Tombstones:

Technische Daten und Infos

Grundsätzlich ist ein Tombstone (dt.: Grabstein) eine Nichtlötung (engl.: open), mit dem eine elektrische Verbindung unterbrochen wird. Es entsteht ein ernstzunehmender Defekt/Lötfehler.

Der Tombstone wird in der Literatur seltener auch als „Manhattan-Effekt“ oder „Stonehenge“ beschrieben – passende Namen, da sie sehr evident das Erscheinungsbild eines aufgerichteten Bauelements widerspiegeln. Meist sind zweipolige Bauelemente (Chips) betroffen, selten auch mehrpolige Bauelemente.

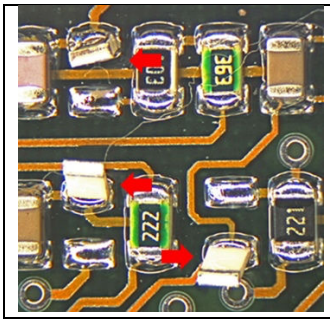
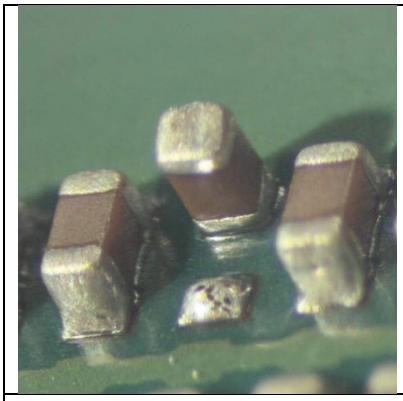
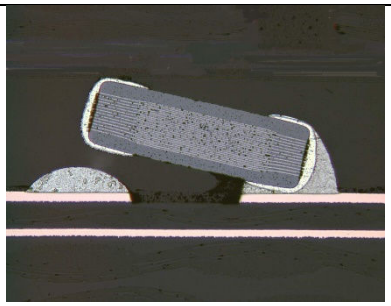


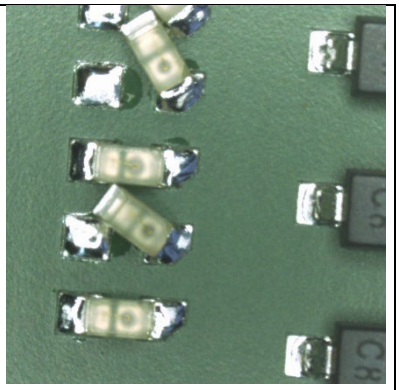
Bild 1 Tombstone



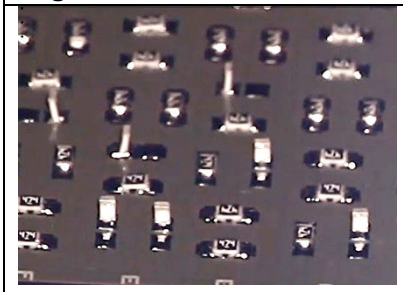
Senkrecht aufgerichtet
Engl: Tombstone



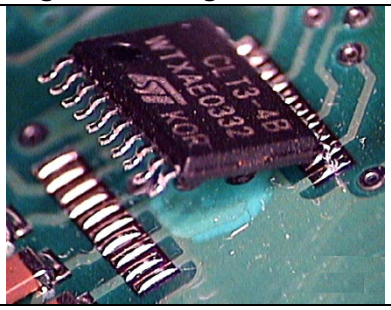
Leicht angekippt (Schliffbild)
Engl: Draw-Bridge



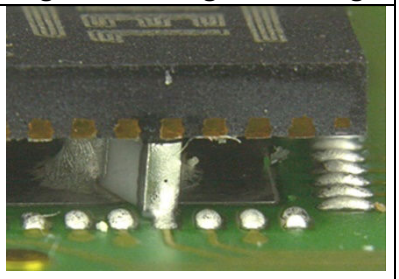
Angekippt + verdreht
Engl: Draw-Bridge + Skewing



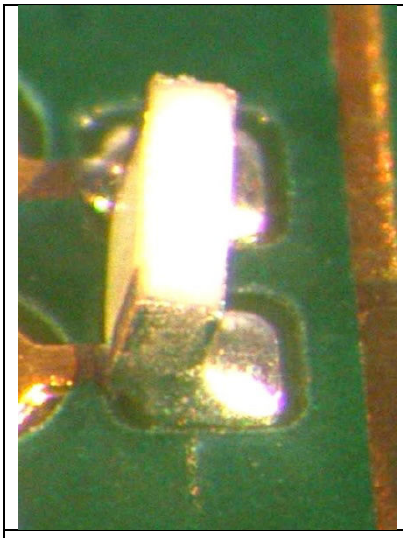
Häufiges Vorkommen



Mehrpoliges SO-Bauelement



Pseudo-Tombstone eines QFN aufgrund Bestückfehler

		
Engl: Billboard Pseudo-Tombstone aufgrund Bestückfehler		
Bildergalerie 2: verschiedene Tombstone-Aufkommen		

Die Bilder zeigen einige Tombstone-Erscheinungsformen. Darunter ist auch ein Pseudo-Tombstone, der durch einen Bestückungsfehler entstanden ist, bei dem ein verlorengegangener Chip ein QFN anhebt. Verwandt mit einem Tombstone sind zudem diese Fehler:

Billboard (Anschlagbrett)	Bauelement wurde um Längsachse 90° gekippt aufgelötet, Ursache: meist ein Bestückungsfehler
Skewing (verdreht)	Bauelement sitzt nach dem Löten verdreht auf den Pads, Ursache: meist zu große nicht optimale Pads, ein Tombstone kann mit einem Skewing einhergehen
Shifting (verschoben)	Bauelement ist über seine Längsachse auf den Pads verschoben aufgelötet, Ursache: nicht optimale (zu lange) Pads
Draw-Bridging (Zugbrücke)	Ein Tombstone, der sich nicht völlig aufgerichtet hat

Die Ursachen für Tombstone: komplexe Mathematik

Leider ist etwas Mathematik notwendig, um zu verstehen, warum ein Bauelement sich aus seiner Bestückungsposition aufrichtet. Wir versuchen an dieser Stelle, die Mathematik so verständlich wie möglich zu halten. In der internationalen Literatur sind sehr viele Arbeiten zu diesem Thema zu finden, wie z.B. im „Klassiker“ von Wassink et al. *[R. J. K. Wassink and M. M. F. Verguld, “Drawbridging of leadless components,” Hybrid Circuits, vol. 3, no. 1, pp. 18–241986, ISSN: 1356-5362].* Wassink benutzt trigonometrische Formeln zur Berechnung des Tombstone-Phänomens.
Zur Aufrichtung eines Bauelements ist eine Kraft notwendig, die der Gewichtskraft des Bauelements entgegenwirkt. Genaugenommen drehen wir das Bauelement um einen Kipppunkt; es handelt sich also um ein aufrichtendes Drehmoment. Das Drehmoment ist das mathematische Produkt des Abstands des Drehpunkts von der Wirkungslinie (Richtung) der

Kraft. Schauen wir uns hierzu zunächst die an einem Chip wirkenden Kräfte und Momente an (Bild 3).

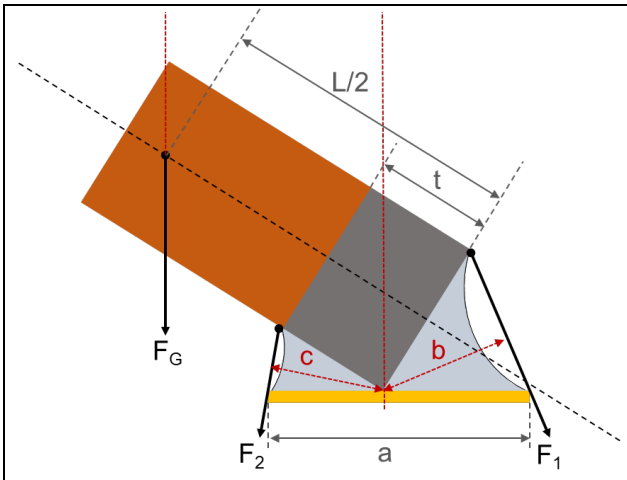


Bild 3: An einem Chip wirkenden Kräfte

Parameter	***Symbol***	***Einheit***	***Bemerkung***
Breite BE	*w*	*m*	
Höhe BE	*h*	*m*	
Normierte Höhe BE	n_1, n_2		*1 … 0*
Länge BE	*L*	*m*	
Länge des BE-Anschlusses	*t*	*m*	
Meniskuslänge (aufrichtend)	*z*	*m*	
Benetzungswinkel padseitig	Θ_1	*Grad*	$b = n_1 \cdot sin\theta_1$
Benetzungswinkel haltende Seite oben	Θ_2	*Grad*	
Benetzungswinkel aufgerichtete Seite oben	Θ_3	*Grad*	$c = n_2 \cdot sin\theta_3$
Rotationsabstand (aufgerichtet – liegend)	*x*	*m*	
Gewichtskraft	F_G	*N*	
Aufrichtende Kraft	F_1	*N*	
Haltende Kraft	F_2	*N*	
Auftrieb	F_A	*N*	
Oberflächenspannung des Lotes	σ	*N/m*	$\frac{Benetzungskraft}{Umlaufende\ Länge}$
Erdbeschleunigung	*g*	m/s^2	*9,81* m/s^2
Volumen	*V*	m^3	
Dichte	ρ	kg/m^3	

Aus dem Bild wird sofort klar: Ist die Gewichtskraft (F_G = Masse des Bauelements x Erdbeschleunigung) größer als die aufrichtende Kraft, kann kein Tombstone entstehen. Das erklärt, warum hauptsächlich leichte kleine Chips von dem Defekt betroffen sind.

Yuen et al. verwendet diese Betrachtungsweise, indem er das aufrichtende Moment in Bezug zum Kippmoment darstellt. *[Michael Yuen, Heather Benedict, Kris Havlovitz, and Tim Pitsch, Tomstoning of 0402 and 0201 COMPONENTS: "A STUDY EXAMININGTHE EFFECTS OF VARIOUS PROCESS AND DESIGN parameters on ultra-small passive devices", Plexus Electronic Assembly Corporation, 2014]* Ist E_B = 1 richtet sich das Bauelement nicht auf, > 1richtet es sich auf.

Energiebilanz E_B nach Yuen	$E_B = \frac{w \cdot h \cdot \sigma \cdot sin\theta_1}{m \cdot g \cdot \left(\frac{h}{2} + x\right)}$	$\frac{Aufrichtendes\ Moment}{Kippmoment}$

Die Gewichtskraft F_G wird von der Masse des Bauelements bestimmt - die haltende Kraft F_2 und die aufrichtende Kraft F_1 werden von der Oberflächenspannung σ des flüssigen Lotes definiert.

$\sigma = \frac{F}{2L}$ in N/m

Setzen wir in das Modell von Yuen die Maße eines 0402 Chips ein, wird das Risiko für einen Tombstone schnell deutlich, wenn keine Benetzung des gegenüberliegenden Anschlusses vorliegt.

Leider ist die Oberflächenspannung σ keine Konstante; sie wird sowohl vom Legierungstyp als auch der Temperatur beeinflusst. Für SAC305-Lot kann bei Löttemperatur ein Wert von 0,36 N/m bis 0,57 N/m angenommen werden. Mit zunehmender Temperatur sinkt die Oberflächenspannung. Siehe hierzu: Bell et al. *[H. Bell, T. Kolossa, P. Fischer, S. Stegmaier, Die Oberflächenspannung und Tragkraft des Lotes, SMT 11 / 2012, S. 16]* sowie Lee et al. *[B. Huang, N. C. Lee, Conquer tomstoning in lead-free soldering,proceedings APEX 2004]*

Das Tombstone-Modell von Raravikar et al. ist wesentlich komplexer. *[N. Raravikar, R. Panat, S. Jadhav, Tombstone Initiation Model for Small, IEEE Vol. 2, No. 9, Sep. 2012]* Er geht davon aus, dass beide Seiten des Bauelements unterschiedlich benetzt werden und betrachtet das resultierende Gesamtmoment $M_{ges.}$ aus: haltender Seite, aufgerichteter Seite, Auftrieb des Lotes und Gewichtskraft des Bauelements. Die Mathematik hierzu gestaltet sich unübersichtlich, überdies enthält sie einige Größen, deren Bestimmung sich auch im Labor als schwierig erweisen. Dazu gehören die Benetzungswinkel sowie die Oberflächenspannung.

Gesamtmoment $M_{ges.}$ nach Raravikar	
$(n_1 sin\theta_2 - n_2 sin\theta_3) \cdot \sigma \cdot w \cdot h - ((n_2 cos\theta_3) \cdot \sigma \cdot (w + 2t) \cdot L) - (m \cdot g \cdot \frac{L}{2}) + (\rho \cdot V \cdot g \cdot L)$	

Zusätzlich werden Toleranzen bei den Abmessungen (der Bauelemente und der Leiterplattenpads) in die Berechnung einbezogen. Für einen 0402 Chip können wir mit dem Modell von Raravikar berechnen, dass der gegenüberliegende Anschluss ungefähr mit 30 % vom Lot benetzt sein sollte, um die Aufrichtung des Bauelementes zu verhindern.

Bei all den Unwägbarkeiten der Parameter und Maße ist ein pragmatischer Ansatz sinnvoll, der nur von den geometrischen Abmessungen des Bauelements und der Pads an einer Anschlussseite ausgeht (im Bild 1 rechts) und die Oberflächenspannung des flüssigen Lotes hier als Konstante verwendet. Die zweite Anschlussseite liefert die entsprechenden Gegenkräfte.

Moment der Gewichtskraft F_G	$M_G = F_G \cdot \frac{L}{2}$
Moment der aufrichtende Kraft F_1 (stirnseitig)	$M_1 = 2\sigma \cdot (h + w) \cdot (a - t)$
Moment der haltenden Kraft F_2 (unten)	$M_2 = 2\sigma \cdot (w + t) \cdot t$

Ist $M_G + M_2 > M_1$ richtet sich das Bauelement im Normalfall nicht auf. Mit diesem Modell lässt sich für einen 0402 Chip ebenfalls berechnen, dass es eine > 25 % Benetzung des gegenüberliegenden Anschlusses und einer Unterseite bedarf, um einen Tombstone zu vermeiden. Dieses einfachere Modell liefert zum Modell von Raravikar vergleichbare Ergebnisse.

Warum haben wir die Mathematik den folgenden Betrachtungen vorangestellt? Sie liefert uns ohne Kenntnis des jeweiligen Bauelements fundamentale Aussagen, um Tombstones entgegenzuwirken:

- Je größer das Gewicht eines Bauelements, umso geringer wird das Tombstone-Risiko.
- BTC (Bottom Terminated Components) haben nach unten gerichtete Kraftvektoren und zeigen daher keine Tombstones.
- Je größer die Padlänge, die vor dem Anschluss herausragt, umso größer wird das Tombstone-Risiko.
- Je größer die Oberflächenspannung, umso größer wird das Tombstone-Risiko.
- Bauelemente mit verschieden großen Anschlussflächen können zu Tombstones neigen.

Zahlreiche Einflussgrößen

Das Ishikawa-Diagramm zeigt eine Vielzahl von Einflüssen auf die Entstehung von Tombstones, die wir im Folgenden diskutieren. Vorangestellt sei, dass es sehr viele Wechselwirkungen zwischen den Einflussgrößen gibt und daher Sorgfalt und Analyse notwendig sind, um an den „richtigen Rädchen“ zu drehen. Gleichermaßen ist es schwierig, in Versuchs-

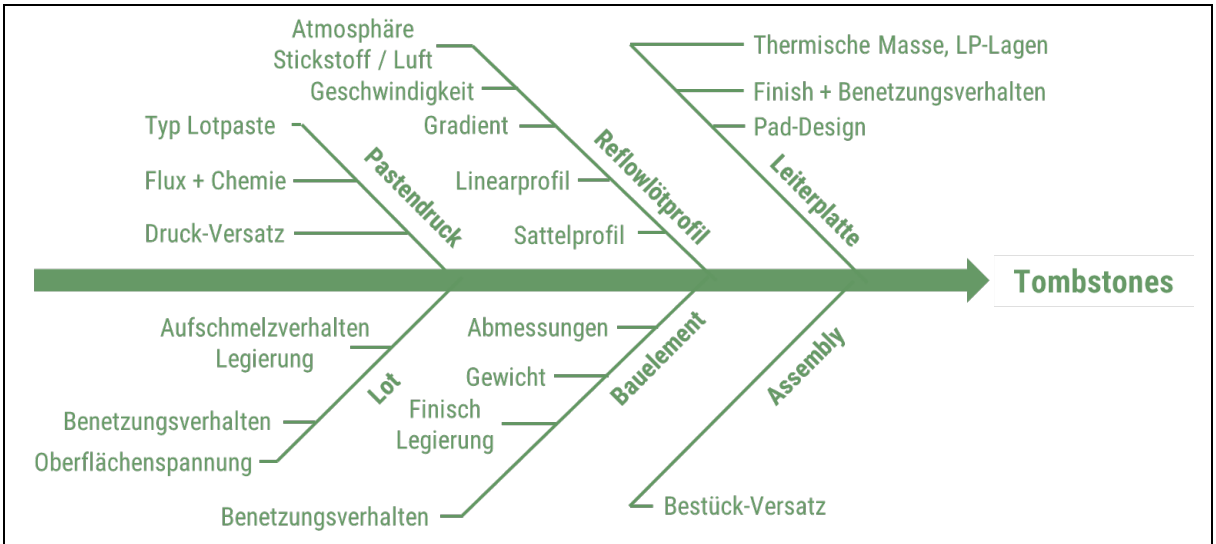


Bild 4: Einflussgrößen auf die Tombstone-Entstehung

Anordnungen / Tests eine signifikante Anzahl von Tombstones zu erzeugen. Lentz et.al. z.B. fand keine bei seinen sorgfältig geplanten Tests: „Tombstoning was not observed in these tests“. *[T. Lentz, G. Smith, What Do You Want on Your Tombstone? SMTA International 2021]* Folgend diskutieren wir die wesentlichen Einflussgrößen.

1. Das Bauelement

Wie wir aus der vorangestellten Mathematik gelernt haben, sind die Abmessungen, das Gewicht und die Gestaltung der Anschlussflächen entscheidende Einflussgrößen. Insbesondere das geringe Gewicht der kleinen Bauelemente hat der Kraft der Oberflächenspannung kaum etwas entgegenzusetzen. Eine gute Nachricht gibt es in diesem Zusammenhang jedoch. BTC, wie hier im Bild 5 der 03015 M (metrisch), mit ihren unten liegenden Anschlussflächen sind nicht vom Tombstone gefährdet.

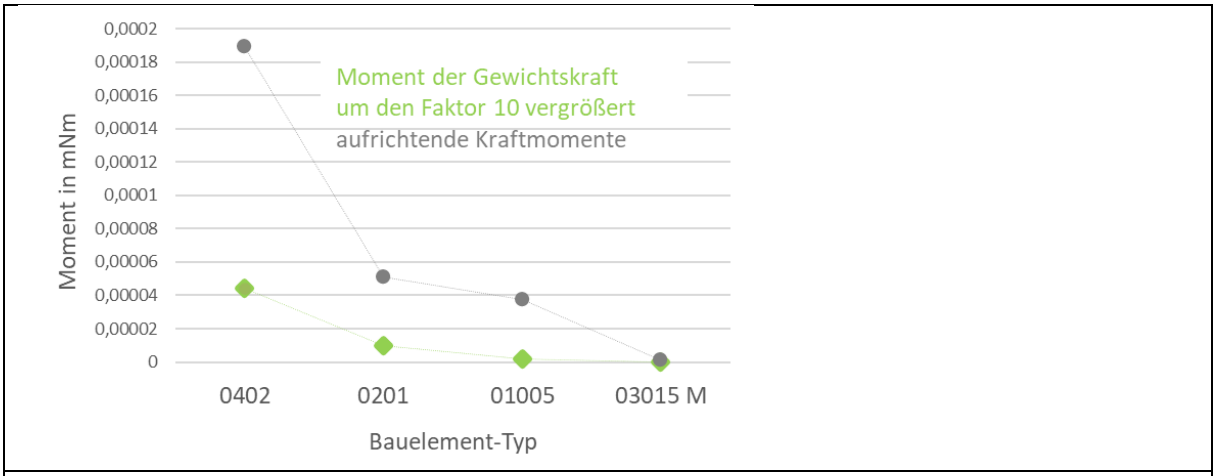


Bild 5: Vergleich der Momente Gewichtskraft und aufrichtende Kraft
Zur besseren Ansicht ist das Moment der Gewichtskraft um den Faktor 10 vergrößert

Das Bild 6 zeigt zwei Bauelemente mit einer unterschiedlichen Bauelementhöhe, die auf geometrisch gleiche Leiterplattenpads gesetzt wurden. Die hohe Bauform richtet sich vergleichbar öfter auf, da das angreifende Drehmoment hier größer ist, wie eine Feldstudie von Egger und Berechnungen von Bell eindrucksvoll zeigen. *[R. Egger, Tombstone-Studie, Zollner AG, 2014*

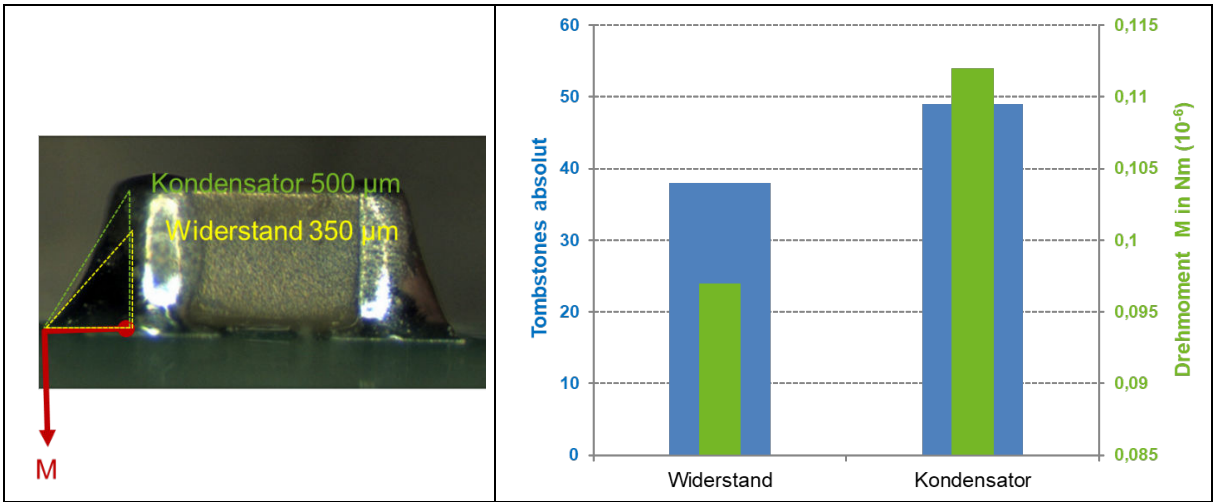


Bild 6: Bauelemente mit verschiedenen Höhen und sonst gleichen Abmessungen

und H. Bell Grundlagen des Reflowlötens, Fehlermanagement, Technologie-Seminar, Rehm Thermal Systems GmbH 2015] Mit dem Modell von Yuen lässt sich schnell nachrechnen, wie sich die Energiebilanz zugunsten eines Tombstones verschlechtert, wenn ausschließlich die Bauteilhöhe zunimmt. Diesen Fakt sollten die Einkaufs-Mitarbeiter im Kopf haben, wenn es um den kostengünstigen Austausch von elektrisch gleichen Bauelementen geht.

Eine geringe Benetzung ist an der gegenüberliegenden Seite notwendig, um dem aufrichtenden Moment etwas entgegenzusetzen. Eine Benetzung ist jedoch von einwandfreien Finishs auf den Anschlüssen abhängig. Fehlstellen, wie auf dem Bild 7 zu sehen, verhindern diese Benetzung und erhöhen den Anteil an Tombstones.

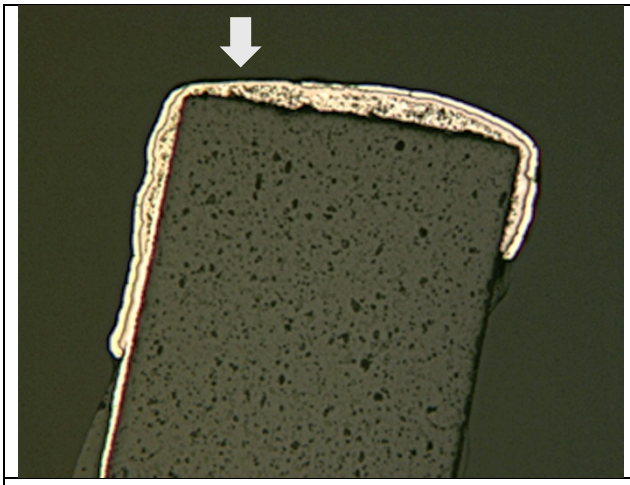


Bild 7: Defekte Zinnschicht an der aufgerichteten Seite eines Bauelements

Maxwell et. al. beschreibt, dass Probleme bei der Beschichtung der Bauelemente-Anschlüsse zu heftigen Ausgasungen während des Reflowlötens führen können, die das Bauelement aus seiner Bestückposition blasen und neben Spattering (Lotspritzer) auch Tombstones erzeugen können. *[John Maxwell, Chris England, TOMBSTONE CAPACITORS REVISITED, NOW DO WE NEED A PSL (PLATING SENSITIVITY LEVEL) SPECIFICATION FOR CHIP COMPONENTS, SMTA Proceedings 2009]* Er entwickelte einen Test, mit dem die Qualität des Finish hinsichtlich des Spattering überprüft werden kann.

2. Leiterplatte

Mit dem Design der Leiterplatte kann man sowohl geometrisch als auch thermisch auf das Tombstone-Risiko einwirken. Wie vorangegangen gezeigt, lässt sich berechnen, dass die Padlänge einen wesentlichen Einfluss ausübt. Jedoch ist dieser Nachweis in der Praxis nicht so leicht zu führen, wie Yuen an 0201 und 0402 Chips zeigte (Bild 8). Dies hat auch damit zu tun,

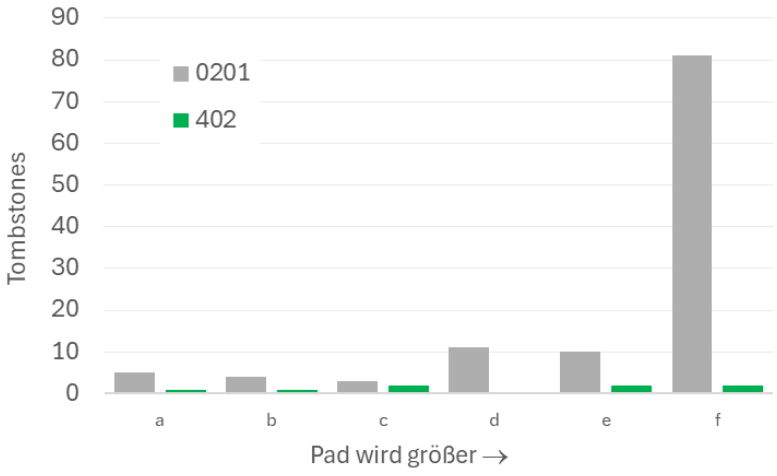
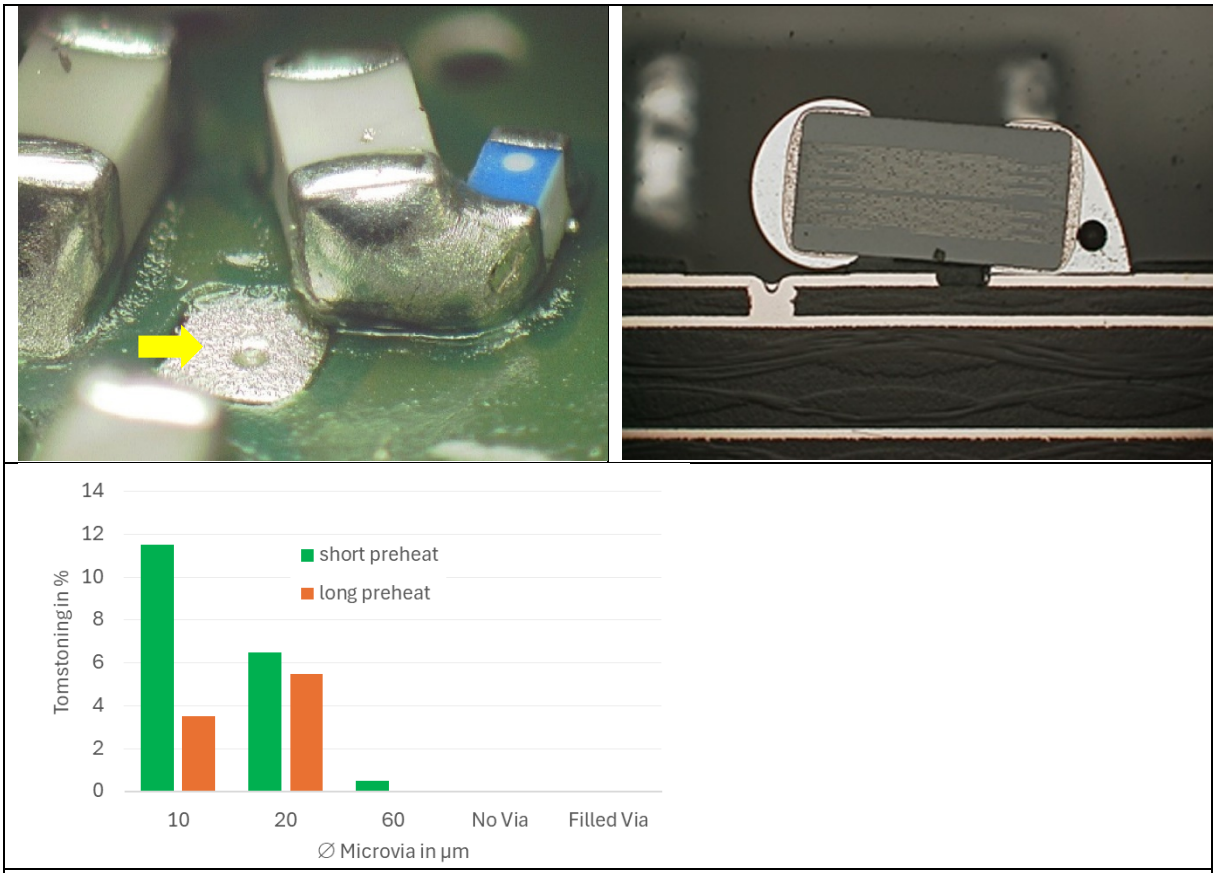


Bild 8: Tombstones durch geometrisch vergrößerte Padflächen vor dem Chip, nach Daten von Yuen

dass eine nahezu gleichzeitige Benetzung beider Anschlüsse Tombstones vermeidet. Thermisch wird diese Gleichzeitigkeit oft durch ungleiche Masseverhältnisse zwischen beiden Pads kontrakariert. Wird z.B. nur ein Pad mittels eines Microvia an untere Lagen angebunden (Bild 9), wird an diesem Ort mehr Wärme benötigt, um die Paste aufzuschmelzen. Diesem thermischen Nachteil kann mittels einer besseren Durchwärmung der Leiterplatte während des Reflow entgegengewirkt werden. Eine Empfehlung kann die Verlängerung der Vorheizzeit sein.



Bilder 9: Tombstone infolge ungleicher thermischer Pad-Massen
Grafik Einfluss der Vorheizung, nach Daten von Y.-W. Lee et. al.: *[Yong-Won Lee, Keun-Soo Kim, Katsuaki Suganuma The effect of micro via-in pad designs on surface-mount assembly defects: part 1 – tombstoning, Soldering and Surface Mount Technology, p 202, June 2012]*

Hsu et.al. schreibt in seinem Paper: „Das Pad-Design kann ein Hauptfaktor bei der Minderung des Tombstoning sein, da es direkten Einfluss auf die Wärmeleitung und die Wärmeverteilung der Lötstellen im SMT-Verfahren hat“. *[Yun-Ting Hsu, Yung-Sheng Zoul, Min-Hua Chung, Chong-Leong Gan, Venkatesh Venkatraman, Anila Paull, Winnie Lowe, Faxing Chet Tombstoning Investigation of Ultra-small Chip; Passive Components on eMMC Products, IEEE 2023]*

3. Die Benetzung

Auf dem Ishikava-Diagramm (Bild 4) wird das Benetzungsverhalten mehrfach erwähnt, was unterstreicht, dass ihm eine besondere Bedeutung beim Tombstoning zukommt. An einigen Beispielen wollen wir dies im Folgenden untermauern.

Weiter vorn hatte ich berechnet, dass eine Mindestbenetzung auf der gegenüberliegenden Seite notwendig ist, um einen Tombstone zu verhindern. Gelingt diese Benetzung überhaupt nicht

oder gelingt sie nicht zeitgleich auf beiden Anschlüssen (Time Gap), steigt das Fehlerrisiko rasant. Der Time Gap kann verschiedene Ursachen haben. Ein Beispiel für die thermischen Massenunterschiede habe ich bereits diskutiert. Ebenso können verschieden große Pastendeposite auf beiden Pads zu einem Time Gap beim Aufschmelzen führen, wie auf dem Bild 10 zu sehen ist. Um Lötfehler zu vermeiden, hilft hier ebenfalls die Verlängerung der Vorheizzeit. Eine Unterheizung kann ebenfalls die Durchwärmung fördern.

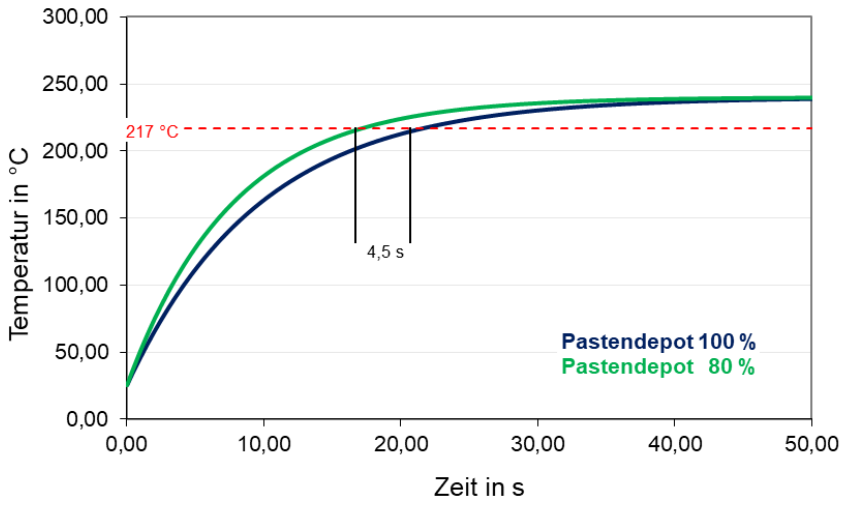


Bild 10: Time Gap zwischen zwei unterschiedlich großen Pastendepositen
Quelle: Bell *[H. Bell, Grundlagen des Reflowlötens, Teil 3 Zuverlässigkeit und Fehlermanagement, S. 101, Rehm Thermal Systems GmbH, 2021]*

In der chinesischen Patentschrift CN 000216313497 U von 2022 *[CN 000216313497 U, XU YUNTING; YAN ZONGLONG; ZHONG MINHUA; ZOU YONGSHENG, Electronic packaging structure, 15.04.2022]* wird der Time Gap insbesondere als Risiko für Embedded Components hervorgehoben: „In particular for embedded package designs, (...) the difference in velocity of solder melt spreading at two opposite terminals can be more pronounced, which further increases the risk of tombstone effect." Als Lösung für das Problem wird ein spezielles Paddesign mit einem vertieften Profil *(einer Art Kalotte)* vorgeschlagen.

Pastenhersteller nutzen die Erfahrungen zum Time Gap, um die Benetzung zu verbessern und bieten sogenannte Anti-Tombstone-Pasten an, bei denen zwei Eigenschaften beeinflusst wurden. Einerseits kann die Oberflächenspannung des Lotes durch Hinzugabe von Legierungselementen reduziert werden, zum anderen wird das Aufschmelzverhalten so verändert, dass die Paste einen sogenannten Aufschmelzbereich erhält. Durch diesen Aufschmelzbereich verlangsamt sich die vollständige Benetzung, wodurch beide Anschlussseiten des Bauelements Gelegenheit erhalten, eine Lötstelle auszubilden. GENMA bietet z.B. eine Paste mit einem Schmelzbereich von 207 - 224 °C an. *[www. www.genma.eu, PW233-STV-GQ COSMO, 2025]*. SAC-Pasten werden z.B. durch das Hinzufügen von kleinen Menge Sb (Antimon) oder Bi (Wismut) dahingehend verändert. Bei der Verwendung von Anti-Tombstone-Pasten ist jedoch daran zu denken, dass die Paste auf alle Bauelemente der Baugruppe gleichermaßen wirkt und sich die veränderte Benetzung eventuell nachteilig auf andere Lötstellen auswirkt. Eine sorgfältige Erprobung sei daher angeraten!

Stickstoff N_2 in der Lötatmosphäre ist ein Stimulator für die Benetzung, da durch seine Anwesenheit der Luftsauerstoff aus dem Reflowofen verdrängt wird. Eine gute Benetzung kann leider das Time Gap zwischen den Lötstellen vergrößern, wodurch Tombstones erzeugt werden. Diese „schmerzliche“ Erfahrung haben einige Bauguppenproduzenten nach der Inbetriebnahme einer neuen Stickstoff-Lötanlage machen müssen, Bild 11. Durch die Nutzung einer

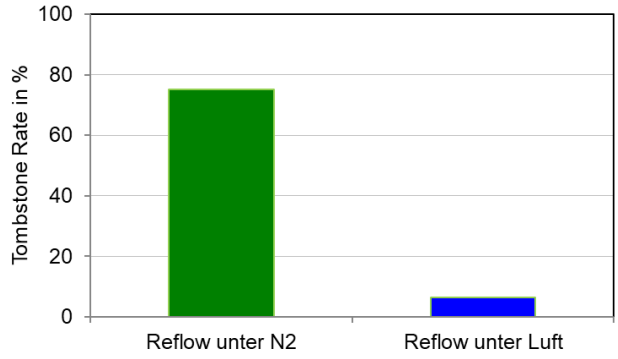
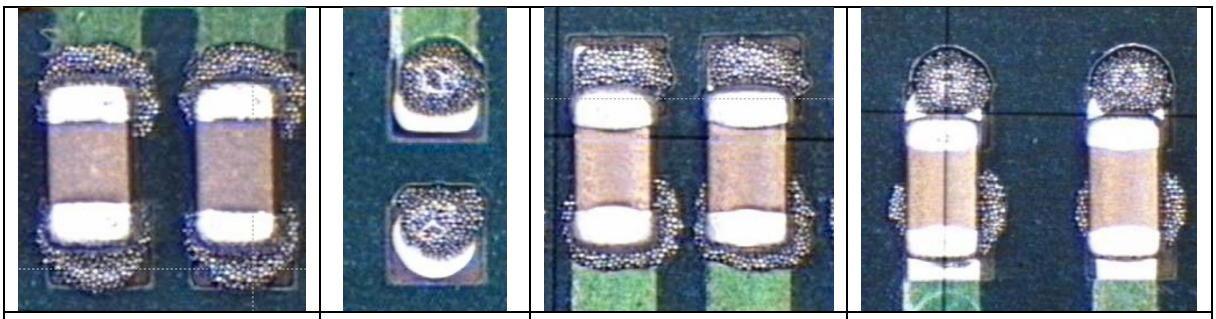


Bild 11: 0201-Tombstoning unter verschiedenen Atmosphären nach Daten von Schake
[J. Schake, Mass Reflow Assembly of 01005 Components, Proceedings APEX, p. 9, 2008]

sogenannten Sickstoffsteuerung kann der Restsauerstoff-Wert auf einen optimalen „Anti-Tombstone“ Wert eingestellt werden.

4. Assembly

Einen sehr großen Einfluss auf das Tombstonig hat der Versatz des Pastendrucks sowie der Bestückversatz (Bild 12). Umfangreiche Untersuchungsergebnisse hierzu sind u.a. bei Bell et.al. *[H. Bell, Grundlagen des Reflowlötens, Teil 3 Zuverlässigkeit und Fehlermanagement, S. 104 ff, Rehm Thermal Systems GmbH, 2021]* und Ashmore [Clive Ashmore, understanding stencil requirements for lead free mass imaging process, Proceedings APEX 2006] nachzulesen. Der Längsversatz hat hierbei den dominanteren Einfluss. Bei einem Querversatz hat das Bauelement meist noch genügend Lotkontakt, kann beim Umschmelzen einschwimmen, um einen Tombstone zu vermeiden. Je größer jedoch der Längsversatz wird, umso eher verliert das Pastendeposit und damit das umschmelzende Lot den ausreichenden Kontakt auf einer Anschlussseite und das Bauelement richtet sich auf. Mit der vorangestellten Mathematik lässt sich z.B. für einen 0201 Chip das Risiko für Tombstoning ausrechnen, wenn ein Versatz vorliegt. Auf dem Bild 13 ist zu sehen, dass bei ca. 75 µm Versatz das aufrichtende Kraftmoment Oberhand gewinnt.



Ohne Versatz	Nur Paste	Nur Bestückung	Paste + Bestückung

Bilder 12: 0402 Chips ohne / mit 100 µm Versatz bestückt

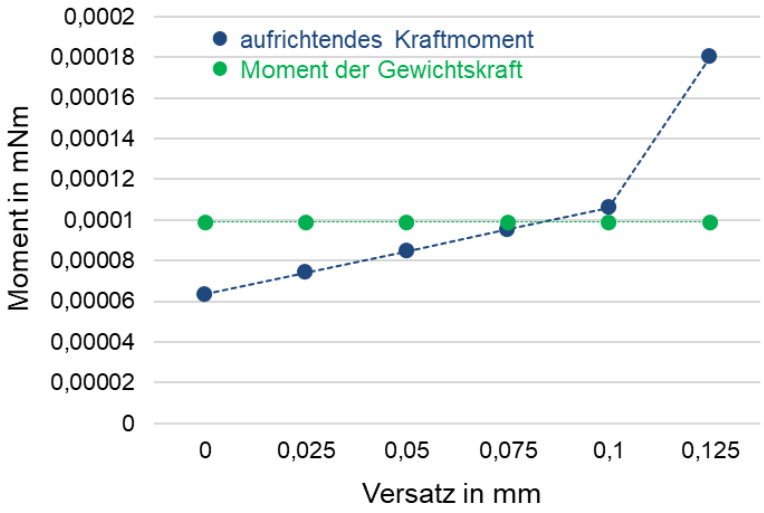
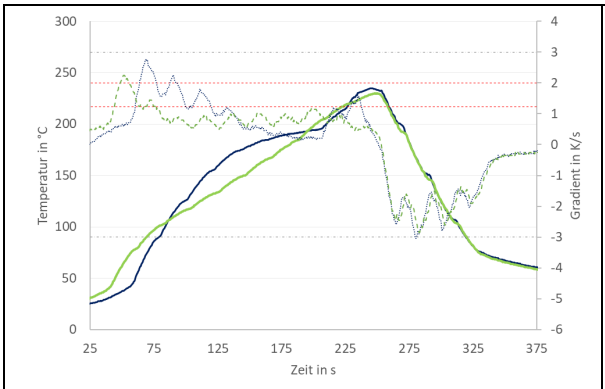


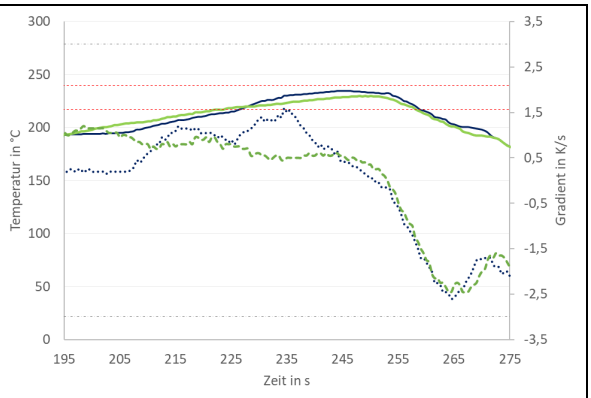
Bild 13: Vergleich der Momente der aufrichtenden Kraft mit der Gewichtskraft für einen 0201 Chip bei Bestückversatz

6. Das Reflowlöten

Vom Lötprozess wird oft erwartet, dass er alle Unzulänglichkeiten der bestückten Baugruppe ausgleichen kann. Leider ist dies nur bedingt möglich und erfordert zudem die Kenntnis über die Entstehungsursache der Tombstones. Wir haben bereits diskutiert, dass thermische Massendefizite des Leiterplattendesigns mittels einer besseren Durchwärmung teilweise ausgeglichen werden können. Der Reflowlötprozess unter Konvektion bietet mit der Transportgeschwindigkeit einen starken Parameter, um die Vorheizzeit zu verlängern und damit der internen Wärmeleitung der Baugruppe Zeit zu geben, die Wärmeverteilung zu homogenisieren. Seit sehr vielen Jahren ist bekannt, dass eine mehr lineare Profilierung beim Konvektionslöten dem Tombstoning entgegenwirken kann. Ein Blick auf die Reflowprofile einer Sattelprofilierung (soak profile) im Vergleich mit dem Linearprofil erklärt, warum dies so ist, Bild 14. Beide Reflowprofile halten die geforderten Gradienten-Grenzwerte von 3 K/s und -3 K/s ein. Auch alle Temperatur- und Zeitforderungen werden erfüllt. Dennoch erzeugte das Sattelprofil Tombstones. Der Grund hierfür ist in dem größeren Aufheizgradienten beim Übergang in den schmelzflüssigen Zustand der Lotpaste (Liquidus) zu suchen, der beim Sattelprofil 1 K/s größer ist als beim Linearprofil. Der höhere Gradient beschleunigt die Wärmeübertragung in die Baugruppe, wodurch das Risiko für einen Time Gap steigt.



Gradientenverlauf gestrichelt



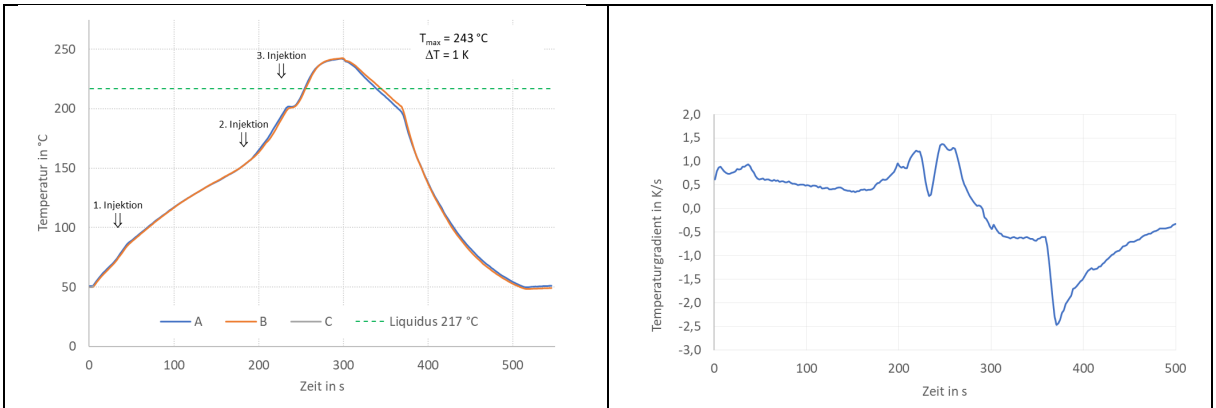
Ausschnitt Peak Bereich (über Liquidus)

Bilder 14: Sattelprofil (blau) im Vergleich zum Linearprofil (grün)

Während beim Konvektionslöten mehrere Temperaturzonen und die Transportgeschwindigkeit zur Gestaltung des Reflowprofils zur Verfügung stehen, wird beim Dampfphasenlöten – wie es bei Kraus Hardware zum Einsatz kommt – das Angebot an kondensierendem Galden*) *Galden® ist der geschützte Markenname der Firma SOLVAY SPECIALTY POLYMERS ITALY S.p.A.* gesteuert.

Die Steuerung der Injektion ist notwendig, da Galden einen großen Wärmeübergangskoeffizienten besitzt (bis 300 W/m^{2}K) und Grenzgradienten für die Baugruppe sonst ggf. verletzt werden können. Geringere Galden-Volumen können weniger Wärme/Energie übertragen, wodurch der Time Gap zwischen den Pads kleiner wird und Tombstones vermieden werden. Bild 14 zeigt ein typisches Dampfphasen-Reflowlötprofil.

⇒ *Mehr zum Dampfphasenlöten können Sie in unserem Blogtext „Dampfphase“ nachlesen.*



Reflowlötprofil	Zugehöriger Gradientenverlauf

Bild 14: Typisches Dampfphasen-Reflowlötprofil einer Baugruppe

Illés et. al. *[Balázs Illés, Attila Géczy, Dániel Szalmási, Effect of Large SMDs on Tombstoning during Vapour Phase Reflow Soldering, SIITME 2019 Proceedings]* hat untersucht, ob sich große massenreiche Bauelemente durch ihren thermischen „Abschattungseffekt“ beim Dampfphasenlöten negativ auf den Wärmetransfer zu benachbarten kleinen Bauelementen (Chips) auswirken. Er stellte fest, dass trotz der thermischen Unterschiede die aufgetretenen Tombstones auf den ungleichmäßigen Pastendruck zurückzuführen waren und nicht auf das Lötverfahren. Die thermische Abschattung stellte bei seinen Untersuchungen kein Problem dar.

Zusammenfassung

Einflussgröße		**Bemerkung**
Bauelement	Kleine und höhere Bauelemente sind anfälliger	Beim Austausch auf die Geometrie achten
	Finish	Ohne Störstellen Gut benetzbar
Leiterplatte	Geometrie der Pads	Zu große Pads vermeiden
	Thermische Anbindung möglichst seitengleich gestalten	Vorheizung verlängern Evtl. Unterheizung nutzen

		Massenanbindung seitengleich gestalten
	Finish	Auf beiden Seiten des Pad-Paares gut benetzbar
Lotpaste	Benetzungsverhalten	Evtl. Anti-Tombstone-Paste Achtung: Die gesamte Baugruppe wird beeinflusst
Druck	Pastenvolumen ungleich	Vorheizung verlängern Bessere Durchwärmung der BG
	Versatz	Möglichst vermeiden
Bestückung	Versatz	Möglichst vermeiden Korrigierend eingreifen, wenn Versatz > 75 µm wird
Reflowlöten	Lineares Profil bevorzugen	Gradient beim Übergang in den Liquidus flach halten
	Stickstoffatmosphäre	Regelung des Sauerstoffgehalts: O_2-Gehalt ggf. erhöhen
	Transportgeschwindigkeit	Kleinere Geschwindigkeit fördert die Durchwämung