

# Löttechnik- die Kunst, richtig zu lüten

**Löten kann heute praktisch jeder. Durch moderne Lötgeräte sind „saubere“ Lötverbindungen für die verschiedensten Anforderungen und Bereiche schnell und auch recht einfach herstellbar - die richtige Löttechnik und Verfahrensweise vorausgesetzt. Im vorliegenden Artikel finden Sie eine ausführliche Darstellung der verschiedenen Lötverfahren mit dem Schwerpunkt des Handlötens im Elektronikbereich.**

## Historisches

Kaum hatte der Mensch gelernt, Metalle für seine Zwecke zu gebrauchen, rumorte der Wunsch in ihm, sie auch verbinden zu können. Vieles von dem, was wir an Schmuck, Geräten und Waffen aus der Bronzezeit kennen, verdankt seine Brauchbarkeit und Schönheit dem Löten.

Wer als erster darauf kam, wie man Metalle verbindet, läßt sich heute nicht mehr so genau nachvollziehen. Fest steht, daß die Goldschmiede Alt-Ägyptens vor mehr als 5000 Jahren bereits Gold und Silber zu verbinden wußten. Auch ihre Kollegen aus Troja waren längst wahre Lötmeister, als die alten Germanen sich davon noch nichts träumen ließen.

Die „Zeitwende“ des Lötens kam mit der Entdeckung des Zinns als Lotmetall. Das ist immerhin auch schon rund 4000 Jahre her.

Von da an ging es mit der Weichlöttechnik bergauf. Zuerst verbreitete sie sich rund ums Mittelmeer: Die Kreter zeigten es den Etruskern, von denen lernten es die Römer, Tunesier, Spanier, und viele ande-

re folgten - schließlich auch die Schweizer, Böhmen, Ungarn, Germanen und Skandinavier.

Von Kultur zu Kultur, Generation zu Generation wurde die Löttechnik perfektioniert und verfeinert. Rückblickend am imponierendsten sind aber immer noch die alten Römer. Sie löteten bereits 400 km lange Wasserleitungen aus Bleirohren zusammen mit Nähten, die 18 Atm (!) aushielten. Aus Bronzeblechen zauberten sie Öfen und Badewannen, von der Kunst des Waffen- und Goldschmiedens ganz zu schweigen.

Die Errungenschaft unserer modernen

Zeit ist sicherlich die Industrialisierung des Weichlötens bis in die perfektesten Anwendungen hinein.

Doch wichtiger noch als das ist seine „Demokratisierung“: Löten ist längst keine Geheimkunst für wenige mehr: Löten kann heute jeder.

Dazu trug auch Ernst Sachs bei, der Begründer, der nach den Anfangsbuchstaben seines Vor- und Zunamens benannten Firma ERSÄ. Er ist der Vater des elektrischen LötKolbens als praktikables und rationelles Handwerkszeug. Heute wird die sowohl in industrieller als auch Handlöttechnik zu den führenden Anbietern zäh-

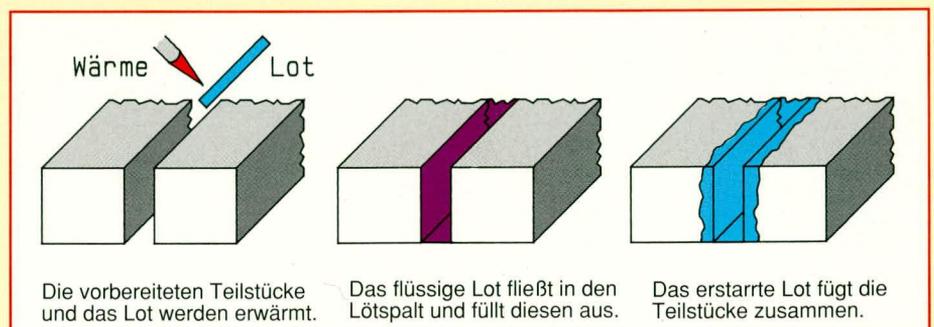
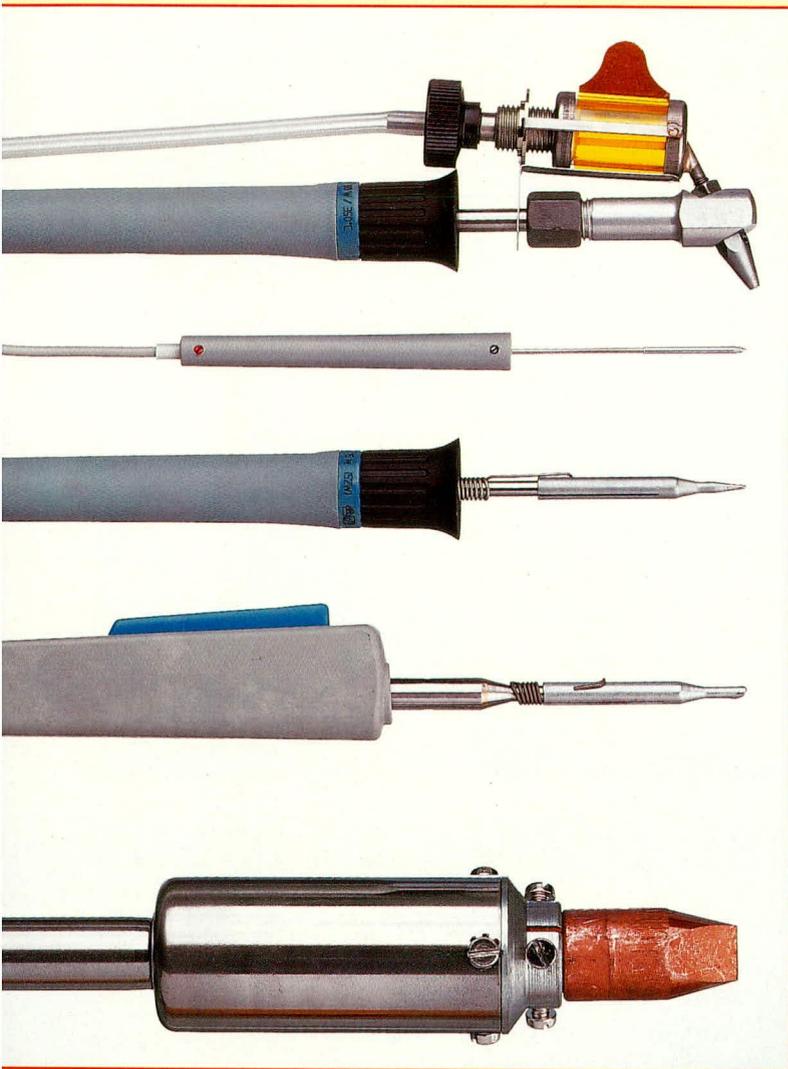


Bild 1: Zwei metallische Werkstücke werden mit Hilfe von Lötzinn verbunden



**Bild 2:**  
Verschiedene  
LötKolben im  
Größenvergleich

Mischkristallen.

Diese Kunst fällt dem Zinn zu, während das Blei für das einfache Verflüssigen des Lotes und die mechanische Stabilität der Verbindung verantwortlich ist.

Eine gelötete Verbindung besteht aus 5 Schichten: Grundmetall, Mischkristallschicht, Lotmetall, Mischkristallschicht, Lotmetall.

Weichlöten ist aus der Technik von heute nicht mehr wegzudenken. Es ist das Mittel der Wahl zum Herstellen sicherer elektrischer Verbindungen, und die werden im heimischen Haushaltsgerät genauso benötigt wie in Computern oder Raum-

fahren. Mit anderen Worten: ohne Weichlöten läuft fast gar nichts mehr.

## Das brauchen Sie fürs Weichlöten:

Voraussetzungen für gutes Löten sind richtiges Handwerkszeug und hochwertiges Zubehör - das gilt für industrielle Löttechnik genauso wie für das Löten zu Hause.

## Den LötKolben für die Wärme

Um das Lot zum Schmelzen zu bringen, ist Wärme erforderlich. Sie zu liefern ist Aufgabe des LötKolbens. Meist wird er elektrisch betrieben, manchmal aber auch mit Gas.

Abbildung 2 zeigt verschiedene LötKolben und einen EntlötKolben im Größenvergleich. Dabei noch ein kleiner historischer Rückblick am Rande: ERSA-Firmengründer Ernst Sachs hat 1921 den ersten LötKolben mit elektrisch beheizbarer Lötspitze zum Patent angemeldet.

Je nach Lötstelle und verwendetem Lot werden Temperaturen an der Lötspitze von 200 bis 400°C benötigt. Für den Elektronik-Bereich liegt die übliche Temperatur zwischen 250 und 350°C.

Um für jede LötAufgabe die richtige Temperatur bereitzustellen, ist die Wärmeleistung des LötKolbens entscheidend. Dazu wählt man einen LötKolben, der im gewünschten Temperaturbereich liegt. Dies ist jedoch leichter gesagt als getan.

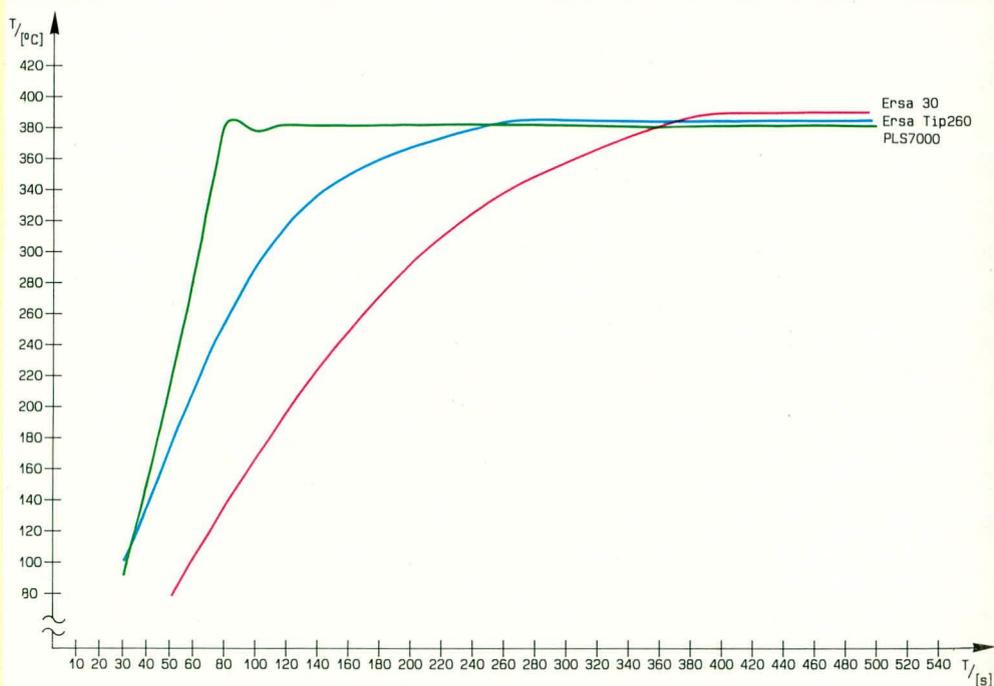
In Abbildung 3 sind typische Temperaturverläufe (beginnend beim Einschalten) von 2 unregelmäßigem LötKolben im Vergleich zu einer elektronisch geregelten Lötstation dargestellt. Abbildung 4 zeigt die Temperaturschwankungen während eines Lötvorgangs. Charakteristisch ist die

lende Firma ERSA in dritter Generation von den beiden Enkeln des Firmengründers geleitet.

## Löten: das Verbinden von Metallen

Löten ist, wenn zwei metallische Werkstücke mit Hilfe von geschmolzenen metallischen Bindemitteln (Lot) verbunden werden. Der Trick dabei ist, daß der Schmelzpunkt des Lotes immer niedriger ist, als der des zu verbindenden Metalls. Liegt er unter 450°C, spricht man von Weichlöten, liegt er darüber, von Hartlöten. Im Unterschied dazu werden beim Schweißen die zu verbindenden Metalle durch Erhitzen bis zu ihrem eigenen Schmelzpunkt stofflich miteinander vereinigt.

Beim Weichlöten werden die Fugen zwischen den zu verbindenden Metallen meist mit einer Legierung aus Blei und Zinn gefüllt. Wichtig ist, daß sie nach dem Erkalten nicht einfach an der Oberfläche des Fremdmetalls klebt, sondern sich mit ihr vereinigt. Dazu muß das Lot ein wenig vom Fremdmetall auflösen und in sich aufnehmen, d. h. es kommt zur Bildung von



**Bild 3:** Temperaturverlauf von unregelmäßigem LötKolben und der PLS 7000

große Temperaturdifferenz zwischen Leerlauftemperatur und Löttemperatur. Kritisch wird es vor allem, wenn größere Lötflächen zu bearbeiten sind, da dann die Temperatur noch weiter absinken kann - letztendlich bis zum „Kleben“ des LötKolbens an der Lötstelle im Falle einer erheblich zu kleinen Leistungsabgabe.

Beim Einsatz von unregelmäßig geformten LötKolben ist daher genau zu überlegen, welche Arbeiten anfallen.

Für universellen Einsatz bietet sich der ERSA 30 mit einer Leistung von 30 W an. Dieser LötKolben ist sowohl geeignet, um Lötarbeiten an Elektronikbaugruppen auszuführen, als auch zum Festlöten kleiner Schrauben bis hin zum Verlöten dünner Bleche, z. B. von Abschirmgehäusen. Bei der Abdeckung eines doch recht breiten Anwendungsspektrums kann es sich jedoch hinsichtlich der Einsatzoptimierung nur um einen Kompromiß handeln - für gelegentlichen Einsatz jedoch vertretbar.

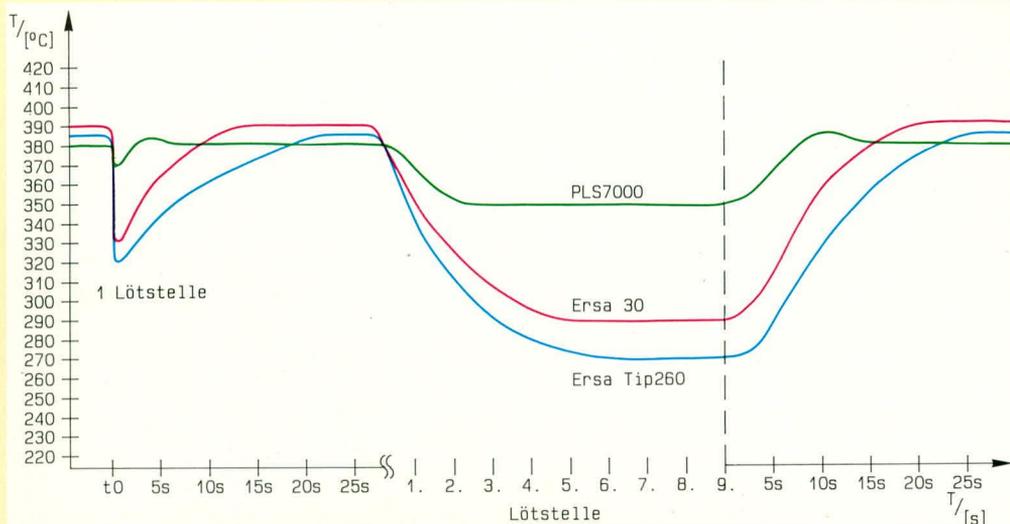
Wird häufiger an Elektronikbaugruppen gearbeitet, empfiehlt sich der ERSA Tip 260. Mit einer Leistung von 16 W ist dieser LötKolben mit feiner Dauerlötspitze gut geeignet, konventionelle, bedrahtete Bauelemente zu verlöten, d. h. dieser LötKolben ist für ein schmales Anwendungsspektrum konzipiert und entsprechend geeignet.

Der Vollständigkeit halber sollen an dieser Stelle auch Bleiverglasungsarbeiten angesprochen werden. Hierfür eignen sich im Grunde StandardlötKolben mit einer Leistung von ca. 80 W.

### Perfekt: Die geregelte Lötstation

Mehr als 50 Jahre lang war der elektrisch beheizte unregelmäßig geformte LötKolben das Mittel der Wahl zur Erstellung von Weichlötverbindungen. Auch in der anspruchsvollen Elektronik wurden damit zuverlässige Verbindungen geschaffen - trotz der großen Temperaturschwankungen.

Nachteilig bei unregelmäßig geformten LötKolben ist jedoch die hohe Leerlauftemperatur, die neben der Verzunderung und dem stark erhöhten Spitzenverschleiß auch eine überhöhte Löttemperatur zu Beginn einer Lötung mit sich bringt. Darüber hinaus sinkt bei Serienlötungen die Temperatur zu stark ab oder aber sie ist bei Einzellötungen zu hoch - je nach gewählter LötKolbenleistung. Daraus resultiert ein recht schmaler Einsatzbereich, d. h. für richtiges Löten sind eine Vielzahl verschiedener LötKolben erforderlich. Im Industriebereich, z. B. beim Serienlöten, ist dies weniger problematisch, da stets gleiche Bedingungen für Serienarbeiten vorliegen. Im privaten Bereich hingegen, und hier speziell im Elektroniklabor, fallen sowohl feinste Lötungen an, wie z. B. beim Einsetzen von SMD-Komponenten, aber es sind auch Abschirmge-



**Bild 4: Typischer Temperaturverlauf vom Einschaltmoment bis zur Endtemperatur und während eines Lötvorgangs**

gehäuse o. ä. zu verlöten; einmal ganz davon abgesehen, daß beim Anschluß von Starkstrom-Zuleitungen auch stärkere Kupferdrähte mit hoher Wärmekapazität verarbeitet werden sollen.

Einen Meilenstein in der professionellen Löttechnik bildeten daher die elektronisch geregelten Lötstationen, deren Verbreitung in den 70er Jahren einsetzte. Die Abbildung am Anfang dieses Artikels zeigt einen der modernsten Vertreter, die Prozessor-Lötstation PLS 7000 von ELV, ausgestattet mit einem ERSA-LötKolben mit integriertem Thermoelement zur präzisen Temperaturerfassung und Rückführung.

Der LötKolben stellt je nach individuellem Anwendungsfall und Erfordernis eine Leistung bis zu 80 W souverän bereit.

Abbildung 4 zeigt den Temperaturverlauf an der Lötspitze während eines einzelnen Lötvorgangs sowie bei Serienlötungen. Wie daraus zu entnehmen ist, weisen die beiden unregelmäßig geformten LötKolben verhältnismäßig große Temperatureinbrüche auf, während die elektronisch geregelte Lötstation nur einen kleinen Temperaturerfall verzeichnet.

Die Zuführung der erforderlichen Leistung wird dabei mikroprozessorgesteuert, den jeweiligen Erfordernissen optimal angepaßt vorgenommen. Dies bedeutet beim Aufheizen viel Leistung, im Leerlauf nur minimale Leistung und während des Lötens individuelle Anpassung. Für das Halten der Betriebstemperatur im Leerlauf werden dabei dem LötKolben nur wenige Watt zugeführt, was letztendlich nur einem kleinen Bruchteil der Maximalleistung entspricht.

So können mit ein und demselben LötKolben, beim Einsatz einer Bleistiftspitze angefangen von feinsten Arbeiten an SMD-Bauteilen, über konventionelle Lötungen an Elektronikkomponenten bis hin zum Verlöten dünner Bleche von Abschirmge-

häusen nahezu alle im Elektronikbereich anfallenden Lötarbeiten in optimierter Weise ausgeführt werden. Das Auswechseln der Lötspitze ist schnell und einfach möglich. Durch den Einsatz einer stärkeren Lötspitze können mit demselben LötKolben dann auch große Lötflächen souverän bearbeitet werden. Speziell auch Tiffany-Profis bevorzugen geregelte Lötstationen. Entsprechende Lötspitzen stehen in breiter Auswahl zur Verfügung.

### Die Lötspitze zum Wärmetransport

Die Lötspitze ist eines der wichtigsten Teile des LötKolbens. Sie ist verantwortlich für den Wärme fluß vom Heizelement über das Lot zur Lötstelle. Je nachdem, welcher LötKolben verwendet wird, und was wie oft gelötet werden soll, stehen unterschiedlichste Lötspitzenarten zur Verfügung. Die wichtigsten Gruppen sind Kupferlötspitzen, zunderfeste (beschichtete) Lötspitzen und Dauerlötspitzen.

Die Beschaffenheit und Qualität der Lötspitze entscheidet letztendlich über Erfolg oder Mißerfolg der Lötung. Sie muß durch die richtige Form, perfekte Wärmeleitung, makellose Beschaffenheit und zuverlässige Beständigkeit für die technischen Voraussetzungen, aber auch für das notwendige „Fingerspitzengefühl“ sorgen. Deshalb kann man bei der Wahl der Lötspitze gar nicht anspruchsvoll genug sein.

Die klassische Lötspitze besteht aus Kupfer. Neben der sehr guten Wärmeleitfähigkeit ist eine Kupferlötspitze in der Anschaffung kostengünstig. Ein wesentlicher Nachteil liegt jedoch darin, daß Kupfer unter Wärmeeinwirkung stark oxidiert und Kupferteilchen an das Lötzinn abgibt. Das Lötzinn, und hier speziell das darin enthaltene Flußmittel, greift die Kupferlötspitze an, bis diese schließlich ganz „zerfressen“ ist. Zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit muß eine Kupferlötspitze ständig

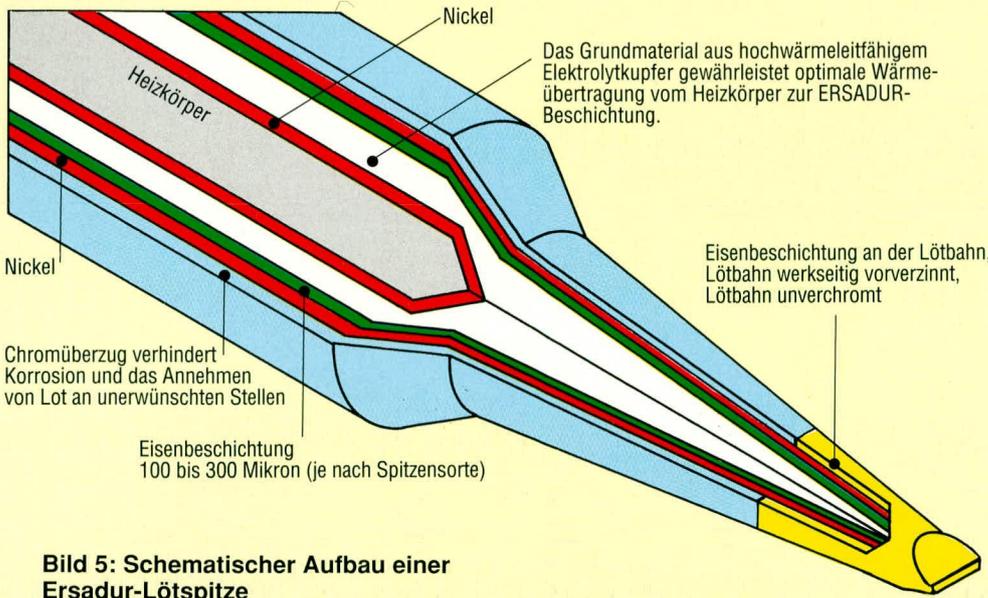


Abbildung 5 zeigt den schematischen Aufbau einer Ersadur-Lötspitze. Sie ist auf galvanischem Weg mit einer Eisenschicht plattiert und durch eine zusätzliche Chromschicht vor Korrosion und Oxidation geschützt. Durch einen perfekten Wärmetransfer wird der Heizkörper des Lötkolbens vor Überlastung und vorzeitigem Verschleiß geschützt.

Außen ist eine Ersadur-Lötspitze von einer Chromschicht umgeben, die als Korrosionsschutz dient und auch kein Lot annimmt. Ganz vorne an der Spitze ist diese Chromschicht durch eine Eisenbeschichtung ersetzt und werksseitig vorverzinkt. Nur mit dieser dauerhaften Spitze wird letztendlich gelötet. Unterhalb der „Außenhaut“ befindet sich eine Nickelschicht und darunter eine Eisenbeschichtung, die ihrerseits mit dem eigentlichen Trägermaterial verbunden ist, das auch aus hochwärmeleitfähigem Elektrolytkupfer besteht. Den Übergang zum Heizkörper bildet eine Nickelschicht. Durch diesen vergleichsweise aufwendigen Aufbau wird eine optimale Wärmeleitfähigkeit, verbunden mit höchster Standfestigkeit, erreicht.

In Abbildung 6 ist eine Auswahl verschiedener Ersadur-Lötspitzen zu sehen, während Abbildung 7 eine Aufstellung der

**Bild 5: Schematischer Aufbau einer Ersadur-Lötspitze**

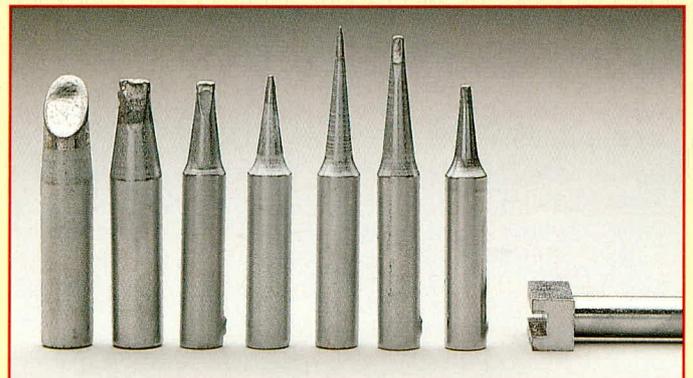
gereinigt und häufig mit einer kleinen Feile nachgearbeitet werden.

Eine wesentliche Verbesserung der Standfestigkeit einer Lötspitze wird durch eine hinreichend starke Nickelschicht erreicht. Nickel hat die Eigenschaft, daß es sich ebenfalls gut mit Lötzinn benetzen läßt, dem darin enthaltenen Flußmittel jedoch einen hohen Widerstands-Zeitwert entgegensetzt. So behalten vernickelte Kupferlötspitzen über lange Zeit ihre Funktionstüchtigkeit. Sobald die Nickelschicht „verbraucht“ ist, muß die Spitze durch eine neue ersetzt werden. Es versteht sich dabei von selbst, daß solche Lötspitzen keinesfalls mechanisch bearbeitet werden dürfen, da die dünne Nickelschicht zwar einen wirksamen, jedoch auch gleichzeitig den einzigen Schutz darstellt. Nickelbeschichtete Lötspitzen sind inzwischen recht weit verbreitet, da die Haltbarkeit gegenüber Standard-Kupferlötspitzen ganz erheblich

höher ist, bei nur geringfügig höheren Herstellungskosten.

Eine weitere Verbesserung stellen Ersadur-Lötspitzen dar. Durch ihre hohe Qualität sind sie für Dauerbetrieb wie geschaffen. Das dafür erforderliche spezielle Verfahren wurde von der Firma ERSA entwickelt und ist patentrechtlich geschützt.

**Bild 6: Verschiedene Ersadur-Lötspitzen**



**Bild 7: Von ELV lieferbare Ersadur-Lötspitzen.**

Ersadur - Standard - Lötspitzen							
	bleistiftspitz	bleistiftspitz, verlängert	superspitz, verlängert	meißelförmig, schmal	meißelförmig, universal	meißelförmig, verlängert	meißelförmig, stark
Typ							
Best.Nr.	8192..... DM 9,95	0469..... DM 9,95	11175..... DM 11,30	8189..... DM 9,95	8190..... DM 9,95	0462..... DM 9,95	8191..... DM 16,85
Lötspitzen für Bleiverglasung (z. B. Tiffany)				Kleinlötbad			
	verstärkt, angeschrägt	verstärkt, angeschrägt	meißelförmig, stark	zur Tauchverzinnung von Anschlußdrähten, Kabelschuhen u. ä.			
Typ							
Best.Nr.	11183..... DM 12,60	11184..... DM 12,60	11176..... DM 12,60	11177..... DM 36,50			
IC-Auslöteinsätze							
	für 8 Anschlüsse	für 14 Anschlüsse	für 16 Anschlüsse	für 18 Anschlüsse	für 20 Anschlüsse	für 20 Anschlüsse	
Typ							
Best.Nr.	11178..... DM 44,50	11179..... DM 45,50	8193..... DM 46,50	11180..... DM 47,50	11181..... DM 48,50	11182..... DM 49,50	



Legierung	Flußmitteltype	Schmelzpunkt/-strecke	Anwendung
1. L-Sn 60 Pb	F-SW 26	183°C	1.-3. für allgemeine Lötarbeiten in Elektrotechnik und Elektronik 1.+3. besonders gut für Dauerlötspitzen
2. L-Sn 60 Pb Cu 2	F-SW 26	183°C-191°C	
3. L-Sn 63 Pb 37	F-SW 32	183°C	
4. L-SN 62 Pb 36 AG 2	F-SW 32	178°C-189°C	4. Speziell für SMD-Technik, geringer Flußmittelgehalt für rückstandsarmes Löten

bei ELV erhältlichen Ersadur-Lötspitzen einschließlich der IC-Auslöteinsätze zeigt.

### Das Lot für die Verbindung

Metallische Bindemittel, meist in Form eines Drahtes oder einer Stange aufbereitet, gibt es in unterschiedlichen Legierungen und Zusammensetzungen. Weichlote bestehen meist aus einer Mischung von Zinn (Sn) und Blei (Pb). Zusatzstoffe können Antimon, Kupfer, Silber, Zink und Cadmium sein.

Die Zusammensetzung der Legierung entscheidet über Schmelztemperatur und physikalische Eigenschaften der Verbindung.

Die in der Elektrotechnik am meisten genutzten Lote sind die Legierungen L-Sn 63 Pb bzw. L-Sn 60 Pb. Sie schmelzen bei 183 bzw. 190°C. Hinter den Zahlen verbirgt sich der prozentuale Zinngehalt. In der oben stehenden Tabelle sind die vier am häufigsten auftretenden Legierungen für Lötzinn aufgelistet.

Im Bereich der Elektronik hat sich dabei als Standard-Durchmesser für Lötdrähte 1,0 mm durchgesetzt. Früher waren auch 2 mm und später 1,5 mm starke Lötdrähte verbreitet. Aufgrund der zunehmenden Miniaturisierung in der Elektronik entstand das Erfordernis nach dünneren Lötdrähten, was zuletzt zu dem quasi Standard von 1 mm führte.

Im Bereich der SMD-Technik hingegen wird entweder Lötendraht mit einem Durchmesser von nur 0,5 mm eingesetzt (wiederrum bedingt durch die besonders kleinen Bauteile) oder aber eine spezielle Lotpaste, die mit einer Plastikspritze mit Spezialmundstück fein dosierbar ist.

Nach diesen für das Handlöten gültigen Aussagen wollen wir noch kurz einen Abstecher zur industriellen Serienlötlung machen. Im Bereich konventioneller bedrahteter Bauelemente kommt für Serienlötlungen eine Wellenlötanlage zum Einsatz. Dabei fährt die komplett bestückte Leiterplatte, die sich innerhalb eines Transportrahmens befindet, zunächst über einen sogenannten Fluxer, der die Lötseite mit Flußmittel benetzt. Es folgt eine Trocknungsstrecke, an die sich die eigentliche Lötwellen anschließt. Dabei handelt es sich um einen sehr gleichmäßig verlaufenden Lötzinnstrom, der die Leiterplatte von unten anspült und innerhalb weniger Sekunden eine vollständige Verlötlung der gesamten Leiterplatte vornimmt, während diese über die Lötwellen fährt. Bedingt durch den hohen Energieinhalt des Lötzinns beträgt die Temperatur einer Lötwellen nur ca. 250°C. In Abbildung 8 ist eine industrielle Wellenlötanlage abgebildet, wie sie in ähnlicher Form auch im ELV-Fertigungsbereich Einsatz findet.

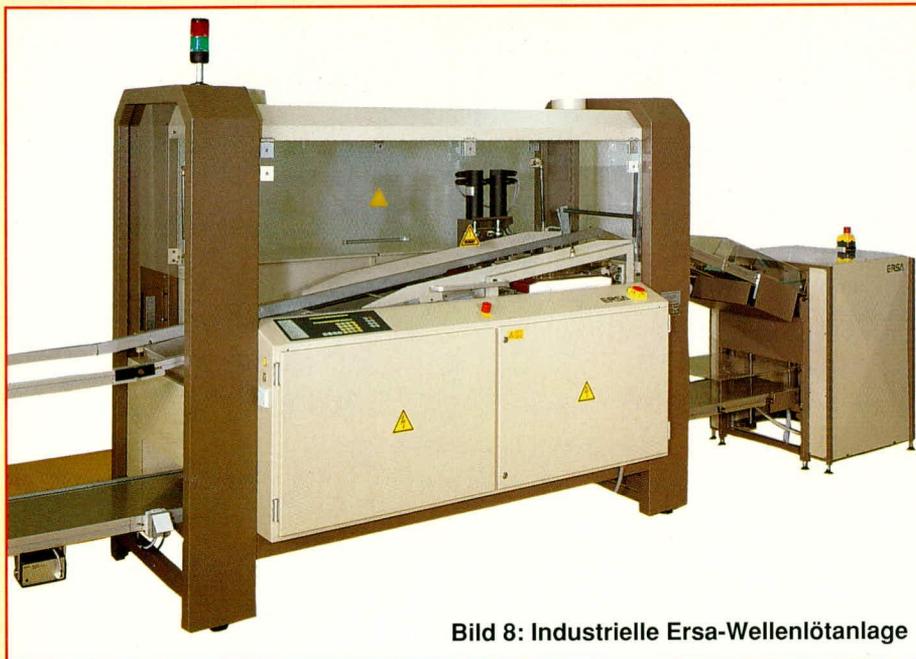


Bild 8: Industrielle Ersa-Wellenlötanlage

In Klebtechnik aufgebrauchte SMD-Teile können nach einem ähnlichen Verfahren, jedoch mit einer Doppellötwellen, gelötet werden, während speziell für die SMD-Technik zwei weitere Verfahren, und zwar das Infrarot- und das Heißluftverfahren, entwickelt wurden. Beiden Verfahren gemeinsam ist das Aufbringen einer Lotpaste, in welche dann die SMD-Bauteile eingesetzt werden. Nach Fertigstellung der Bestückung durchläuft die Leiterplatte den Infrarot- oder Heißluftofen, in dem dann der Lötvorgang abläuft.

### Das Flußmittel für die Kontaktfähigkeit

Damit sich Lot und Metall möglichst intensiv miteinander verbinden können, werden Flußmittel eingesetzt. Sie sorgen für eine metallisch reine Oberfläche der zu lötenden Teile, befreien von Oxiden sowie löthemmenden Verunreinigungen und verhindern die Bildung von neuem Oxid beim Löten.

Bei Flußmitteln unterscheidet man zwischen säurehaltigen (für Installateurarbeiten) und säurefreien Produkten (für Elektrik und Elektronik).

In der Elektrotechnik verwendet man meist Röhrenlote (Lotdrähte) mit einer oder mehreren Flußmittelseelen, hingegen im Installationsbereich sowie Kühler- und

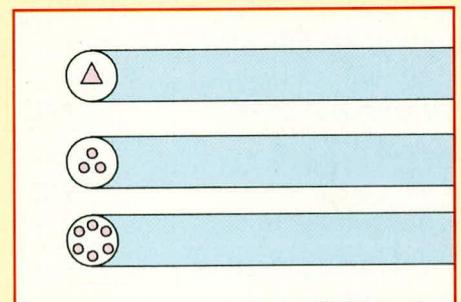


Bild 9: Innenaufbau von Röhrenloten

Karosseriebau in der Regel Stangenlote.

Abbildung 9 zeigt den Innenaufbau entsprechender Röhrenlote.

Im Rahmen der Beschreibung des Lötvorgangs selbst kommen wir noch ausführlich auf die wichtige Funktion des Flußmittels zu sprechen. Ohne Flußmittel ist keine saubere Lötung möglich, jedoch kann ein falsches Flußmittel die komplette Leiterplatte unbrauchbar machen.

Im zweiten Teil dieses Artikels wenden wir uns dem eigentlichen Lötvorgang zu sowie der Lötdauer und der Lötqualität. Neben dem Löten von Elektronikkomponenten und SMD-Teilen behandeln wir auch Installateur-, Spengler- und Bleiglas-Lötarbeiten. Darüber hinaus befassen wir uns mit dem Löten mit Potentialausgleich, und zum Abschluß mit dem Entlöten, wobei auch die elektrische Sicherheit und der Umweltschutz behandelt werden. **ELV**