Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 54 (1963)

Heft: 16

Artikel: Zeitgemässe Lötverbindungen

Autor: Baumann, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916503

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Zeitgemässe Lötverbindungen

Von *A. Baumann*, Zürich

621.791.35

Die immer höher werdenden Anforderungen an ein rationelleres Weichlöten sowie an die Sicherheit der Lötverbindungen veranlassten Industrie und Wissenschaft, eingehendere Untersuchungen durchzuführen. Zuerst werden die grundsätzlichen Fragen, die Löttemperaturen und die Veredelung von Lötteilen besprochen. Anschliessend folgen Hinweise auf neuere Materialien und Geräte sowie deren Eigenschaften bei Anwendung der klassischen Verdrahtungsformen. Dann werden Lötverbindungen beschrieben, die an vorfabrizierten Leiterplatten ausgeführt werden können. Zum Schluss wird die Verwendung der gedruckten Platten und werden die damit zusammenhängenden Weichlötverfahren behandelt.

En raison des exigences toujours plus sévères qui sont posées à un soudage à l'étain rationnel, ainsi qu'à la sécurité des soudures, l'industrie et la science ont dû procéder à des études et à des essais approfondis. L'auteur discute d'abord des questions fondamentales, des températures de soudage et du perfectionnement des pièces soudées, puis il donne des renseignements sur les nouveaux produits et les nouveaux appareils, ainsi que sur leurs propriétés en relation avec la filerie classique. Il décrit ensuite des assemblages soudés qui peuvent être exécutés à des plaques de conducteurs préfabriquées. Pour terminer, il mentionne l'emploi des plaques imprimées et les procédés de soudage utilisés dans ce cas.

1. Grundsätzliches

1.1 Lötverbindung

Bei einer guten Lötverbindung muss eine Diffusion des Lötzinns mit dem zu lötenden Material stattgefunden haben. Macht man einen Schnitt durch eine Lötverbindung, so kann man ganz deutlich die Diffusionszone erkennen. Fig. 1 zeigt die Mikroaufnahme der Verzinnung von Kupfer. Die grossen Kristalle in der breiten, hellen Zone sind das Kupfer. Die obere Zone ist die Zinnschicht und zwischen beiden ist deutlich die Diffusionszone der gegenseitigen Reaktion zu erkennen. Um solche einwandfreien Lötverbindungen herzustellen, muss man näher auf die verwendeten Materialien eingehen.

1.2 Legierung des Lötzinns

Lötzinn besteht bekanntlich aus Zinn und Blei und wird zweckmässig für die Herstellung von Lötverbindungen bei der Verdrahtung von Elektrogeräten in der Legierung 60 % Zinn und 40 % Blei gewählt. Die Begründung zur Wahl dieses Legierungsverhältnisses ersieht man am besten aus dem Zinnschmelzdiagramm, wie es Fig. 2 zeigt. Man erkennt, dass die Liquiduskurve vom Schmelzpunkt des reinen Bleis von 327 °C bis zum Eutektikum bei 61,9 % Zinn auf eine Schmelztemperatur bei 183 °C fällt, um bei Legierungen mit höherem Zinnanteil wieder auf 232 °C, dem Schmelzpunkt des Zinns, anzusteigen. Lässt man das Lötzinn in der eutektischen Legierung erkalten, so geht es von der Schmelze ohne Übergang in den festen Zustand über. Verwendet man über- oder unter-eutektische Legierungen, so durchläuft die Abkühlung der Lötzinnschmelze einen breiigen Zustand, der in der Praxis eine unliebsame grössere Aufmerksamkeit bei der Lötung erfordert. Wird während dieses Prozesses die Lötstelle auch nur ein wenig bewegt, so ist die mechanische

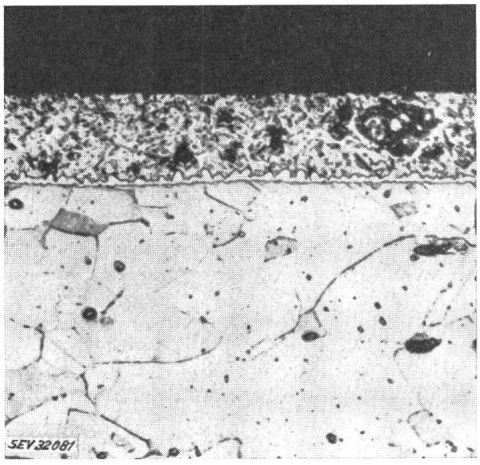

Fig. 1
Mikrophotographie der Verzinnung von Kupfer

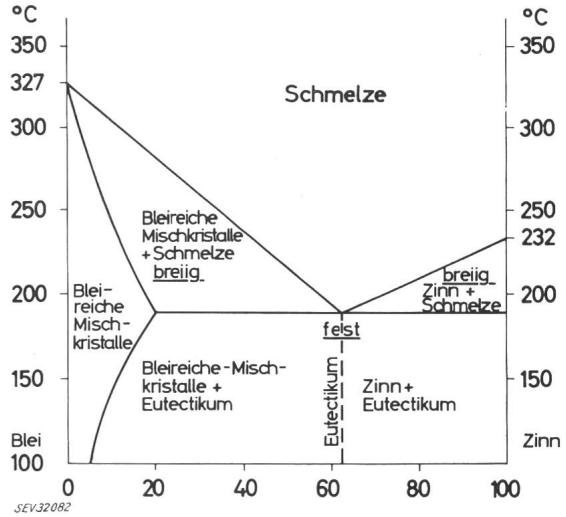

Fig. 2
Lötzinn-Schmelzdiagramm

Festigkeit nach der Erstarrung nicht mehr gewährleistet. Im unter-eutektischen Bereich scheiden sich in dem ersten Zeitabschnitt bleireiche Mischkristalle aus, während im über-eutektischen Bereich zuerst reine Zinnkristalle entstehen, bevor sich das Eutektikum bilden kann.

Die handelsübliche Legierung 60/40 ist daher für die Weichlötung am empfehlenswertesten. Eine Ausnahme ist für die Anwendung der Weichlötung in Geräten zu treffen, die übernormalen Vibrationen ausgesetzt sind. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schwingungsfestigkeit von Lötzinn-Legierungen am grössten ist, wenn das Verhältnis zwischen Zinn und Blei jeweils 50 % beträgt. Aus Fig. 3 sieht man den Bereich der Schwingungsfestigkeit von Lötstellen in Abhängigkeit vom Zinngehalt. Die schraffierte Fläche enthält die unzähligen Messresultate und Nachprüfungen, und lässt erkennen, wann es bei einer Lötstelle nach einer bestimmten konstanten Schwingungsbelastung zum Bruch kommt. Es konnte aus praktischen Gründen, nämlich absolut genau gleiche Lötstellen herzustellen, nicht eine einzige Kurve festgelegt werden, sondern die Ergebnisse streuten innerhalb eines begrenzten Bereiches. Ganz deutlich sieht man aber, dass die Bestresultate bei der Legierung 50/50 % liegen.

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Lötzinn mit dem hauptsächlichst verwendeten Material, nämlich dem Kupfer legiert, hängt wesentlich von der Temperatur ab. In Fig. 4 ist die Metallreaktion beim Weichlöten in Abhängigkeit von der Temperatur einer 60/40 % Lötzinn-Legierung dargestellt.

Die Qualität der Lötung hängt nicht allein von der Wahl der Legierung ab, sondern auch von den Grundmetallen und ihrer Reinheit. Es hat sich gezeigt, dass die Komponenten Zinn und Blei reine Ursprungsmetalle mit Reinheitsgraden,

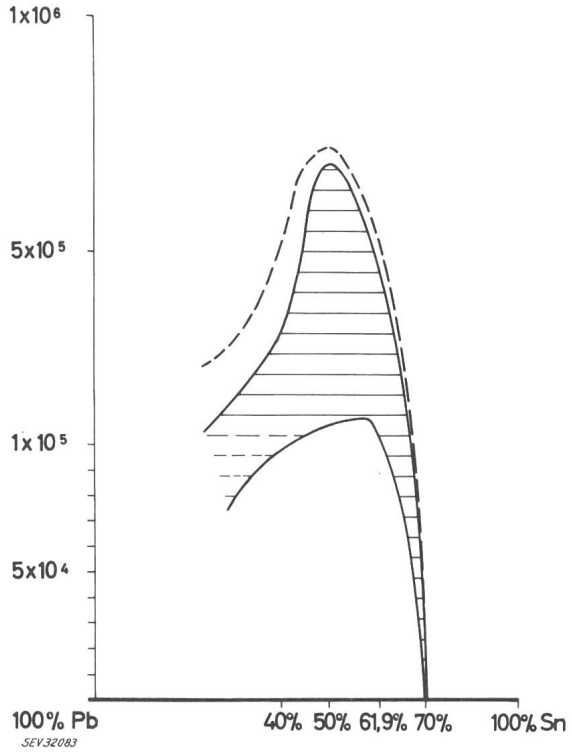

Fig. 3
Schwingungsfestigkeit von Lötstellen in Abhängigkeit vom Zinn-Gehalt
Lötstellen unter einer Zugspannung von 1,2 kg/mm², Amplitude 2 mm, Frequenz 100

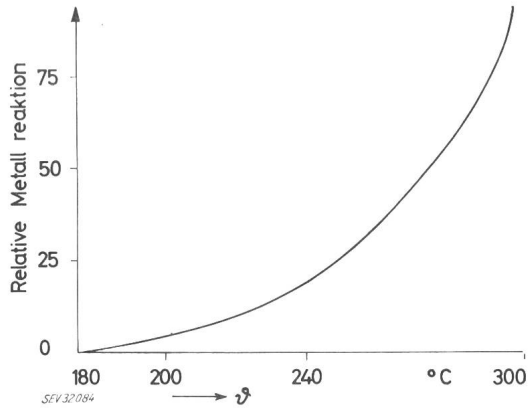

Fig. 4
Temperaturabhängigkeit der Metallreaktion beim Weichlöten
ϑ Temperatur

die über 99,9 % gehen sollten, sein müssen. Bereits Spuren anderer Metalle, die z. B. bei der Verwendung von Altmetallen in der Lötzinnfabrikation vorkommen, beeinträchtigen die Legierungsfreudigkeit vom Lötzinn in allergrösstem Masse. Insbesondere sind Spuren von Zink äusserst störend und wirken sich löthemmend aus.

1.3 Flussmittel

Da es in der Praxis nicht möglich ist, die zu lötenden Bestandteile metallisch völlig rein zu erhalten, kann man auf Beizmittel, heute kurz Fluxe genannt, nicht verzichten. Im Laboratorium selbst lässt sich reines Kupfer ohne Beizmittel mit reinem Lötzinn legieren. Jedoch ist das Lagern von Einzelteilen oft nicht zu umgehen, wobei sich an der Oberfläche Oxydationsschichten bilden, die eine löthemmende Wirkung haben. Die Bildungsgeschwindigkeit dieser Oxydhäute hängt von der Wärmetönung der Oxydationsreaktionen ab. Metalle, die hochreaktionsfähig sind, bilden meist eine wesentlich dickere Oxydhaut; Kupfer z. B. mehr als Silber, das einen sehr edlen Charakter besitzt. Auch die Verschmutzung durch die Atmosphäre in Industriebetrieben ist in der Praxis nicht auszuschliessen. Die Fluxe sind daher notwendig, um die Metalloxyde aufzuschliessen und die verschmutzten Metalloberflächen zu beizen. Die Lötmittel und Fluxe sind so zu wählen, dass sie in ihren möglichen Folgereaktionen den Anforderungen entsprechen, die man an das verlötete Gerät stellen muss. Früher galt allein das korrosionssichere Reinkolophonium als unschädliches Beizmittel. Man sprach von einem säurefreien Lötmittel. Dieser Irrtum soll einmal grundsätzlich behandelt werden.

Es gibt überhaupt kein säurefreies Beizen bei der Herstellung von Weichlötverbindungen. Auch reines Naturkolophonium enthält ungefähr 95 % Abietinsäure. Die Ungefährlichkeit des Kolophoniums basiert also nicht auf dem nicht vorhandenen Säurecharakter, sondern darauf, dass die Beizreaktion und die entsprechenden Korrosionen nach erfolgter Weichlötung nicht auftreten. Auch andere organische Säuren sind — wie die im Kolophonium enthaltene Abietinsäure — brauchbar. Anderseits ist die Verwendung von Lötpasten, bei denen im Anlieferungszustand auch nicht die Spur einer Säure nachgewiesen werden kann, oft Anlass zu massiven Korrosionserscheinungen an den damit hergestellten Lötverbindungen. Es hängt dies damit zusammen, dass die sog. säurefreien Lötpasten Salze, z. B. der Salzsäure ent-

halten, wobei sich erst durch die thermischen Auswirkungen bei der Lötung in Verbindung mit der Luftfeuchtigkeit Säurespuren bilden. Tabelle I zeigt einige mögliche chemische Reaktionen einer chlorhaltigen Substanz, die Kolophonium zugesetzt worden ist.

Chemische Reaktionen einer chlorhaltigen Aktivierungssubtanz in Kolophonium

Tabelle I

NH_4Cl	$\rightleftarrows NH_3$	$+ \mathbf{HCl}$	
$CuO + 2HCl$	$= CuCl_2$	$+ H_2O$	
$CuCl_2 + H_2Co_3$	$\rightleftarrows CuCo_3$	$+ \mathbf{2HCl}$	
$CuO + 2HCl$	$= CuCl2$	$+ H_2O$	
$CuCl_2 + H_2S$	$= CuS$	$+ \mathbf{2HCl}$	
$Cu + 2HCl$	$= CuCl_2$	$+ H_2$	
$CuCl_2 + H_2Co_3$	$\rightleftarrows CuCo_3$	$+ \mathbf{2HCl}$	

Für den Betriebsingenieur muss es darum gehen, ein Flussmittel zu finden, das für das herzustellende Gerät nachträglich Korrosionen ausschliesst. Hersteller von Röhrenlötzinn fanden ausser dem Kolophonium stärkere Beizmittel, die dem Kolophonium im Lötdraht beigefügt werden. Diese sog. Aktivatoren unterstützen die Beizwirkung wesentlich, wobei einige derselben korrosionsmässig ungefährlich sind. Die Fabrikanten geben die nähere chemische Zusammensetzung dieser Flussmittel nicht bekannt und dem Praktiker bleibt in dieser Hinsicht nichts anderes übrig, als sich auf diejenigen Fabrikate zu verlassen, die z. B. von den Behörden (Postverwaltung, Bahnunternehmungen, militärische Dienststellen) geprüft und zugelassen wurden, um nicht selbst langwierige Testversuche durchführen zu müssen.

1.4 Waschen von Lötstellen

Es sei hier darauf hingewiesen, dass die naheliegende Idee, eine Lötstelle vorerst mit stark beizenden Flussmitteln herzustellen, und sie nachher durch das Waschen mit Alkohol von den Resten des Fluxes zu befreien, keineswegs empfohlen werden kann. Die schärfer beizenden und korrosionsgefährlichen Aktivatoren haben fast immer eine um einige Potenzen schlechtere Lösungsgeschwindigkeit im Waschmittel. Nehmen wir an, es sei dem Kolophonium ein geringer Prozentsatz von Aktivatoren zugesetzt, die in der feinen Verteilung keine nachträgliche Korrosion bei normalen atmosphärischen Bedingungen bewirken. Dieser Zustand ändert sich, nachdem man die Lötstelle gewaschen hat. Das Waschmittel, meist auf Alkoholbasis, löst das Kolophonium unmittelbar auf, während der korrosionsgefährliche Aktivator nicht aufgelöst, sondern nur fortgeschwemmt wird. Reste des Waschmittels bleiben immer an irgendwelchen unzugänglichen Stellen hängen, wobei der Alkohol verdunstet und der konzentrierte Aktivitator am Schluss allein übrigbleibt. Damit wird die Korrosionsgefahr mehrfach erhöht.

2. Löttemperatur

2.1 Die ideale Löttemperatur

Die Arbeitstemperatur bei der Lötung ist von zwei Gesichtspunkten aus zu betrachten. Die bekannten kalten Lötstellen sind zu vermeiden, aber es darf auch keinesfalls eine Überhitzung eintreten, die auf längere Sicht noch weit gefährlicher ist. Bei der klassischen Art der Lötung ist die Arbeitstemperatur gleich der Lötspitzentemperatur. Aus Fig. 4 könnte man den Schluss ziehen, zwecks Erzielung von sehr kurzen Lötzeiten die Lötspitzentemperatur sehr hoch zu wählen. Lötstellen, die aber bei sehr hohen Temperaturen ausgeführt werden, haben sehr schlechte mechanische und korrosionsmässige Eigenschaften, die rein optisch auch nicht ohne weiteres erkannt werden können. Beim Überhitzen des Lötzinns entstehen Zinn- und Bleioxyde, die sich in der Schmelze lösen und in der Lötstelle eingeschlossen bleiben. Auch das Kolophonium, das übermässig erhitzt wird, verbrennt und die Ascherückstände bleiben zum Teil in der Lötstelle eingeschlossen. Solche überhitzten Lötstellen reagieren auf Erschütterungen mit einer sehr kurzen Lebensdauer. Gegenüber schädlichen atmosphärischen Einflüssen sind sie sehr labil. Aus Untersuchungen im Laboratorium und in der Praxis kann man als ideale Lötspitzentemperatur den Bereich zwischen 330 bis ca. 400 °C festlegen. Um dieselbe bei der klassischen Lötarbeit einzuhalten, ist die Wahl des geeigneten Lötgerätes sehr wichtig.

2.2 Wahl des Lötgerätes

Während der Lötungen schwankt die Temperatur an der Lötspitze. Nach einer Erholung in der Lötpause sinkt sie während der Lötung ab. Die Grösse dieser Schwankung hängt von der Zahl und dem Wärmebedarf der einzelnen Lötstellen ab, die pro Minute hergestellt werden (Fig. 5).

Es wurden mit einem Lötgerät Lötungen durchgeführt und die Temperatur an der Lötspitze 4 mm hinter der Lötfinne mittels eines Thermoelementes gemessen, das sich in einem Loch von 1,2 mm ⌀ und 2,5 mm Tiefe befand. Das Lötgerät hatte am Anfang eine Lötspitzentemperatur von 400 °C. Bestimmte fortlaufende Lötungen liessen die Temperatur nach ca. 10 Lötungen unter 300 °C sinken. Ein anderes Lötgerät gleicher Leistung am gleichen Arbeitsplatz eingesetzt, war dagegen in der Lage, die gleichen Lötungen auszuführen, ohne dass die Temperatur unter die kritischen 300 °C gesunken wäre. Solche Messkurven geben dem Praktiker Hinweise, das geeignetste Lötgerät auszuwählen, das in der Konstruktion und in der Wärmeleistung einem bestimmten Arbeitsplatz am besten entspricht. Treten

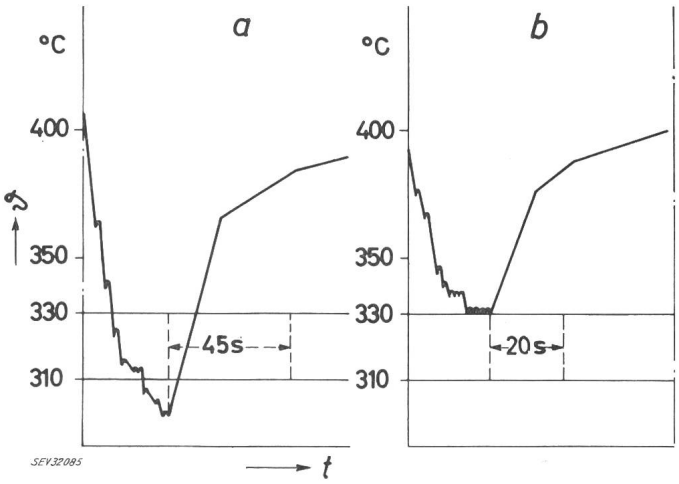

Fig. 5

Messkurve eines 40-W-Lötkolbens

a bei fortlaufender Lötung. Die kritische Zone liegt bei 330 °C und ist besonders gekennzeichnet

b bei unterbrochener Lötung mit einer Erholungszeit von nur 20 s

t Zeit; *ϑ* Temperatur

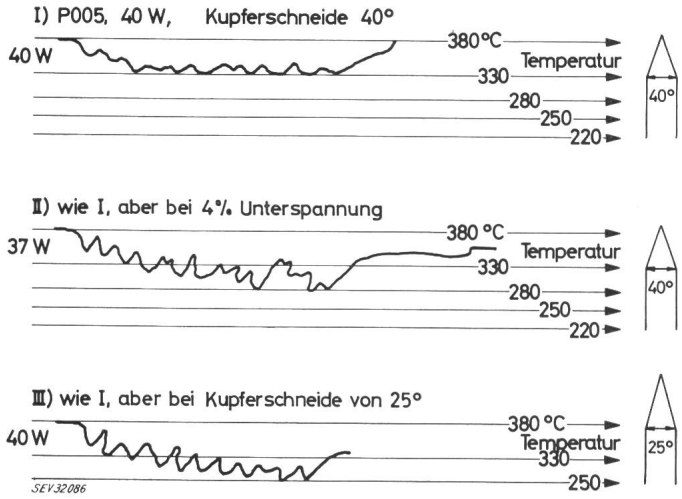

Fig. 6
Temperaturmessungen an Lötspitzen bei 12 Lötstellen

nach solchem Vorgehen am gleichen Arbeitsplatz wiederum nicht einwandfreie Lötstellen auf, so lassen sie sich meist auf zwei nicht genug beachtete, aber in ihrer Auswirkung sehr wichtige Faktoren zurückführen. In erster Linie ist es die Netzspannung in einem Industriebetrieb, die nicht immer die volle Nennspannung aufweist. Bereits ein geringes Sinken der Netzspannung in der Grössenordnung von 4 % kann die Arbeitsleistung eines Lötgerätes untragbar vermindern. Der zweite Faktor ist darin zu suchen, dass die Lötkolbenspitze unzweckmässigerweise so flach zugespitzt wird, dass ein genügender Wärmetransport überhaupt nicht möglich ist. Ein Werkstattchef, der unter gar keinen Umständen dulden würde, dass man z. B. für eine Stromstärke von 100 A einen Kupferdrahtdurchschnitt von 1 mm zulässt, findet nichts Unlogisches in der Massnahme, den Lötkolbenkupfereinsatz so flach zu schmieden oder zu feilen, dass die Heizleistung des Lötgerätes und die damit zur Verfügung stehende Wärmemenge überhaupt nicht zur Lötspitze transportiert werden kann. In Figur 6 sind die Temperaturmesskurven am gleichen Arbeitsplatz mit dem gleichen Lötgerät dargestellt, woraus die eben geschilderten nachteiligen Folgen gut ersichtlich sind.

2.3 Temperaturgeregelte Lötkolben

Der Gedanke liegt nahe, Lötkolben mit automatischer Temperaturregulierung einzusetzen, um mit der gewünschten, stets konstanten Löttemperatur zu arbeiten. Leider lässt es sich nicht verwirklichen, eine trägheitslose Temperaturregulierung in ein Lötgerät einzubauen. Aus praktischen Gründen kann der Wärmefühler, z. B. ein Thermoelement, nicht in die Kupferspitze selbst eingebaut werden. Auch beim Regulieren der Heizleistung ist mit einer Reaktionszeit zwischen der erhöhten Temperatur am Ort der eingebauten Lötkolbenheizung bis zur erhöhten Temperatur an der Lötkolbenspitze zu rechnen. Man kann sagen, dass auch bei zweckmässigster Konstruktion die allein wichtige Lötspitzentemperatur innerhalb der Lötzeit von einigen Sekunden niemals durch die Temperaturregulierung erfasst wird. Die Lötspitzentemperatur und Regulierung arbeiten nicht in Phase, sondern die Vorgänge überkreuzen sich. Als Mittel für eine Temperaturbegrenzung lassen sich dagegen temperaturgeregelte Lötkolben mit gutem Erfolg einsetzen.

3. Veredelung von Lötteilen

3.1 Vorverzinnung

Ein sehr brauchbares Mittel, die Lötzeit zu verkürzen, besteht darin, das zu verlötende Material in grossen Serien rationell vorzuverzinnen. Durch Überziehen der zu lötenden Bestandteile mit edlerem Metall kann die Lagerfähigkeit derselben bedeutend vergrössert werden. Das naheliegende galvanische Verfahren birgt gewisse Gefahren in sich, da in vielen Fällen der aufgetragene Metallfilm nicht den richtigen Kontakt mit dem Grundmetall hat. Bei einer Lötung findet zwar eine Legierungsbildung zwischen dem Lötzinn und der galvanischen Schicht statt, aber eine zuverlässige Reaktion mit dem Grundmetall ist dabei nicht entstanden. Im Gegenteil — durch die Erwärmung während des Lötprozesses kann die Haftung zwischen der galvanisch aufgetragenen Schicht und dem Grundmetall verschlechtert werden.

Ein häufig auftretender Fehler ist darauf zurückzuführen, dass sich die galvanische Anstalt durch die Terminnot gezwungen sieht, die zu veredelnden Teile mit erhöhter Badspannung forciert zu galvanisieren. Ein besseres Verfahren ist die Feuerveredelung und die Sudversilberung, da hier bereits Reaktionen und Diffusionen mit dem Grundmetall entstehen. Ganz besonders ist das Tauchzinnbad für die Vorverzinnung der Bestandteile zu empfehlen. Die vorverzinnten Bestandteile sind gegenüber einer Oxydation besser geschützt und haben überdies die nachherige Lötung zu einem Teil bereits vorweggenommen, denn die Diffusion zwischen Lötzinn und Grundmetall ist bereits erfolgt.

3.2 Vorverzinnung mit Reinzinn

Höchste Anforderungen in dieser Hinsicht erfüllen die Tauchverzinnungen unter Verwendung von reinem Zinn. Die Legierung 60/40 gestattet zwar die Bildung einer löthindernden Oxydhaut nur sehr langsam, aber mit der Zeit ist die aufgetragene Schicht doch durchoxydiert. Die im Tauchverfahren aufgetragene Reinzinnschicht dagegen besitzt die wertvolle Eigenschaft, dass bei normaler Atmosphäre eine gewisse Passivierung eintritt. Unter der oberen Zinnoxydschicht bleibt Reinzinn erhalten. Wird an einem derart veredelten Bestandteil später die Lötung eingeleitet, so reisst die Zinnoxydhaut auf und wird abgeschwemmt. Die Lötreaktion kann leicht vonstatten gehen.

3.3 Schutzlackierung

Eine neuere Technik ist die Verwendung von Lötschutzlacken. Diese Lacke, mit dem Pinsel aufgetragen, angesprüht oder getaucht, schützen Metallteile vor der Oxydation. Bei der Lötung zerfällt der Lack und wirkt sogar lötunterstützend.

4. Neue Materialien für die Weichlöttechnik

4.1 Kupferschutzlot

Den Praktiker werden sicher folgende, in den letzten Jahren bekanntgewordene neue Materialien der Weichlöttechnik interessieren. Es ist als erstes das Kupferschutzlot zu erwähnen, das in der weichlötenden Industrie das normale Lötzinn zum grossen Teil abgelöst hat. Die technischen Vorteile dieses Kupferschutzlotes bestehen darin, dass die Kupferspitze eines Lötkolbens vom Lötzinn nur noch zu einem Bruchteil wie bei der Verwendung von normalem Lot ausgefressen wird.

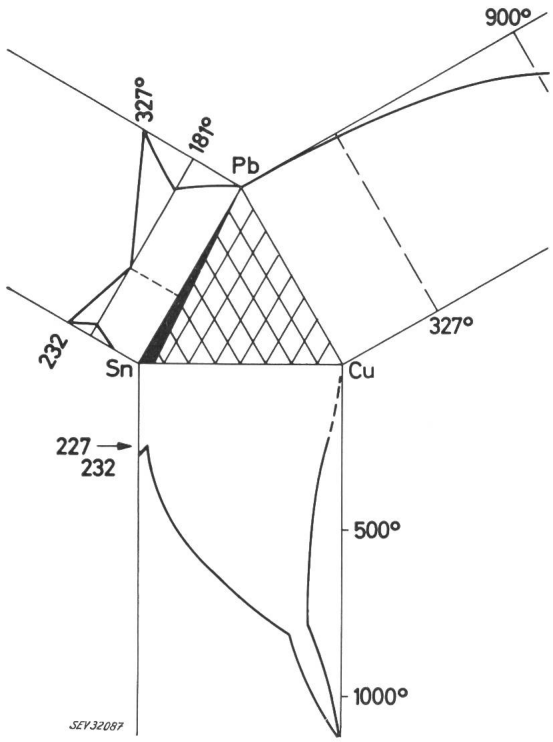

Fig. 7
Zustandsdiagramm einer Kupferschutzlot-Legierung

Während man früher Kupferspitzen selber durch Legieren mit anderen Metallen oder durch Überzüge in der Standzeit zu verbessern trachtete, nahm man den Nachteil schlechter Wärmeleitfähigkeit in Kauf. Durch die Verwendung des Kupferschutzlotes erreicht man heute, dass das Nachfeilen, das Nachschmieden bzw. der Ersatz der Kupferspitze 8... 15mal weniger durchgeführt werden muss, als es bisher der Fall war. Diese günstige Eigenschaft des Kupferschutzlotes beruht darauf, dass in der Lötzinnlegierung ausser 60 % Zinn der Rest aus Blei und einigen Prozenten Kupfer besteht. Dieses Kupfer muss im Prozentgehalt sowie in der Verteilung im Lötzinn äusserst präzis verarbeitet sein. Fig. 7 zeigt das Diagramm der Kupferschutzlegierung.

Die Dreistofflegierung Kupfer-Zinn-Blei sieht man in einem Dreieck-Diagramm, in welchem die einzelnen Liquiduskurven zwischen Zinn und Blei, Blei und Kupfer sowie Zinn und Kupfer dargestellt sind. Bei der Legierung Zinn und Kupfer bildet sich ein Eutektikum bei 227 °C bei ca. 1 % Cu und 99 % Zinn. Bei der Kupferschutzlot-Legierung geht man bei der Herstellung nicht von der reinen Form von Zinn und Blei aus, sondern benützt als Komponente das Zinn-Kupfer-Eutektikum mit der anderen Komponente Blei. In Fig. 8 wird die Ablösung von Kupfer in Lötzinn durch Normal- und Kupferschutzlot gezeigt.

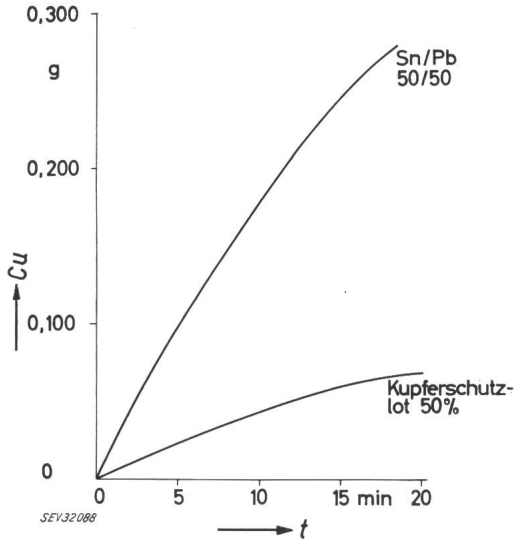

Fig. 8
Ablösung von Cu in Lötzinn 50/50 und Kupferschutzlot 50 % bei 320 °C in 15 g Lötmetall
t Zeit

4.2 Lötzinn mit plastischer Kolophoniumfüllung

Eine andere Neuentwicklung der Industrie kann bei der Fabrikation von sehr engen Verdrahtungen eine grosse Erleichterung bedeuten. Bei der heute gedrängten Bauweise sind Relais- und Schalterkontakte oft in unmittelbarer Nähe der Lötstelle. Das nach der Lötung verbleibende Kolophonium trocknet an den Rändern ein, wird mit der Zeit spröde und fällt in Form von Splitterchen in das Gerät. Es kann leicht vorkommen, dass solche Kolophoniumsplitterchen zu Kontaktstörungen in Relais und Schaltern führen. Ein neues, plastifiziertes Kolophonium vermeidet diesen Nachteil, da es auf Grund seiner Zusammensetzung plastisch bleibt und auch bei den Belastungen durch Temperaturschwankungen nicht abplatzen kann.

5. Vorfabrizierte Leiterplatten

5.1 Verdrahtungsplatten

Um die klassische Art der Verdrahtung, die sehr zeitraubend war, zu rationalisieren, sind einige neue Ideen der Industrie bemerkenswert. Auf dem Markt sind Kunststoffplatten erhältlich, bei denen die Leiterbahnen in Form von Kupferkaschierungen bereits mit einem Klebemittel aufgetragen sind. Die Platten haben auf der einen Seite parallele Kupferleiterbahnen, die mittels eines Spiralbohrers beliebig oft unterbrochen werden können. Die Komponenten des elektronischen Gerätes werden so montiert, dass sie sich selbst auf der anderen Seite der Leiterbahnen befinden, während die Anschlussdrähte durch bereits vorhandene Löcher geführt werden. Um eine gewisse mechanische Entlastung zu erreichen, biegt man die Drahtenden leicht um und kann die Kontakte mittels einer Lötung herstellen. Die Fig. 9 und 10 zeigen Vor- und Rückseite einer auf diese Weise fabrizierten Schaltplatte.

Eine andere Methode der rationelleren Herstellung ist die Benützung von Kunststoffplatten mit eingepressten Lötpilzen. Wiederum sind auf der einen Seite der Platte die Komponenten angeordnet, während die Anschlussdrähte durch die in der Platte befindlichen hohlnietenartigen Löt-

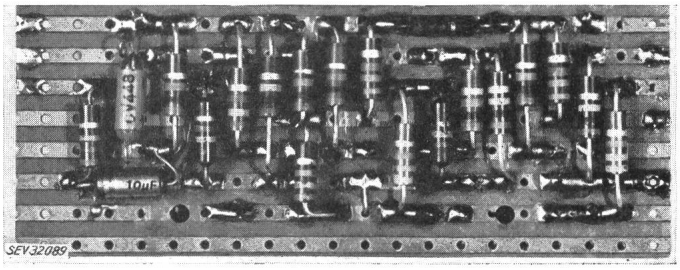

Fig. 9
Vorfabrizierte Leiterplatte
bestückt und verlötet

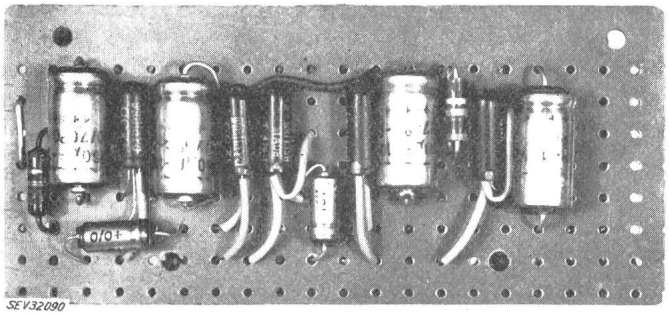

Fig. 10
Rückseite einer vorfabrizierten und bestückten Leiterplatte

pilze geführt sind. Auf der Rückseite wird nun die Verdrahtung in der klassischen Form ausgeführt.

Von einem grossen Elektrounternehmen ist eine automatische Verdrahtungsmaschine entwickelt worden, die es gestattet, die Verbindungsdrähte mit einem Gerät maschinell zu verlegen und auf der Platte zu fixieren. Es wird zuerst eine Verdrahtungsvorlage gezeichnet. Spannt man diese in die Maschine ein und bewegt den Koordinaten-Führungsstift auf den gezeichneten Leiterbahnen, so wird durch die Maschine ein Schaltdraht auf einer entsprechenden Kunststoffplatte verlegt und an den beiden Endpunkten durch eine Art Vernietung fixiert (Fig. 11).

Alle diese Verfahren kann man als Zwischenstufe zur Verwendung von der gedruckten Schaltplatte betrachten.

6. Gedruckte Schaltplatten

6.1 Allgemeines

Gedruckte Schaltplatten können heute als die Verdrahtungsart der Zukunft für elektronische Geräte betrachtet werden, da sie sich durch eine zeitsparende Fertigung auszeichnen und auch eine Gleichmässigkeit garantieren, wie sie die klassische Verdrahtung niemals erreichen konnte. Für die Lötverbindungen auf einer solchen gedruckten Schaltplatte (Fig. 12) mussten neue Untersuchungen durchgeführt

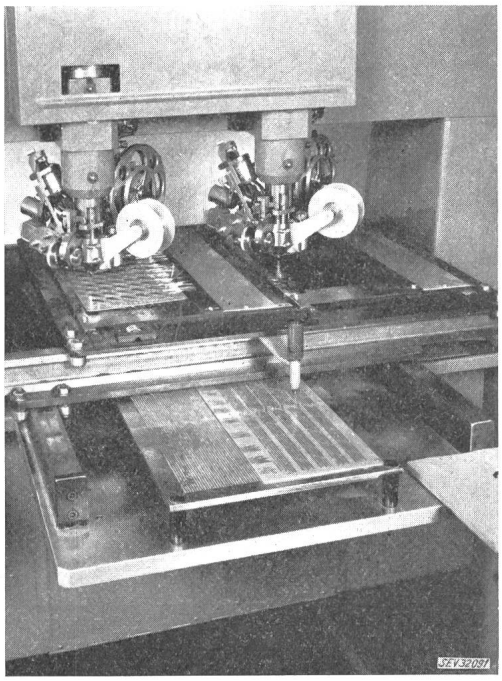

Fig. 11
Bedrahtungseinrichtung für geschriebene Schaltung

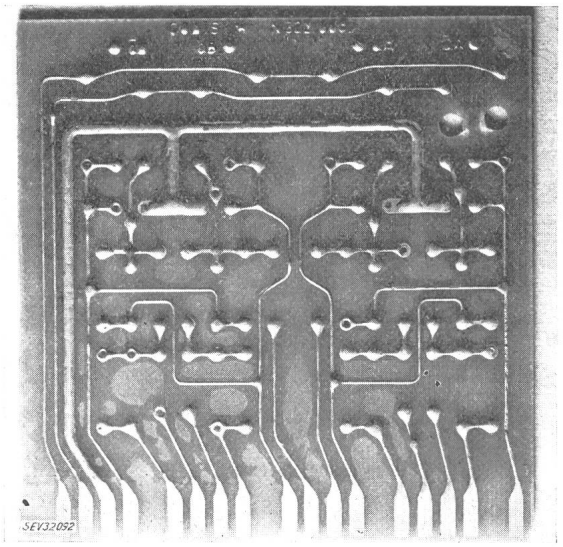

Fig. 12
Gedruckte und tauchverlötete Schaltplatte

werden, die die andersartigen Verhältnisse und Voraussetzungen berücksichtigen.

Während man früher die Meinung vertreten hatte, dass sich die gedruckte Schaltplatte erst in grösseren Serien in der Grössenordnung von 10 000 und mehr rentabel gestaltet, so hat die Praxis gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. Es hängt dies damit zusammen, dass die Herstellung der gedruckten Platten z. B. durch das Siebdruckverfahren auch für kleinere Serien finanziell tragbar geworden ist. Des weiteren ist der allgemeine Personalmangel in der Industrie ein zwingender Grund, die Fertigung immer mehr maschinell durchzuführen und den Anteil der von menschlicher Seite geleisteten Arbeit zu reduzieren. Unter Berücksichtigung aller bekannten Fehlerquellen kann gesagt werden, dass die Gleichmässigkeit der Lötverbindung auf der gedruckten Schaltplatte zumindestens gleich gut, wenn nicht noch besser ist, als die Lötverbindungen, die von Hand nach Art der klassischen Verdrahtung ausgeführt sind.

6.2 Handlötung

Handelt es sich um kleinere Serien von gedruckten Platten, so werden die Lötverbindungen mittels eines Lötgerätes von Hand hergestellt. Als Lötzinn wählt man hier mit Vorteil das Kupferschutzlot, diesmal nicht nur aus dem Grunde, um die Kupferspitzen des Lötgerätes zu schonen, sondern um auch zu verhindern, dass die nur 2...4 μm starken Kupferleiterbahnen vom Lötzinn angefressen werden könnten. Die Löttemperatur und Lötzeit müssen für Arbeiten auf der gedruckten Schaltplatte besonders genau beachtet werden. Auf der einen Seite darf der Kleber, mit dem die Leiterbahnen auf der Platte befestigt sind, nicht einer zu hohen Temperatur ausgesetzt werden, da er wärmeempfindlich ist. Anderseits ist die Gefahr der kalten Lötstelle ebenfalls vorhanden, so dass man mit Vorteil Lötgeräte wählt, deren Arbeitstemperatur sehr konstant ist. Es sind dies Lötkolben, die von der Konstruktion her eine sehr grosse Wärmeakkumulation besitzen. Die während der Erholungszeit des Lötkolbens in einem solchen Heizkopf gespeicherte Wärmemenge gestattet es, die Lötung mit einer verhältnismässig niedrigen Arbeitstemperatur einzuleiten, wobei dieselbe dann während dem Lötprozess nicht wesentlich sinkt.

6.3 Tauchlötung

Bei grösseren Serien in der Verwendung von gedruckten Schaltplatten ist die rationellere Herstellung der Lötverbindung die Tauchlötung. Bei der Einführung der Tauchlötung gedruckter Platten haben sich in der Praxis Probleme gezeigt, die für die Herstellung einwandfreier Lötverbindungen eine grosse Rolle spielen. Die ersten Überlegungen sind bereits bei der Planung der gedruckten Platte zu machen, wobei die Beachtung folgender Grundsätze die spätere Tauchlötung unterstützen. Die Leiterbahnen sollten untereinander einen minimalen Abstand von ca. 0,3 mm haben, wenn möglich grösser. Sie selbst können eine Breite von ca. 0,5 bis zu 1 mm haben, wobei darauf zu achten ist, dass bei der gleichen Schaltplatte die Breite der Leiterbahnen möglichst die gleiche ist. Sehr grosse Flächen, die man z. B. für Zwecke der Abschirmung benötigt, sind in ein Leiternetz aufzulockern. An den Punkten, wo Anschlussdrähte von Komponenten mit den Leiterbahnen verlötet werden, sind grössere Kupferflächen vorzusehen, am besten in Form von ringförmigen Anschlusspunkten. Mit Vorteil vermeidet man auch, dass mehrere Leiterbahnen senkrecht in einem Punkt zusammenlaufen. Fig. 13 zeigt eine nach diesen Grundsätzen entworfene gedruckte Schaltplatte nach der Tauchverzinnung.

6.4 Lötzeit und Löttemperatur

Für die Wahl der Tauchlötzeit und Temperatur müssen die Diagramme in Fig. 14 berücksichtigt werden. Die erste Kurve zeigt die Wärmeempfindlichkeit eines Klebers, welche zwar je nach Fabrikat schwankt, doch wird sich dieser charakteristische Verlauf immer einstellen. Die zweite Kurve

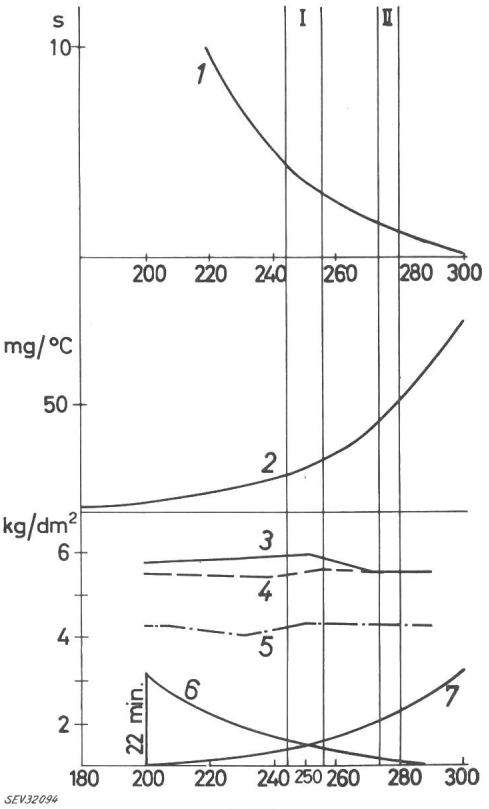

Fig.14

Tauchlötzeit und Temperatur

Kurve *1*: Wärmeempfindlichkeit des Klebers. Temperatur in Abhängigkeit von der Tauchzeit; Kurve *2*: Reaktionsgeschwindigkeit Kupfer-Lot in Abhängigkeit von der Temperatur/s; Kurven *3, 4* und *5*: Grenzflächenspannung. Lotschmelze/Temperatur; Kurve *6*: Zeitkurve für die Rückkehr von der niedrigsten Oberflächenspannung bis zur höchsten Oberflächenspannung; Kurve *7*: Oxydationsgeschwindigkeit

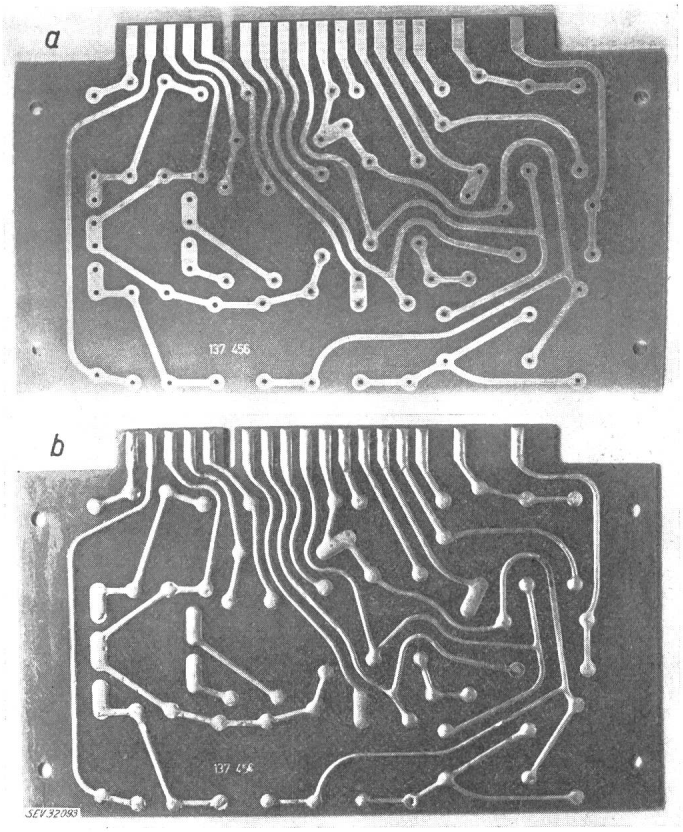

Fig. 13

Gedruckte Schaltplatte

a nach neuen Erkenntnissen entworfen; *b* wie in *a* nach der Tauchlötung

zeigt die Reaktionsgeschwindigkeit von Kupfer mit Lötzinn in Abhängigkeit der Temperatur. Kurve *3* zeigt die Werte der Oberflächenspannung eines Schmelzlotes nach je 1 h bei den angegebenen Temperaturen einschliesslich der sich bildenden Oxydhaut. Die Messung gibt als Werte die Oberflächenspannungen in kg/dm²/°C an. Kurve *4* zeigt die Oberflächenspannung wie in Kurve *3*, jedoch unmittelbar nach dem Abschäumen, also mit völlig blanker Oberfläche der Schmelze. Kurve *5* zeigt die Oberflächenspannung — besser gesagt Grenzflächenspannung — bei den verschiedenen Temperaturen, wenn die Oberfläche nach dem Abschäumen mit Kolophonium bestreut wird. Es gibt auch andere Substanzen, die diese Reduktion der Oberflächenspannung um ca. 30 % bewirken. Diese Substanzen besitzen jedoch gegenüber Kolophonium gewisse Nachteile, und da sie keine stärkere Reduktion der Oberflächenspannung als Kolophonium bringen, kann deren Anwendung nicht empfohlen werden. Sogar einige stark aktivierte Kolophoniumfüllungen von bekannten Röhrenlötzinnen lassen keine stärkere Reduktion der Oberflächenspannung erzielen. Kurve *6* zeigt die Zeitkurve in Abhängigkeit von der Temperatur, die den Zeitbedarf für die Rückkehr von der niedrigsten bis zur höchsten Oberflächenspannung angibt. Kurve *7* zeigt reziprok die Oxydationsgeschwindigkeit der Oberfläche der Metallschmelze in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Kurven *3, 4* und *5* zeigen weitgehend den Reaktionsmechanismus der Oxydation von Lotschmelzen.

Betrachtet man nun die verschiedenen Kurven, die nach dem gleichen Temperaturverhältnis gezeichnet sind, so kann

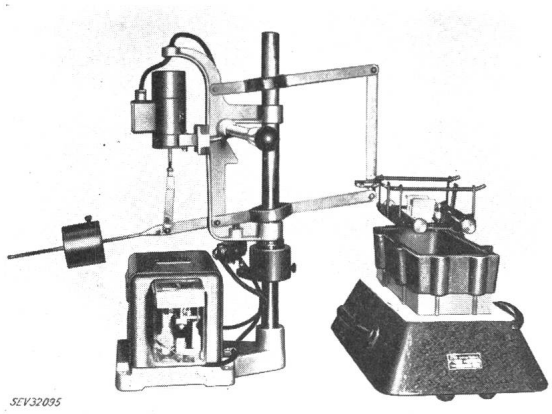

Fig. 15
Halbautomat für die Tauchlötung gedruckter Schaltplatten

man das Gebiet, in welchem die Tauchlötung von gedruckten Schaltplatten erfolgt, in die eingezeichnete Zone bringen. Es wird damit berücksichtigt, dass sich in diesem Bereich der Kleber nicht löst, eine genügend grosse Reaktionsgeschwindigkeit von Kupfer und Lötzinn erzielt wird, und die Oberflächenspannung keinen zu hohen Wert annimmt.

Aus dem Verlauf der verschiedenen Kurven ergibt sich für den Praktiker die Forderung, dass für die serienmässige Tauchlötung gedruckter Schaltplatten die einmal festgelegte Temperatur sowie die Tauchzeit zur Herstellung qualitativ gleichmässiger Lötverbindungen ziemlich genau eingehalten werden muss. Das Tauchbad als solches muss daher eine ziemlich trägheitslose automatische Temperaturregulierung besitzen und ein homogenes Wärmebild über die ganze Oberfläche des Bades aufweisen. Insbesondere ist ein solches Tauchbad daraufhin zu kontrollieren, dass zwischen der Mitte des Bades und der Randzone praktisch kein Temperaturabfall auftritt. Selbstverständlich trifft dies nicht für die von der gedruckten Schaltplatte nicht benützte Randzone von vielleicht 2 cm zu. Die Temperaturregulierung über die gesamte Oberfläche sollte in der Regel nicht mehr als $\pm$ 3... 5 °C betragen.

6.5 Manuelle Tauchlötung

Die einfachste und für kleinste Serien durchaus sehr brauchbare und verbreitete Art der Tauchlötung besteht darin, dass die bestückte Schaltplatte in einen Halter eingespannt und von Hand nach dem Abschäumen des Tauchbades über die Zinnoberfläche geführt wird. Dieses Verfahren wird in kleinen und mittleren Betrieben in Europa sowie in Amerika mit Erfolg angewendet.

6.6 Halbautomatische Tauchlötung

Will man von der Zuverlässigkeit des Personals weniger abhängig sein, so sind Halbautomaten für die Tauchlötung zu empfehlen. In Fig. 15 ist ein Halbautomat dargestellt, der folgende Funktionen ausübt und diese nicht mehr der bedienenden Person überlässt. Durch ein Thermostat kann das Tauchbad mit einer Genauigkeit von $\pm$ 3 °C einreguliert werden. Die gedruckte Platte wird in einen Halter gespannt und mittels eines Handgriffes über das Tauchbad geschwenkt. In dieser Stellung senkt sich die Platte automatisch auf die Oberfläche der Zinnschmelze, wobei die Fallgeschwindigkeit mittels eines Gegengewichtes und einer Luftbremse in einem Hebemagnet eingestellt werden kann. Gleichzeitig wird eine Schaltuhr in Betrieb gesetzt, die auf eine bestimmte Tauchzeit eingestellt werden kann. Ist dieselbe abgelaufen, hebt sich durch Einschalten eines Magneten die gedruckte Schaltplatte von der Zinnschmelze ab. Es empfiehlt sich, die Platte über die Zinnoberfläche zu bewegen, was man auch «Wischen» nennen kann. Daher ist dieser Halbautomat als sog. Tauchlötwischmaschine bekanntgeworden.

6.7 Automatische Tauchlötung

Für die vollautomatische Tauchlötung grosser Serien von Schaltplatten haben sich zwei Verfahren durchgesetzt:

6.7.1 Fliesslötverfahren

Dieses Verfahren ist als Flowsoldering speziell in England bekannt geworden. Diesem Verfahren liegt die in der Fig. 16 dargestellte Idee zu Grunde. Es wird hier durch eine Pumpe eine sog. Lötwelle erzeugt, bei der praktisch ständig metallisch reines, geschmolzenes Lötzinn in einer Welle heraufsprudelt. Die gedruckte Platte wird dann automatisch über diese Lötwelle geführt, wobei die Leiterbahnen mit der flüssigen Metallschmelze in Verbindung kommen. Ein ganz ähnliches Verfahren ist die Schwallötung, die sich im Prinzip nur dadurch unterscheidet, dass anstatt einer Lötwelle ein Lötschwall in einer Richtung durch eine Pumpe erzeugt wird. Auch über diesen Schwall wird dann die Platte automatisch geführt. Ein mit Lötzinn frisch beschicktes Bad ergibt ausgezeichnete Resultate. Der bei diesem Verfahren bestehende Vorteil, dass man die Kupferleiterbahnen an eine praktisch oxydfreie, metallisch reine Lötzinnschmelze heranführt, wird allerdings mit einem Nachteil erkauft. Es ist bekannt, dass jede Zinnschmelze nicht nur an der Oberfläche oxydiert, sondern sich auch die Oxyde in der Schmelze lösen und mit der Zeit das Lötzinn derart mit Zinn- und Bleioxyden anreichern, dass dasselbe für die einwandfreie Legierungsbildung nicht mehr verwendbar ist. Dieser Vorgang ist bei einem stehenden Tauchbad praktisch vernachlässigbar, während ein Lötschwall oder eine Lötwelle eine äusserst forcierte Oxydation der gesamten Schmelze bewirkt. Daher muss man in der Praxis damit rechnen, dass der Anfall der Schlacken ein Mehrfaches von dem ist, als wenn das Bad im Ruhezustand verbleiben würde. Eine Verbesserung des Verfahrens hinsichtlich der Oxydation ist dadurch möglich, dass man die Entstehung der Welle oder des Schwalls zeitlich so steuert, dass die Pumpe nur dann arbeitet, wenn die gedruckte Schaltplatte benetzt werden muss.

Auch ist der ideale Zustand, dass die Berührungsfläche der Lötwelle oder des Schwalles unter der gedruckten Platte immer die gleiche Form, oder was noch wichtiger ist, die gleiche Breite aufweist, nicht erreichbar und vor allem nicht kontrollierbar. Da die gedruckte Schaltplatte mit gleichblei-

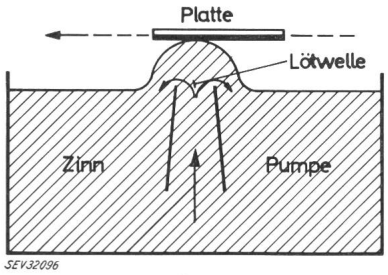

Fig. 16
Flowsolder-Verfahren

bender Geschwindigkeit über die Lötwelle oder Schwall gezogen wird, wäre bei einer definierten Berührungsfläche auch eine gleichbleibende Zeit für die Legierungsbildung des Lotes mit den Leiterbahnen gewährleistet. In der Praxis erfolgt aber die Benetzung in einer ständig wechselnden Fläche, die teilweise Einschnürungen, teilweise Ausbuchtungen besitzt, wodurch einige Lötverbindungen bis zu einem Drittel weniger Zeit zur Legierungsbildung haben als andere.

6.7.2 Schlepplötverfahren

Das zweite Verfahren, die Schlepplötung, versucht diese Nachteile auszuschalten. Bei dieser Anordnung befindet sich die Zinnschmelze praktisch im Ruhezustand, während die gedruckte Schaltplatte über die Zinnschmelze bewegt wird. Vor dem Halter für die gedruckte Schaltplatte ist noch ein Zinnoxydabstreifer angeordnet, der bewirkt, dass die Leiterbahnen bei diesem Verfahren ebenfalls nur direkt mit der reinen Zinnoberfläche in Berührung kommen (Fig. 17). Ein Nachteil gegenüber dem ersten Verfahren besteht darin, dass die gesamte Anordnung des Lötbades viel Raum beansprucht.

Zur Beschickung von Tauchlötbädern, die nach dem Verfahren der Lötwischmaschine oder Schlepplötmaschine arbeiten, ist von der Industrie eine neue Art Lötzinnlegierung entwickelt worden. Wie man weiss, überzieht sich jede Schmelze in kurzer Zeit mit einer Oxydhaut, welche die Legierungsbildung zwischen Lötzinn und Kupferleiterbahn hemmt. Diese Sonderlegierung hat nun die wertvolle Eigenschaft, dass die Oxydationsgeschwindigkeit nach dem Abschäumen der Schmelze wesentlich geringer ist als bei einem normalen Lot. In Fig. 18 ist die Oxydationsgeschwindigkeit in ihrem Verlauf von normaler Lötzeit bei verschiedenen Temperaturen dargestellt, während die gestrichelte Kurve den Verlauf der Oxydation bei Verwendung der Sonderlegierung zeigt.

Die Oxydation der Schmelzoberfläche wurde im Lichtreflexverfahren gemessen, wobei sich die Massangabe Ohmscher Widerstände der Selenzelle erklärt. Nachfolgend sei der Arbeitsablauf beschrieben, der heute — wenn auch mit einigen Varianten — bei der Verwendung gedruckter Schaltplatten in der Industrie üblich ist.

6.8 Schutz-Lackierung von gedruckten Schaltplatten

Die gedruckten Schaltplatten werden entweder von einem Hersteller bezogen oder auch im Betrieb selbst hergestellt.

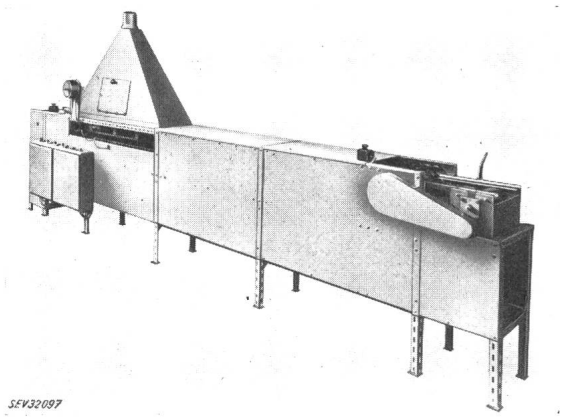

Fig. 17
Schlepplötmaschine für automatische Tauchlötung gedruckter Schaltplatten

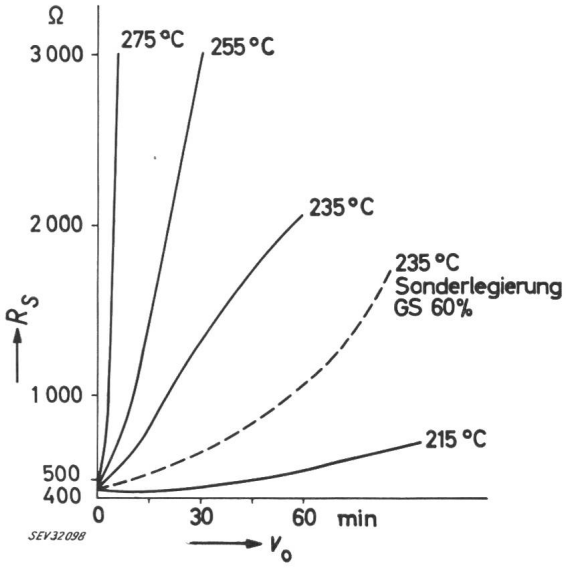

Fig. 18
Oxydationsgeschwindigkeit v_0 von Sn-Pb 60—40 % im Lichtreflexverfahren gemessen
R_S Ohmscher Widerstand der Selenzelle

Diese sind, um die Oxydation der Leiterbahnen und eine Beschädigung derselben zu vermeiden, mit einem Schutzlack überzogen. Dieser hat die Eigenschaft, dass er sich bei einer späteren Tauchlötung durch die Wärme auflöst und die Lötung unterstützt. Auf jeden Fall ist darauf zu achten, dass die Lackschicht nicht zu dick aufgetragen wird, sondern höchstens eine Stärke von ca. 2 μm aufweist. Im anderen Fall benötigt man für die Auflösung der Schicht bei der Tauchlötung eine derart grosse Zeitspanne, dass für die übrigen Reaktionen während der Lötung nicht genügend Zeit zur Verfügung steht. Die angelieferten Platten werden nun teilweise automatisch und teilweise von Hand mit den notwendigen Komponenten bestückt.

Die auf der Leiterbahn herausstehenden Drahtenden werden zur mechanischen Halterung der Komponenten zweckmässigerweise etwas abgebogen und in ca. 3...5 mm Distanz von der Platte abgeschnitten. Mit einem Pinsel oder auch mit der Sprühpistole wird das Flussmittel auf die zu lötende Seite der gedruckten Platte gebracht. Im Anschluss daran wird die Lötung entweder von Hand oder mittels des beschriebenen Halbautomaten oder auch vollautomatisch verlötet. Eine nachträgliche Kontrolle sowie die Korrektur einiger Lötverbindungen ist immer notwendig. Auch das nachträgliche Auftragen einer Schutzlackschicht ist zu empfehlen.

Literatur

[1] *Lewis, W. R.:* Notes on Soldering. London: Tin Research Institute 1959.

[2] *Laubmeyer, G.:* Aktuelle Probleme der industriellen Weichlötung. Arolsen, 1960.

[3] *Künzler, H.* und *H. Bohren:* Untersuchungen an Feinlötstellen. Techn. Mitt. PTT 32(1954)9, S. 329...351.

Adresse des Autors:
Alexander Baumann, Sauber & Gisin AG, Höschgasse 45, Zürich 8/34.