

Dr. sc. nat. HANS-DIETER LANGER

Mitteilung aus der Sektion Physik/Elektronische Bauelemente der TU Karl-Marx-Stadt

Gegenwärtig kommt es vor allem darauf an, geeignete SMD-Bauformen zu realisieren. Die zweite Etappe wird dadurch gekennzeichnet sein, daß die Kennwerte und die Qualitäts- und Zuverlässigkeitsparameter verbessert werden. Zur Substitution der bedrahteten Kondensatoren für die Leiterplattenbestückung ist vor allem noch bei den elektrischen Nennparametern ein Nachholbedarf vorhanden. Die Darstellungen der verfügbaren Nennkapazitäts-Nennspannungsbereiche ( $C_N$ ,  $U_N$ ) der wichtigsten Kondensatorgruppen in den Bildern 8 und 9 sollen das unterstreichen. Auch bei den Verarbeitungsmöglichkeiten (Design, Verdrahtungsträgerkompatibilität, Bestückungsparameter, Standardisierung) sind Fortschritte notwendig. Erst die dritte Entwicklungsetappe wird im eigentlichen Sinne der Verbesserung der Schaltungseigenschaften, insbesondere im Nieder- und Mittelfrequenzbereich, gelten. Dessen ungeachtet waren schon allein die radikale Miniaturisierung und der Wegfall der Anschlußdrähte bei Einführung der SMD-Technik für die Anwender von HF-, Impuls- und schnellen Logikschaltkreisen von Nutzen (beträchtliche Reduzierung parasitärer Bahnwiderstände, Kapazitäten und Induktivitäten). Viele Anwendungsbereiche, z. B. die Kraftfahrzeugtechnik, die Medizintechnik und die Sensortechnik, sind so durch verringerte Abmessungen, erhöhte Funktionskomplexität, größere Robustheit der Baugruppen und Module entscheidend verbessert worden.

Als wesentliche Komponenten der Kosteneinsparung, auch trotz gegenwärtig noch hö-

herer SMD-Preise, sind die Verkleinerung und Verringerung der Durchführungen und Lagen bei Verdrahtungsträgern, die verringerten produktionsvorbereitenden Bestückungs- und Reparaturaufwendungen, die Einsparungen durch kleinere Gehäuse, weniger Steckverbinder und reduzierte Montagekapazitäten durch die Praxis akzeptiert. Man muß sich allerdings darüber im klaren sein, daß die positiven Kostenfaktoren im allgemeinen erst dann voll zur Geltung kommen, wenn zur Automatisierung und zur rechnergestützten Großserienfertigung, auch im SMD-Herstellerbereich, übergegangen wird.

#### 4. Zum Löten aus geometrischer Sicht

In der SMD-Technologie besteht ein viel engerer Zusammenhang zwischen den geometrischen Parametern der Bauelemente und den Entwurfsregeln für Leiterplatten, integrierte Schaltkreise und Gehäuse, als das bisher der Fall gewesen ist. Deshalb muß sich der Anwender möglichst frühzeitig mit den Fragen der geometrischen Kompatibilität von Bauelement, Verdrahtungsträger und Bestückungssystem beschäftigen. Eine besondere Bedeutung kommt den Problemen der Toleranzen zu. Man muß sich jedoch auch mit den Fragen der Form und Anordnung des Layout und der Positionierung, der Masse des Bauelementes und der Dosierung von Hilfsmitteln (Kleber, Flußmittel, Lot) auseinandersetzen.

Nach Bild 10a sitzt das normal kleberfixierte Bauelement mit seinen Anschlüssen direkt

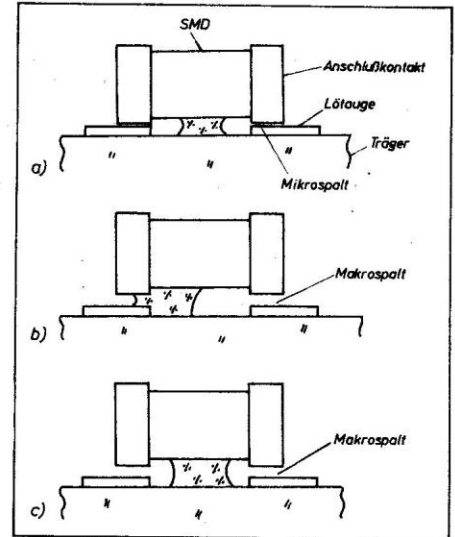


Bild 10: Normale und fehlerhafte Kleberfixierung. a) Normal; b) Kleberfehlerposition; c) Kleberüberdosierung

auf den Löt pads (Lötungen). Bei falscher Positionierung bzw. Überdosierung des Klebers können zwischen Anschlüssen und Lötungen Spalten auftreten, die das später zugeführte Lot nicht mehr überbrücken kann. Es liegt eine Unterbrechung vor. Es ist jedoch auch bei normaler Kleberfixierung ein Kapillarspalt wegen der endlichen Oberflächenrauigkeit und -porosität vorhanden, in den das Lot eindringen soll. Dazu benötigt es aber die entsprechende Konstitution und Zeit. Um gute Lötverbindungen zu erzielen,

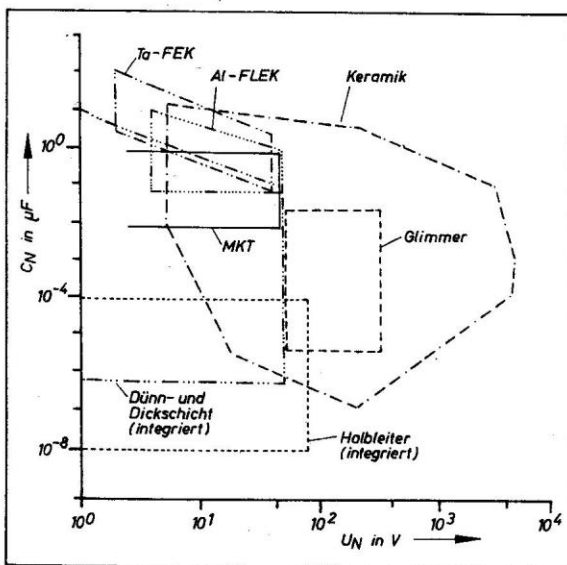


Bild 8: Kommerzielle  $C_N$ - $U_N$ -Spektren von Chip- bzw. integrierenden Kondensatoren

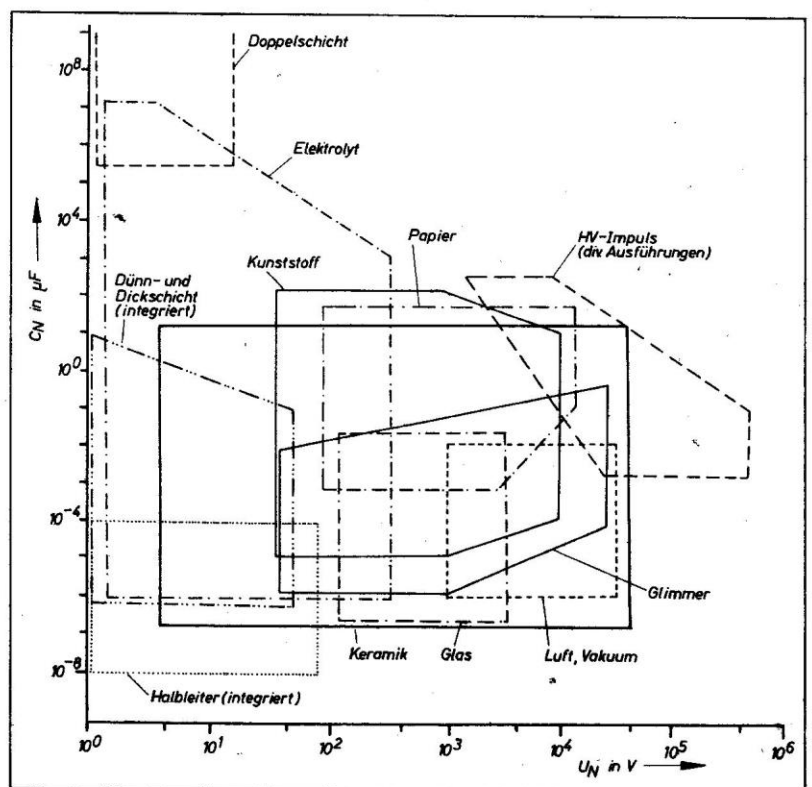
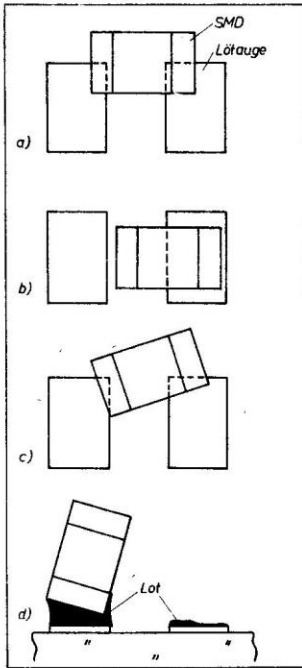
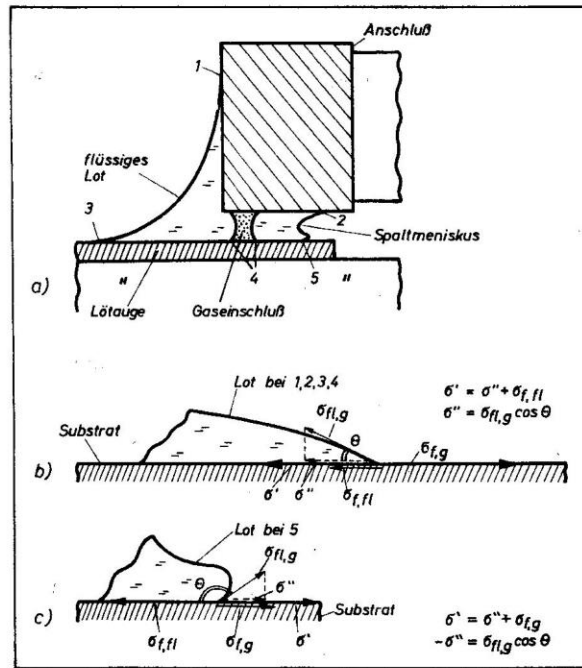


Bild 9: Kommerzielle  $C_N$ - $U_N$ -Spektren von bedrahteten Kondensatoren



11



12

**Bild 11:** SMD-Fehlpositionen. a) Translatorische Fehlpositionierung; b) Unterbrechung durch Translation; c) translatorische und rotatorische Fehlpositionierung; d) Unterbrechung durch Aufrichten des Chips  
**Bild 12:** Kapillarkräfte beim Lötén. a) Lötstelle; b) benetzende Zustände; c) entnetzender Zustand

sollte z. B. durch geeignete Kleberdosierung und Materialauswahl (z. B. gezielte Schrumpfung beim Kleberaushärten) sogar die Einstellung einer ganz bestimmten Spaltweite angestrebt werden.

Erfolgt die Fixierung des SMD durch das Lot selbst (z. B. Lotpastenauftrag und Eindrücken eines Bauteiles in die viskose Paste), so wird sich beim Aufschmelzen des Lotes ein Spalt entsprechend der jeweiligen physikalischen Situation gewissermaßen in-situ einstellen. Die dabei wirkenden Kräfte können dann trotz exaktem Aufsetzen die geometrischen

Verhältnisse entscheidend verändern. In der Praxis werden sich die SMD-, Layout- und Aufsetztoleranzen mit diesen Phänomenen überlagern.

Bild 11 zeigt einige der wichtigsten ungünstigen Fälle, wonach translatorische und rotatorische Effekte auftreten, die bis zu den Grenzfällen Kurzschluß oder Unterbrechung reichen. Man muß jedoch nicht nur primär die elektrische Stabilität im Auge haben, sondern auch an Spätausfälle im Betriebszustand denken (z. B. begrenzte Schwingungsbelastbarkeit in den Fällen nach Bild 11a und Bild 11c).

Die beim Lötén (ohne Kleberfixierung) hauptsächlich wirkenden Kräfte sind

- Kapillarkräfte, die durch Benetzung durch das flüssige Lot im Spalt, an den Anschlußseitenflächen, an den Löttaugenoberflächen und an Gaseinschlüssen (Flußmittel, andere organische Pastenkomponenten) wirken
- Schwerkkräfte (Bauelement und Lot)
- Auftrieb (Bauelement im Lot)
- Impulskräfte durch Lot- und Gasströmung.

Dazu kommen Scherkräfte (Schrumpfungen, Temperaturgradienten) und Drehmomente durch Unsymmetrien in der Kräftebilanz.

Bild 12 erläutert die Kapillarkräfte in einem stationären Zwischenzustand beim Lötén. Es wurde angenommen, daß an den Punkten 1 bis 4 benetzende und am Punkt 5 entnetzende Verhältnisse vorliegen. Dies wird durch Youngsche Darstellungen der grenzflächenenergetischen Beziehungen an den entsprechenden Lotzipfeln in den Bildern 12b und 12c erläutert. Es gehen ein die Grenzflächenenergien (fest – flüssig,  $\sigma_{f,fl}$ ; fest – gasförmig  $\sigma_{f,g}$ ), die Oberflächenspannung des Lotes ( $\sigma_{fl,g}$ ) und der Kontaktwinkel  $\theta$ . Am benetzenden Zipfel gilt

$$\sigma_{f,g} > \sigma_{f,fl} + \sigma_{fl,g} \cos \theta$$

und am entnetzenden

$$\sigma_{f,fl} < \sigma_{f,g} - \sigma_{fl,g} \cos \theta$$

$\sigma$  und  $\theta$  hängen vom Material und seinem Oberflächenzustand ab. Schlußfolgernd sind in der Tafel 3 den wirkenden Kräften die zu erwartenden Effekte und deren Hauptursachen gegenübergestellt.

### 5. Geometrische Anforderungen

Ausgehend vom gegenwärtigen Stand wird nachfolgend anhand einiger ausgewählter, möglichst durch einfache Beziehungen quantitativ untersetzter Aussagen die Problematik der Geometrieregeln diskutiert. Zweckmäßig aus der Sicht des Anwenders dürften Unterscheidungen nach technisch festgelegten geometrischen Größen, wie

- Abmessungen und Maßtoleranzen am Bauelement
- Layouttoleranzen
- Positioniertoleranzen der Verdrahtungsträger
- Positioniertoleranzen des Bestückungskopfes

und technologischen Erfahrungswerten sein, die aus dem Bestückungsprozeß resultieren:

- minimale und maximale Kleberhügelhöhe
- minimale Überdeckung von Bauelementeanschluß und Löttauge
- minimale Luftstrecke (z. B. Bauelementeanschluß – Löttauge auf der Gegenseite)
- minimaler seitlicher Bauelementemittenabstand (bzw. seitlicher Bauelementeabstand)
- Löttaugenform und -abmessungen
- Kleber-, Flußmittel- und Lotdosierung.

Aus der Übersicht in der Tafel 4 gehen die Abmessungsbereiche und die Längentoleranzen (Richtwerte) von Chipkondensatoren hervor, wie sie von zahlreichen Firmen mehr oder weniger einheitlich angegeben werden. Bei Tantal-Festelektrolytkondensatoren bestehen die geringen Abmessungen der be-

**Tafel 3:** Unerwünschte Effekte und Fehlerursachen beim Lötén

Wirkung	Effekt	Fehlerursache
Kapillarkräfte	Entnetzung	benetzungshemmende Oberflächen (Verunreinigungen, falsche Materialkombination Lot – Fügeteile, ungenügende Flußmittelwirkung, falsche Kleberdosierung bzw. -positionierung), unzureichendes Temperatur-Zeit-Produkt beim Lötén
	unzureichende Spaltfüllung	zu große Chipmasse, unzureichendes Temperatur-Zeit-Produkt beim Lötén, zu viel Flußmittel, Entnetzung im Spalt
	Drehmomente (horizontale Translationen, Chipaufrichtung)	Lotmasse bzw. Chipform bzw. -lage unsymmetrisch, zu viel Flußmittel bzw. Lot, ungünstige Löttaugengeometrie
Schwerkraft	Entnetzung	zu große Löttaugenbreite, falsche Lötstopp-Lackanordnung
	Spaltverschluß	zu große Chipmasse
	Chipaufrichtung	zu kleine Chipmasse, zu hoch liegender Chipschwerpunkt
Auftrieb	Schwimmeffekte	spezifische Dichte des Chips zu klein, spezifische Dichte des Lotes zu groß, zu viel Flußmittel
	Drehmomente	Unsymmetrien (Lotdosierung bzw. -positionierung, Lötstopp-Lackpositionierung, Anschlußbaugelanlayout, Temperaturfeld, Transportschwingungen)
Gasblasen- Impulskräfte	Drehmomente, Translationen	unsymmetrische Temperaturfelder, Flußmittelstatus, zu breite Anschlußpfade, zu kleine Chipmasse
	Lotbrücken	Lot- bzw. Flußmittelüberdosierung, Layoutfehler (zu geringe Pfad- bzw. Pfad- und Unterkreuzungsabstände)
Scherkräfte	Translationen	Temperaturunsymmetrien, Schrumpfungen von Bauelement bzw. Verdrahtungsträger

**Tafel 4: Geometrische Kennwerte von Chipkondensatoren**

Chip-kondensator-Typ	Abmessungsbereiche der Kantenlängen			Kantenlängen-toleranz in %	Anschluß-breite $b_A$ in mm	Toleranz $\pm \Delta b_A$ in mm	lichte Höhe $h$ in mm
	Lin mm	b in mm	H in mm				
<b>Tantal-Festelektrolytkondensator</b>							
nackt	4,83...8,64	1,78...4,45	1,52...3,94	$\leq \pm 4$	-	-	-
tauchbelotet	3,02...7,87	1,80...4,19	1,40...3,43	4...10	1,1...1,8	0,4	0,05...0,08
bekappt	2,54...7,24	1,27...4,50	1,27...3,10	6...30	0,76...1,27	0,13	0,12...0,13
umpreßt	3,2...8,3	1,6...4,6	1,6...5,0	$\leq \pm 7$	0,7...1,65	0,25	-
<b>Aluminium-Elektrolytkondensatoren mit Flüssigelektrolyten</b>							
Al-Becher mit							
Sockel	4,3...6,6	4,3...6,6	5,7	$\leq \pm 5$	1,8...2,4	0,2	0,3
umpreßt	6,4...7,4	4,6...5,0	2,5...4,4	-	0,8...1,3	0,3	0,1...0,15
Al-Becher,							
umpreßt	8...12	3,7	3...3,6	-	$\leq 2,5$	-	0,7...1,1
<b>metallisierte Polyesterkondensatoren (MKT), umpreßt</b>							
	4,9...10	4,5...8,0	2,5...6,0	$\leq \pm 12$	1	0,2...0,3	-
<b>Keramik, tauchbelotet</b>							
NPO/COG	1,02...14,9	0,76...7,57	0,58...2,28	-	-	-	-
X7R	1,02...14,9	0,76...7,57	0,58...2,28	-	-	-	-
HI-V(NPO)	7...16	6,35...15,2	1...1,5	-	-	-	-
HI-V(X7R)	7...16	6,35...15,2	1...1,5	$\leq \pm 7$	0,5...1,5	0,5	$\leq 0,1$
HI-K(Z5U,Y5V)	1,02...14,9	0,76...7,57	0,76...1,78	-	-	-	-
HI-Q	1,02...2,79	0,76...2,79	0,76...2,54	-	-	-	-
<b>Glimmer, tauchbelotet</b>							
	2,1...14	2,2...7	0,8...5,2	$\leq \pm 7$	-	-	-

kappten Versionen, was auf den Einsatz extrem hochkapazitiver Tantalpulver, eine hohe Maßhaltigkeit des MnO<sub>2</sub>-Katodenbelages und einen stark gekürzten Anodenanschlußdraht zurückzuführen ist. Obgleich alle diese technologischen Maßnahmen eher in Richtung einer Herabsetzung der maximal möglichen Isolationsfestigkeit und damit der Zuverlässigkeit wirken, haben sich gerade diese Bauformen beim Einsatz in Herzschrittmachern in der DDR bewährt, allerdings, und das ist für diesen Einsatzfall eine weltweit geübte Praxis, nur auf Kosten eines hohen und exemplarisch orientierten Voralterungs- und Selektionsaufwandes.

Für allgemeine Anforderungen, insbesondere für die Bestückung von Leiterplatten, haben sich die kunststoffumpreßten Bauformen durchgesetzt. Dies gilt auch für Aluminium-Elektrolytkondensatoren mit Flüssig-

elektrolyten und metallisierte Polyesterkondensatoren, die entsprechend größere Abmessungen und auch größere Toleranzen aufweisen. Die unter das Bauelement abgewinkelten lötfähigen Anschlußstreifen sind ein guter Kompromiß zwischen dem ursprünglichen SMD-Konzept mit „starrten“ Anschlüssen und bedrahteten Bauelementen im Hinblick auf den Ausgleich von Differenzen der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Bauteil und Verdrahtungsträger, die gemäß der Tafel 5 teilweise doch recht erheblich sind.

Zur Abschätzung der mechanischen Ver-  
spannung  $\sigma$  kann man die Gleichung

$$\sigma = E \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_V - \alpha_B) dT$$

verwenden.

**Tafel 5: Basiswerkstoffe für Verdrahtungsträger**

( $\alpha_{th}$  = thermischer Ausdehnungskoeffizient,  $E$  = Elastizitätsmodul,  $\sigma_B$  = Bruchfestigkeit,  $\lambda$  = thermische Leitfähigkeit,  $\vartheta_S$  = Schmelz- bzw. Zersetzungstemperatur bzw. Dauerwärmebeständigkeit)

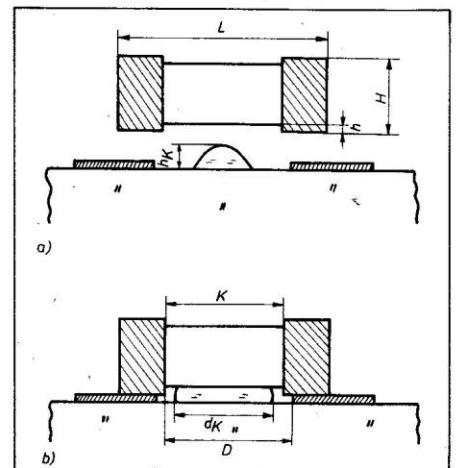
Werkstoff	$\alpha_{th}$ in $10^{-6}/K$	$E$ in $10^2 Ncm^{-2}$	$\sigma_B$ in $10^2 Ncm^{-2}$	$\lambda$ in $Jcm^{-1}s^{-1}K^{-1}$	$\vartheta_S$ in $^{\circ}C$
Si	2,3	(1,4...1,6) · 10 <sup>5</sup>	1 200	1,5	1 420
Al	25	7 · 10 <sup>4</sup>	7...17	2,4	660
SiO <sub>2</sub>	0,3...0,5	(7,1...7,4) · 10 <sup>4</sup>	35...150	21 · 10 <sup>-3</sup>	1 710
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	2,5...3	(22...36) · 10 <sup>4</sup>	64	0,12	1 900
Forsterit (2 MgO · SiO <sub>2</sub> )	6,5...9,9	14,2 · 10 <sup>4</sup>	70	0,04	1 349
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (96%)	6,4...7,5	(37...53) · 10 <sup>4</sup>	240...290	0,20...0,35	1 650
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (99,9%)	6,6	(37...53) · 10 <sup>4</sup>	240...290	0,37	2 040
AlN (99,5%)	3,4...4,4	280...320	170...380	1,3...1,5	1 800
BeO (99,5%)	8,0...8,5	(22...28) · 10 <sup>4</sup>	200	1,8...2,3	1 700
BaTiO <sub>3</sub>	8,5...9,5	(4,5...7,0) · 10 <sup>3</sup>	22...28	1,3 · 10 <sup>-3</sup>	260
Polyester	3,8...9	(1,4...4,6) · 10 <sup>3</sup>	22,1...34,5	(1,2...1,7) · 10 <sup>-3</sup>	150
Polypropylen	5,5	(3,5...7,0) · 10 <sup>2</sup>	13,8...34,5	2,5 · 10 <sup>-3</sup>	400
PTFE	20...70	3,0 · 10 <sup>2</sup>	34,5...96,6	1,7 · 10 <sup>-3</sup>	260
Polyimid	9...25	3,8 · 10 <sup>4</sup>	$\leq 760$	3 · 10 <sup>-3</sup>	250
glasfaserverstärktes Epoxidharz	30	(0,5...1,4) · 10 <sup>4</sup>	55...138	3 · 10 <sup>-3</sup>	160
Phenolharz-Hartpapier					

$\alpha_V, \alpha_B$  = Temperaturkoeffizienten von Verdrahtungsträgern bzw. Bauelement  
 $T_1, T_2$  = betrachtetes Temperaturintervall  
 Setzt man z. B. für  $\alpha_V = 20 \cdot 10^{-6}/K$  (Leiterplatte) und  $\alpha_B = 7 \cdot 10^{-6}/K, E = 37 \cdot 10^6 Ncm^{-2}$  (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik), wobei alle Größen näherungsweise temperaturunabhängig angesetzt werden, so tritt im Temperaturintervall zwischen 0 °C und 100 °C eine Verspannung von etwa  $480 \cdot 10^2 Ncm^{-2}$  auf, was klar über der Bruchfestigkeit von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik nach Tafel 5 liegt, wobei Kerbwirkungen sowie der bruchfördernde Einfluß von Mikrorissen und Delaminationen, wie sie in Vielschicht- und Stapelstrukturen typisch sind, noch nicht einmal berücksichtigt wurden. Das hier ange-deutete Problem darf vor allem im Hinblick auf die massenhafte Verwendung der tauchbeloteten Keramik-Vielschichtkondensatoren nicht unterschätzt werden. Offenbar kompensiert jedoch das Lot einen Teil der Spannungen durch plastische Deformation, weshalb es auf dessen ausgewogene Dosierung besonders ankommt.

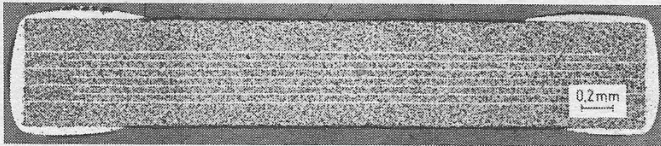
Im Layout sind es weniger die Toleranzen der vertikalen Strukturmaße als die Schichtdicken selbst, die z. B. bei Unterkreuzungen durch Anpassung der Kleberdosierung zu beachten sind. Bei gleichem SMD-Typ wird man auf durchkontaktierten Leiterplatten (Leiterzugdicke 75...135 µm) weniger Kleber zuführen als auf nicht durchkontaktierten ( $\approx 35 \mu m$ ). Die Unterschiede bei Dünn- und Dickschichtsubstraten (Schichtdicken  $< 5 \mu m$  bzw.  $< 50 \mu m$ ) fallen bei lichten Weiten unter umpreßten SMD-Bauteilen von  $h \approx 0,7...1,1$  mm (s. Bild 13 [4]) vorerst noch weniger ins Gewicht. Bei Tauchbelotung ist dem jedoch schon Beachtung zu schenken, wie der geringe Betrag von  $h \approx 0,08$  mm zeigt, den man am metallografischen Längsschliff von Keramikvielschicht-Chipkondensatoren leicht bestimmen kann, s. Bild 14.

Als topologische Lateraltoleranzen, die bei Durchgangsbohrungen, Leiterbahnen, Anschlußpfaden, Kleberhügelpositionen usw. auftreten, werden für Feinstleiterplatten und Hybridsubstrate Größtwerte um  $\pm 0,3$  mm angegeben. Die technologisch realisierbare Positionsgenauigkeit wächst etwa in der Reihenfolge

- mechanisches bzw. Laserbohren
- fotogalanische Trassierung bzw. Dickschicht-Siebdruck
- Dünnschicht-Wechselmaskentechnik
- Präzisionssiebdruck
- Dünnschicht-Fotolithografie.



**Bild 13: Bauteilabmessungen und Kleberdosierung** ( $h_K$  = Kleberhügelhöhe,  $d_K$  = Kleberhügelbreite). a) Vor dem Aufsetzen; b) nach dem Aufsetzen



**Bild 14: Längsschnitt eines keramischen Vielschicht-Chipkondensators (VEB Elektronik Gera)**

**Tafel 6: Symbole in den Bildern 15 bis 18**

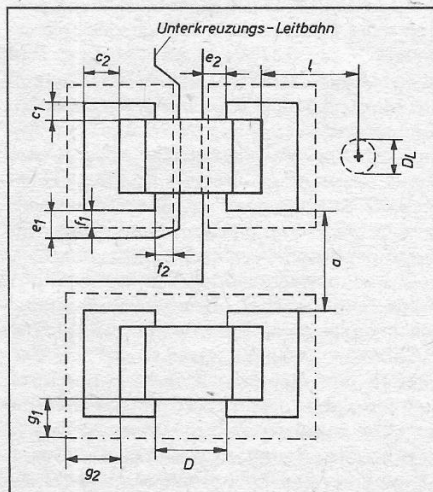
**Bild 15**

- a = seitlicher Bauteilabstand
  - c = Abstand Bauteilkante – Lötäugenkante
  - D = Lötäugenabstand
  - e = Abstand Lötäuge – Leitbahnunterkreuzung
  - $D_L$  = Durchmesser des Entgasungsbohrloches
  - f = Abstand Lötäugenkante – Rand der Sicherheitszone
  - g = Abstand Bauteilkante – Rand der Sicherheitszone
  - l = Abstand Bauteil – Entgasungsbohrloch
- gestrichelt: Sicherheitszone (keine zusätzlichen leitenden Teile) bei gelöteten Anschlüssen  
 strichpunktiert: Sicherheitszone bei (leitend) geklebten Anschlüssen
- Folgende Regeln gelten:
- a; D  $\geq$  0,5 mm
  - $c_i$   $\geq$  0,5 mm
  - $D_L$  = 0,8...1,0 mm
  - $f_i$   $\geq$  1,0 mm
  - $g_i$   $\geq$  1,5 mm
  - l = 1,5...3,5 mm

**Bild 16**

- P = Bauteilmittenabstand von der Bezugslinie auf dem Verdrahtungsträger

Bohrlöcher werden außer für Durchkontaktierung ggf. in der Umgebung (bevorzugte Bereiche: strichpunktierte Linien im Bild 15 und Tafel 6) von SMD benötigt, um die Entgasung beim Löten zu fördern. Für Positioniertoleranzen von Verdrahtungsträgern im Bestückungsautomaten sind die Führungs- und Arretierungselemente (z. B. Führungsbohrungen in Leiterplatten, Führungsdorne bzw. Anschläge des Transporttisches) zuständig. Es werden dafür Gesamttoleranzen unter  $\pm 0,02$  mm angegeben. Die Positioniertoleranzen des Bestückungskopfes setzen sich aus translatorischen ( $\tau$ ) und rotatorischen ( $\varphi$ ) Komponenten zusammen, für die Zahlenwerte von  $\tau = \pm 0,06...0,3$  mm und  $\varphi = \pm 0,6...3^\circ$  (s. Bild 16d) bekannt geworden sind.  $\varphi \geq 10...20^\circ$  gilt als Bestückungsausfall. Betrachtet man die Toleranzangaben insgesamt genauer und prüft im Hinblick auf ein in der Praxis funktionsfähiges Bestückungssystem, so stößt man sehr wohl auf Widersprüche, weshalb dem Anwender anzuraten ist, sich intensiv mit der Toleranzkettenproblematik vertraut zu machen. Exakte Angaben hierzu finden sich z. B. in [4].



- $\Delta_p$  = Gesamtpositioniertoleranz (Maximalbetrag) von P
- F = Bauteilmittenabstand benachbarter SMDs
- a = Bauteilabstand
- $b_{max}$  = maximale Bauteilbreite
- $\varphi$  = Bauteilverdrehung (bezogen auf Lötäugemittellinie)

**Bild 17**

- P, Q = Abstände der Mittellinie vom SMD bzw. vom Abstand der Lötäugenninnenkanten von der Bezugslinie
- $\Delta_p, \Delta_q$  = Maximaltoleranzen dieser Abstände
- $L_{min}$  = minimale Bauteillänge
- $b_A$  = Bauteilanschlußbreite
- $b_K$  = Lötäugenbreite
- $D_{max}$  = maximaler Lötäugenabstand
- Ü = Überdeckung Anschluß – Lötäuge

**Bild 18**

- $a_L$  = Kriechstrecke Lötäuge – Leitbahnunterkreuzung
- $a_L'$  = Luftstrecke Anschlußkante – Leitbahnkante
- d = Lötäugendicke

Zu den genannten technologischen Erfahrungswerten ist zu bemerken, daß es in der Natur der Sache liegt, wenn vorerst über allgemeine Richtlinien bzw. Richtwerte nicht hinausgegangen werden kann. Durch den rasanten technologischen Fortschritt existiert hier ein permanenter Standardisierungsrückstand. Für die Kleberdosierung nach Bild 13 läßt sich formulieren (s. a. Bild 18):

minimale Kleberhöhe:  $h_{K,min} > d + h$   
 Mindestabstand Kleber – Anschlußpfad bzw. SMD-Kontakt:  $d_K < D_{min}$

Bei den erwähnten gebräuchlichen Pfaddicken beträgt die bevorzugte Kleberhügelhöhe  $h_K = 50...100 \mu m$  bei tauchbeloteten Bauteilen und  $0,9...1,3$  mm bei den größeren umpreßten Kondensatoren.

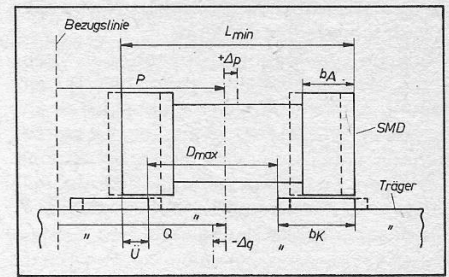
Ein Übergang, z. B. von der Dispenser- zur Stiftdosierung, um kleinere  $h_K$  sicher zu beherrschen, ist ggf. eine der notwendigen technologischen Schlußfolgerungen.

Mit der Dosierung ist entsprechend den bekannt gewordenen minimalen Längsabmessungen ( $L = 1,02$  mm;  $L_K \approx 0,3$  mm;  $K =$  Kontaktabstand am Bauelement, s. Bild 13

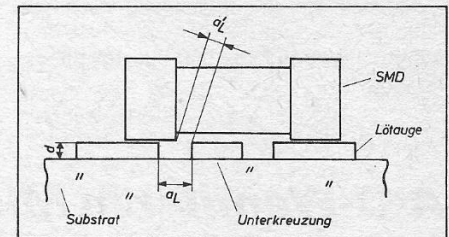
**Bild 15: Layoutregeln für die SMD-Umgebung**



**Bild 16: Zur Erläuterung der Abstandsregeln**



**Bild 17: Überdeckung von Anschlußkontakten auf dem Verdrahtungsträger**



**Bild 18: Kritische Abstände zwischen leitenden Teilen mit unterschiedlichem Potential**

und Tafel 4) der praktische Dispenserrichtwert  $d_K \leq 2,6$  mm teilweise erheblich zu unterschreiten.

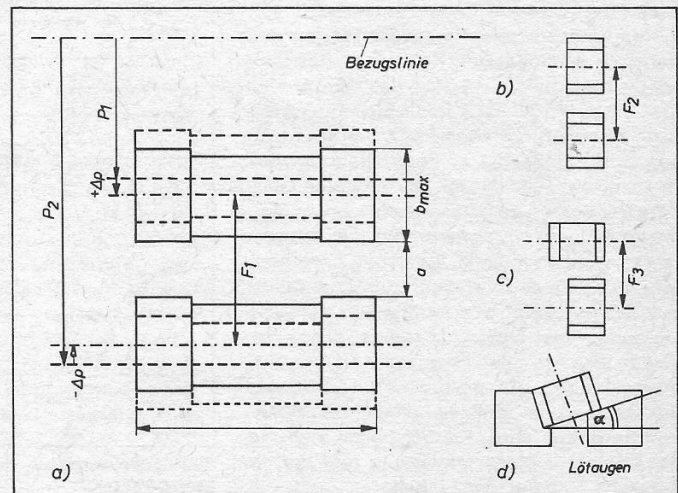
Die Überdeckung Ü (s. Bild 17) wird in der Regel kleiner als die Kontaktbreite  $b_A$  sein können. Sie sollte aber den Wert

$$\bar{U}_{min} = (0,5...0,7) b_A$$

nicht unterschreiten, um eine sichere Löt- bzw. Leitkleberverbindung zu gewährleisten. Aus Gründen der elektrischen Stabilität müssen die Luftstrecken zwischen leitenden Teilen mit unterschiedlichem Potential optimiert werden. Bei zu geringem Abstand treten Durchschläge bzw. Kriechströme auf. Nach Bild 18 kann bei Berücksichtigung ungünstigster Toleranzen vor allem bei ungenügend isolierten Unterkreuzungen und ohne Klebefixierung (fehlende Kriechstromsperre) die kritische Luftstrecke  $a_L$  unterschritten werden.

Für den elektrischen Durchschlag ( $E_D \approx 3 \cdot 10^4$  Vcm $^{-1}$ , Durchschlagfeldstärke von Luft) muß nicht  $a_L$ , sondern es kann auch die kleinere Größe  $a_L'$  verantwortlich sein. Bei gegebener Potentialdifferenz  $\Delta U$  ist dann

$$a_L' > \frac{\Delta U}{E_D}$$



zu fordern, wobei  $E_D$  obendrein vom lokalen Krümmungsradius abhängt.

Ähnliche Überlegungen (sichere Lötverbindung, elektrische Stabilität) sind bei der Festlegung seitlicher Bauelementeabstände anzustellen. Wie im Bild 16 angedeutet wurde, können dabei unterschiedliche Situationen vorliegen. Es gilt mit Bezug auf die Bauteillänge  $L$  für die minimalen Mittenabstände  $F_i$  die Regel (s. a. Bild 15 und Tafel 4):

$$\frac{F_1}{L} : \frac{F_3}{L} : \frac{F_2}{L} \approx 1 : 0,8 : 0,5$$

Unter Berücksichtigung einer maximalen summarischen Positioniertoleranz  $\Delta p$  gilt im ungünstigsten Fall (gegenläufig maximale Fehlpositionierung) für den seitlichen Bauteilmittenabstand  $F_1$  gemäß Bild 16a die Bedingung

$$F_1 > a + b_{\max} - 2 \Delta p$$
$$b_{\max} = b + \Delta b$$

Für den Bauteilabstand  $a$  gelten sinngemäß die Überlegungen zu Kriechstromeffekten. Sein Minimalbetrag  $a_{\min}$  wird jedoch maßgeblich durch technologische Anforderungen, z. B. Freiraum für den Bestückungskopf bzw. Sicherung der Schwallötbarkeit, bestimmt.

## 6. Zusammenfassung

In diesem zweiteiligen Beitrag wurden Hinweise auf die Verwendung passiver Aufsetzbauelemente, vor allem aber von Kondensatoren in SMD-Bauweise gegeben. Neben der Gegenüberstellung moderner Bauformen wurden dem Anwender Werte und Fakten vermittelt, die ihm helfen sollen, diese Tech-

nik schnell beherrschen zu lernen. Besondere Erwähnung fanden Toleranzprobleme und deren Auswirkung auf die Leiterplatte.

## Literatur

- [1] Langer, H.-D.; Schuricht, K.: Funktion und Einsatz von Elektrolytkondensatoren. radio fernsehen elektronik, Berlin 30 (1981) 8, S. 513–516; 9, S. 591–594
- [2] Schönlebe, G.: Löten von SMD auf Leiterplatten. Siemens Components, München 24 (1986) 6, S. 229–234
- [3] Jünemann, S.; Lüneburger, K.: Relais und die SMT. Siemens Components, München 24 (1986) 6, S. 239–242
- [4] Kießling, K. G.: Toleranzbetrachtungen bei der Aufsetzmontage. radio fernsehen elektronik, Berlin 36 (1987) 8, S. 489 und 490