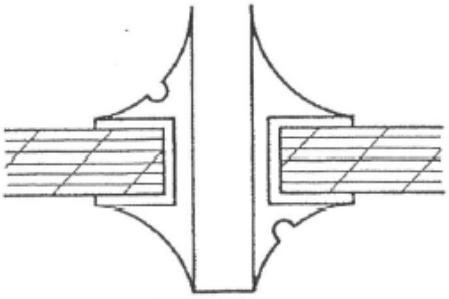


Durchplattierte Leiterplatten

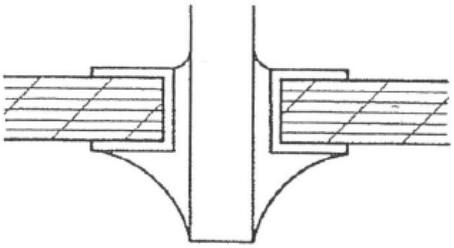
Einwandfreie Lötverbindungen
Kleine Benetzungswinkel.
Das Lot ist durch die Bohrung geflossen und bildet auf der anderen Seite eine gleichartige Lötverbindung.
Löten auf der Bauelementen-Seite ist verboten.



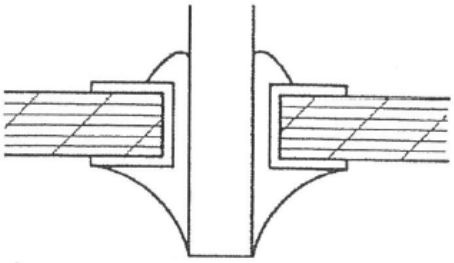
Akzeptable Lötverbindung
Poren können toleriert werden, wenn sie nicht mehr als 20% der Oberfläche der Lötstellen einnehmen. Treten auf beiden Seiten Poren auf, so dürfen sich diese nicht gegenüberliegen.



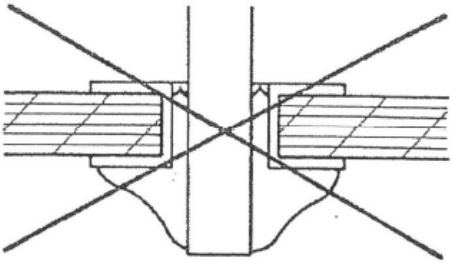
Akzeptable Lötverbindung
Das Lot ist durch die Bohrung geflossen. Es ist auf der anderen Seite gerade sichtbar.



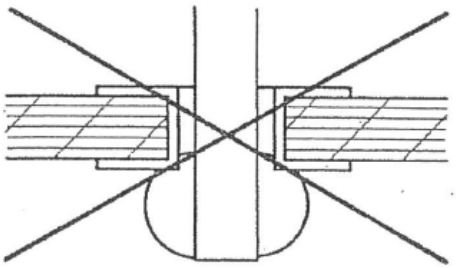
Akzeptable Lötverbindung
Das Lot ist durch die Bohrung geflossen, benetzt aber auf der anderen Seite das Lötauge nicht einwandfrei.



Fehlerhafte Lötverbindung
Grosser Benetzungswinkel am Anschlussdraht und am Lötauge. Zu grosser Zinnauftrag.
Ursache: Schlechte Benetzbarkeit des Leiterbildes und des Anschlussdrahtes oder zu «kalt» gelötet.
Massnahmen: Nachlöten, eventuell nicht lötbare Bauteile auswechseln.



Fehlerhafte Lötverbindung
Die Lötstelle hat die Form einer Kugel. Das Zinn ist nicht durch die Bohrung der Leiterplatte geflossen.
Oft Poren und Löcher in den Lötstellen.
Ursache: Lötauge und Anschlussdraht sind schlecht benetzbar oder wurden beim Löten zuwenig erwärmt.
Massnahmen: Nachlöten, eventuell nicht lötbare Bauteile auswechseln.

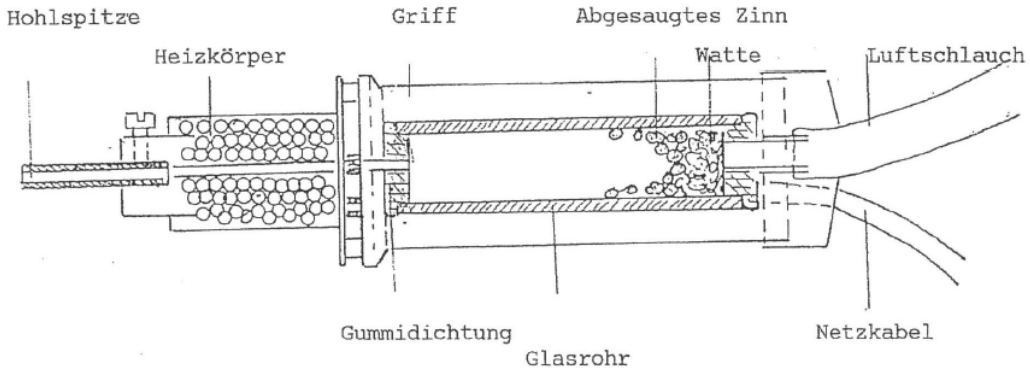


Auslöten

Um das Auslöten von Komponenten zu ermöglichen, ohne dass grössere Schäden an den Leiterplatten entstehen, muss vorerst das Lot von der Lötstelle entfernt werden. Danach werden die abgebogenen Drähte aufgerichtet und das Element kann herausgenommen werden. Zum Absaugen des Zinns stehen verschiedene Einrichtungen zur Verfügung.

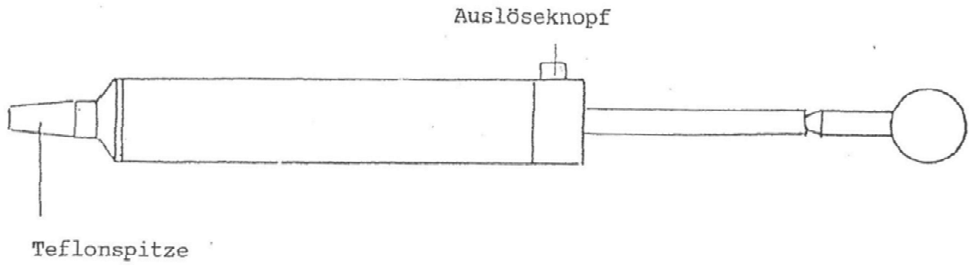
Vakuumlötkolben

Der Vakuumlötkolben besteht im Wesentlichen aus einem Lötkolben mit einer Hohlspitze, durch die das flüssige Zinn mit einer Saugeinrichtung abgesogen wird. Diese Einrichtung eignet sich für fast alle Absaugarbeiten, da kein Rückschlag auftritt. Der Vakuumlötkolben bedingt einen dauernden Unterhalts- und Reinigungsdienst, weil bei Verstopfungen meist ganze Bestandteile ausgewechselt werden müssen.



Zinnsauger (Velopumpe)

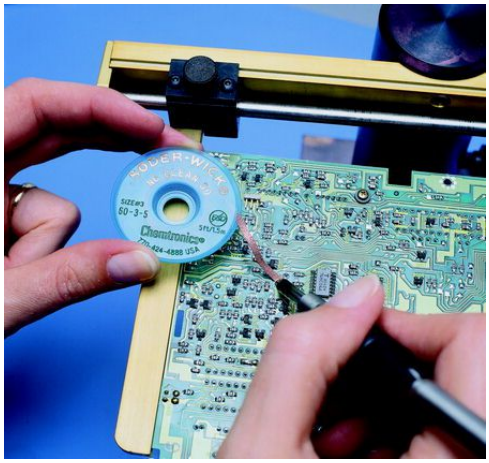
Dieses Gerät eignet sich für den Servicemann, da es sehr einfach in der Handhabung und ohne Vorbereitungszeit eingesetzt werden kann. Das Aufheizen erfolgt mit dem Lötkolben.
Der Nachteil dieser Pumpe ist die Rückschlagwirkung beim Absaugvorgang. Bei unsachgemässer Handhabung können Leiterbahnen beschädigt werden. Für Leiterplatten mit feinen Leiterbahnen und grosser Komponentendichte sollte dieses Werkzeug nicht benützt werden.



Entlötlitze

Es handelt sich um ein 0,5 bis 5 mm breites Band aus geflochtenen Kupferdrähten, das zur Verbesserung der Kapillarwirkung in Flussmittel getränkt wurde. Zum Entlöten wird es auf die Lötstelle gehalten und anschließend mit einem Lötkolben gemeinsam mit dem Lötzinn der Lötstelle erhitzt. Das geschmolzene Zinn wird durch die Kapillarwirkung der geflochtenen Litze aufgenommen und so von der Lötstelle entfernt. Ohne das bindende Lötzinn kann das Bauelement nun leicht von der Leiterbahn abgehoben werden.

Beim Entlöten mit Entlötlitze muss besonders darauf geachtet werden, dass der Entlötprozess nicht zu lange dauert. Bei zu langer Dauer kann sich die Kupferbahn vom Trägermaterial der Leiterplatte ablösen oder das Bauteil durch Überhitzung beschädigt werden. Stücke mit aufgesaugtem Lot sollten immer von der Restlitze abgeschnitten werden.



Nahaufnahme des Geflechts einer Entlötlitze

Eine Entlötlitze nach der Aufnahme von Zinn (Die schwarzen Flecken sind Verunreinigungen)

Quellenangaben:

AUTOPHON SOLOTHURN Arbeitsblätter AB-FER Lötverbindungen 4.0 Das Löten (ca. 1985)

(1987 Fusion mit Hasler und Zellweger zur Ascom)

https://de.wikipedia.org/wiki/Löten