

## Untersuchung des Selbstzentriereffektes mittels AOI zur gesicherten Verarbeitung von 01005-Bauelementen

Stefan Härter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg. Detlef Beer, Viscom AG, Hannover. Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg

*Wesentlicher Treiber der Aufbau- und Verbindungstechnik für elektronische Baugruppen ist die Miniaturisierung mit dem Ziel hochintegrierter Systeme. Im Bereich der passiven Bauelemente hat die Miniaturisierung zur Einführung der Baugröße 01005 geführt. Als Baugröße 01005 werden dabei zweipolige Bauelemente (Chip-Widerstände und Chip-Kondensatoren) mit Abmessungen von etwa  $400\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$  bezeichnet, die je nach Hersteller und Art des Bauelementes eine Höhe im Rahmen von ca.  $120\ \mu\text{m}$  bis etwa  $300\ \mu\text{m}$  aufweisen. Die Verarbeitung dieser Bauelementgröße stellt sowohl an die Produktionsprozesse als auch an die verschiedenen Inspektionschritte erhebliche Ansprüche.*

*Miniaturization is an important driver of the assembly and interconnection technology for electronic assemblies, aiming for highly integrated systems. In the field of passive components miniaturization has led to the introduction of 01005 parts. Size 01005 refers to two-terminal components (chip resistors and capacitors) measuring about  $400\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ . Depending on the manufacturer and component type they are about  $120$  to  $300\ \mu\text{m}$  in height. Processing this component format puts significant demands on the production processes and the various inspection routines.*

### Einleitung und Zielstellung

Trotz zahlreicher Veröffentlichungen, in denen die Verarbeitung von 01005-Bauteilen thematisiert wurde, bestehen weiterhin weder eindeutige Empfehlungen noch gesicherte Prozessfenster oder eine vollständige Beschreibung potenzieller Fehlerursachen. Ein häufig auftretender Fehler bei 01005-Bauteilen ist die Tombstone-Bildung, bei der sich das zweipolige Bauelement durch eine einseitige Kontaktierung aufrichtet. Beispielhafte Ursachen können ein unzureichender Lotpastenauftrag, ein Versatz im Bestückprozess oder eine nicht optimale Prozessführung im abschließenden Reflow-Lötprozess sein. Eine zuverlässige und automatisierte Inspektion dieser Baugröße zur Kontrolle aller wesentlichen 3D-Merkmale bringt eine Vielzahl an Herausforderungen für das einzusetzende AOI-System.

Im Rahmen der durch statistische Verfahren gestützten Untersuchungen werden in einer Musterproduktion Baugruppen mit nahezu 45000 Bauelementen unter Variation signifikanter Einflussfaktoren verar-

beitet. In der anschließenden AOI-Prüfung gilt es die teilweise provozierte Tombstone-Bildung zuverlässig zu erkennen. Bei erfolgreicher Kontaktierung erfolgt zudem eine hochgenaue Positionsvermessung der Bauelemente, um den Selbstzentriereffekt bewerten zu können. Der Selbstzentriereffekt beschreibt dabei das Einschwimmverhalten der Bauelemente, die sich durch die Oberflächenspannung des Lotes während des Reflow-Lötprozesses neu ausrichten. Die Untersuchungen leisten einen Beitrag, Einflussfaktoren auf Tombstone-Effekte und die Selbstzentrierung von Bauelementen der Größe 01005 besser bewerten zu können.

### Versuchsbeschreibung

Für die Untersuchungen kommt eine FR4-Leiterplatte mit Abmessungen von  $100\ \text{mm} \times 160\ \text{mm}$  zum Einsatz (Abb. 1). Die Dicke des Versuchsträgers beträgt  $0,8\ \text{mm}$  und besitzt als Metallisierung ein Nickel-Gold-Finish. Auf der Oberseite der Leiterplatte sind im linken Bereich Zweipoler der Baugröße 0201,

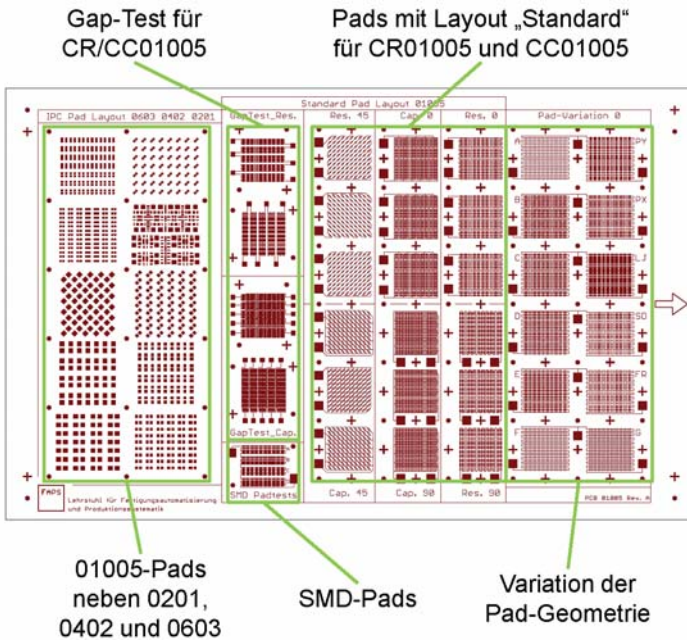


Abb. 1: Die Oberseite der Leiterplatte ermöglicht eine Vielzahl an Untersuchungen

0402 sowie 0603 neben 01005-Bauelementen vorgesehen, um Effekte vor allem im Schablonendruckprozess evaluieren zu können, die bei der gleichzeitigen Verarbeitung unterschiedlicher Baugrößen zu erwarten sind. Für die Auslegung dieser Pad-Größen werden die Empfehlungen der Richtlinie IPC-7351B [5] berücksichtigt. Neben einzelnen Positionen von Bauteilen, in denen die Abstände der Bauteile zueinander in einem ‚Gap-Test‘ analysiert werden können, sind auch einzelne Landeflächen vom Typ Solder-Mask-Defined (SMD-Pads) berücksichtigt. Die übrigen Pads sind mit Aussparungen im Lötstopplack ausgeführt und damit Non-Solder-Mask-Defined (NSMD-Pads).

Auf der rechten Seite der Leiterplatte sind insgesamt 14 verschiedene Geometrien für die Form der Anschlussflächen von 01005-Komponenten berücksichtigt. Dabei wurde aus einer Vielzahl an Veröffentlichungen ein Standard-Layout für Kondensatoren bzw. Widerstände abgeleitet [3], was in *Abbildung 2* dargestellt ist. Die hohe Variation der Form der Metallisierung soll Rückschlüsse auf das Verhalten

der 01005-Komponenten bei der Verarbeitung auf unterschiedlich ausgeprägten Pads ermöglichen, wobei insbesondere der Selbstzentriereffekt evaluiert werden soll. Die verwendeten Bauelemente besitzen Abmessungen von etwa 400 µm Länge und 200 µm Breite, wobei die Kondensatoren etwa die doppelte Höhe zu den Widerständen mit ca. 120 µm Höhe aufweisen. Dies wird im definierten Standard-Layout durch 20 µm breitere Anschlussflächen in Längsrichtung des Bauelementes berücksichtigt.

Da die Flächenverhältnisse (Aperturöffnung zu Aperturwandung) der untersuchten 80 µm und 100 µm dicken

Schablonen teilweise den üblicherweise empfohlenen Wert von 0,66 unterschreiten, werden für den Auftrag der Lotpastenmaterialien beschichtete NanoWork-Edelstahlschablonen verwendet, welche sich für kritische Aperturgrößen bewährt haben [8]. Dünnere Druckschablonen kommen nicht zum Einsatz, da im weiteren Projektfortschritt das Verhalten von 01005-Bauelementen insbesondere hinsichtlich der Verarbeitung in einem heterogenen Bauteilspek-

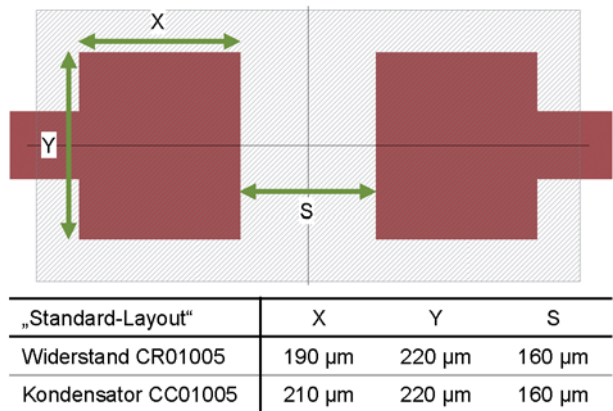


Abb. 2: Aus einer Vielzahl an Veröffentlichungen wird ein Standard-Design für 01005-Komponenten aus der Literatur abgeleitet [3]

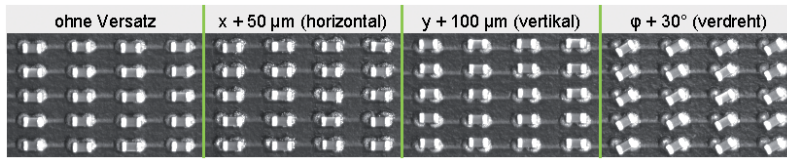


Abb. 3: Zur Bestückung der 01005-Bauelemente werden vier Positionen berücksichtigt (exemplarische Darstellung vor dem Reflow-Lötprozess)

trum untersucht werden soll. In Vorversuchen werden zunächst optimale Druckparameter für die jeweilige Lotpaste ermittelt, welche möglichst hohe Werte für die Transfereffizienz sicherstellen sollen. Die verwendeten Lotpasten von zwei unterschiedlichen Herstellern basieren auf einer bleifreien Zinn-Silber-Kupfer-Legierung (SAC305) und werden in den beiden Pastentypen 4 sowie 5 verarbeitet. Nach [2] und [6] besitzt eine Lotpaste vom Pulvertyp 4 mindestens 90 % Massenanteil mit Korngrößen zwischen 20 µm bis 38 µm im Durchmesser. Im Pulvertyp 5 sind mindestens 90 % Massenanteil mit Korngrößen von 15 µm bis 25 µm Durchmesser verteilt.

Im Schablonendruckprozess werden Lotpastenlieferant, Körnung der Paste sowie die Schablonendicke in jeweils zwei Stufen variiert. Im darauf folgenden Bestückprozess sind vier Bestückpositionen berücksichtigt, die sich in Referenzbestückung, Bestückung mit 50 µm in x- bzw. 100 µm Versatz in y-Richtung sowie mit 30° Verdrehung bestückte Bauelemente unterscheiden (Abb. 3). Auf die 14 verschieden ausgeprägten Layouts der Metallisierung werden jeweils 50 Widerstände sowie 50 Kondensatoren bestückt, die unter Stickstoffatmosphäre im abschließenden Reflow-Prozess verlötet werden. Der Versuchsplan umfasst damit 32 Leiterplatten mit insgesamt 44 800 Bauelementen.

Die Versuchsreihen werden unter konstanten klimatischen Bedingungen an einer verketteten SMD-Fertigungslinie durchgeführt. Nach dem Pastendruckprozess erfolgt die Bestückung der Bauelemente nach dem Prinzip Collect & Place mit voller Bestückleistung, wobei der eingesetzte Bestückkopf eine Bestückgenauigkeit von  $\pm 41 \mu\text{m}$  ( $3\sigma$ ) bzw.

zu können. Bei der Profilierung des Temperatur-Zeit-Verlaufes sind die jeweiligen Herstellerempfehlungen der eingesetzten Lotpastenmaterialien berücksichtigt, um eine möglichst gute Prozessführung im abschließenden Reflow-Prozess zu erzielen. Nach der Fertigung der Baugruppen werden die Bauelemente mittels automatisch optischer Inspektion geprüft und vermessen.

### Automatische optische Inspektion von 01005-Komponenten

#### Das Prüfsystem und die Prüfabdeckung

Die AOI-Vermessung der 01005-Bauteile wird mit dem System S3088 ultra der Firma Viscom AG durchgeführt (Abb. 4). Das Prüfsystem zeichnet sich im Besonderen durch seine XM-Sensorik aus und ist mit seiner serienmäßigen 8 µm Auflösung ideal für diese Messaufgabe geeignet. Zur Sicherstellung von vergleichbaren Ergebnissen wurde für die Bauformen CR01005 und CC01005 jeweils ein Prüfablauf

definiert, der für alle Pad- und Versuchsvariationen beibehalten wird. Neben der eigentlichen Vermessungsaufgabe werden auch die klassischen AOI-Prüfschritte wie Bauteilanwesenheit, Qualität der Lötstelle und Tombstone-Bildung abgedeckt. Die Fehlerfindung wird durch den Einsatz der bewährten „Integrierten Verifikation“ sichergestellt.

Bei der Prüfprogrammerstellung stellt sich schnell heraus, dass durch die Besonderheiten der Versuchsplanung viele Tombstones entstehen (Abb. 5). Damit die Integrität der Messwerte



Abb. 4: Für die Vermessung der 01005-Bauelemente wird das AOI-System S3088 ultra der Firma Viscom AG eingesetzt

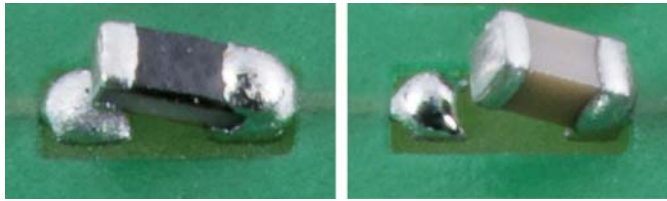


Abb. 5: Beispielhafte Tombstone-Bildung an einem CR01005 (links) und an einem CC01005 (rechts)

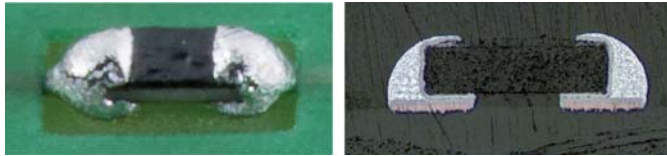


Abb. 6: Die Ausprägung der Lötverbindungen zeigt das verhältnismäßig hohe Lotangebot bei Widerständen (links) und in einem beispielhaften Querschliff (rechts)

gewahrt bleibt, wird der Prüfablauf wie folgt abgebildet:

- Schritt 1: Prüfung auf Bauteil-anwesenheit und Tombstone-Bildung
- Schritt 2: Vermessung des Bauteils hinsichtlich seiner x-, y- und  $\phi$ -Lage (Verdrehung aus der Waagerechten). Es gibt nur gültige Messwerte, wenn explizit der erste Prüfschritt fehlerfrei durchlaufen wurde
- Schritt 3: Überprüfung der Lötstellenqualität

Die Auswertung der Prüfergebnisse hat ergeben, dass fehlende Bauteile und fehlerhafte Lötverbindungen marginal aufgetreten sind und somit vernachlässigt werden können. Hingegen ist das Auftreten von Tombstones ein wertvoller Indikator für die Versuchsauswertung und Versuchsanalyse.

### Besonderheiten der Bauform CR01005

Bei der Bauform CR01005 ergibt sich während der Vorbereitung noch eine besondere Herausforderung: Die Bauform weist nur eine Höhe von etwa 120  $\mu\text{m}$  auf. Bei den verwendeten Pad-Layouts

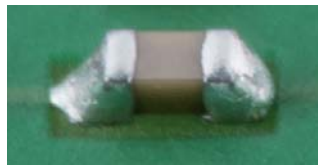


Abb. 7: Die Lotmenge an den untersuchten CC01005-Bauelementen ist vergleichsweise unauffällig

und einer umlaufenden Schablonenreduktion von 10  $\mu\text{m}$  ist das Lotangebot in der Regel zu groß (Abb. 6). Dieser Effekt verstärkt sich noch beim Einsatz der 100- $\mu\text{m}$ -Schablone. Das Lot fließt in der Regel über die Stirnfläche des Terminalanschlusses hinweg und breitet sich auf der Bauteilkappe aus. Im Vergleich dazu sind die CC01005-Bauteile wegen ihrer größeren Bauteilhöhe bzgl. der Pastenmenge und Ausprägung der Lötverbindungen unauffällig (Abb. 7).

Die beiden in *Abbildung 6* dargestellten Bilder verdeutlichen den Lotüberfluss bei Widerständen noch einmal. Eine IPC-konforme ideale Lötverbindung kann so nicht erzielt werden, dies wird bei der Programmerstellung berücksichtigt. An dieser Stelle ergibt sich eine Zwickmühle. Einerseits kann das Lotangebot für die CR01005-Bauteile über die Fläche reduziert werden, andererseits stellen die immer kleiner werden Aperturen eine besondere Heraus-

forderung an den Pastendruckprozess. Der Standard-Area-Ratio-Wert von 0,66 wird für den Schablonendruck mit der 80  $\mu\text{m}$  Schablone schon unterschritten (vgl. beispielhafte Werte für das definierte Standard-Layout in *Abb. 8*).

### Abbildung der Messaufgabe

Bevor mit der eigentlichen Messaufgabe begonnen wird, muss das AOI-System und das Prüfprogramm gemeinsam hinsichtlich seiner Stabilität und Mess-

Bauteil	Apertur-Breite	Apertur-Länge	Aspect Ratio	Aspect Ratio	Area Ratio	Area Ratio
			80 $\mu\text{m}$ Schablone	100 $\mu\text{m}$ Schablone	80 $\mu\text{m}$ Schablone	100 $\mu\text{m}$ Schablone
			Threshold 1.5	Threshold 1.5	Threshold 0.66	Threshold 0.66
CC01005	200	210	2.500	2.000	0.6402	0.5122
CR01005	180	210	2.250	1.800	0.6058	0.4846

Abb. 8: Die Area-Ratio-Werte unterschreiten teilweise die Empfehlungen der IPC mit Werten unter 0,66



fähigkeit überprüft werden. Bei der Ermittlung der Messwerte kommt ein Verfahren zum Einsatz, dass im Subpixelbereich der 8 µm Kamera-Auflösung arbeitet. Durch die Kombination der Kanten- und Bauteilschwerpunktinformationen können Auflösungen im 500 nm-Bereich erzielt werden. Zur Verifikation der Reproduzierbarkeit werden 50 CR01005- und 50 CC01005-Bauteile über 100 Mal nacheinander vermessen und die Ergebnisse in ein Sigma-Verteilungsdiagramm überführt (Abb. 9). Das AOI-System liefert ein Sigma < 3,05 µm und wird damit für die Versatzvermessung als fähig erklärt.

### Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

Bei der Vermessung der Bauelemente sind insgesamt etwa 1500 Bauelemente als Tombstones klassifiziert. Daher erfolgt eine getrennte Betrachtung der Einflussfaktoren auf die Tombstone-Bildung und auf den Selbstzentriereffekt.

### Bewertung des Auftretens von Tombstone-Effekten

Bei einer ersten Gesamtbeurteilung der aufgetretenen Fehlerstellen lässt sich zunächst nachweisen, dass die detektierten Tombstones bei Kondensatoren etwa doppelt so häufig vorkommen im Vergleich zu Widerständen, die mit etwa 120 µm nur etwa die Hälfte der Bauteilhöhe aufweisen. Dieses Verhalten ist nahezu bei allen Pad-Geometrien gleichermaßen ausgeprägt. Beim Tombstone-Verhalten der jeweiligen Layouts werden bereits signifikante Unterschiede deutlich, wobei insbesondere außergewöhnliche Formen, wie beispielsweise kreisförmige Pads (z. B. Layout A und G) oder Geometrien mit gestauchten Abmessungen (z. B. Layout PY) niedrige Tombstone-Raten aufweisen (Abb. 10). Eine berücksichtigte

Sonderform (Layout D) zeigt sowohl bei der Neigung zur Tombstone-Bildung wie auch bei der späteren Auswertung des Selbstzentriereffektes die schlechtesten Ergebnisse und kann damit in den gewählten Abmessungen nicht empfohlen werden.

Bei getrennter Betrachtung der eingesetzten Lotpastenmaterialien werden signifikante Unterschiede deutlich, wobei bei Hersteller B nur etwa ein Viertel aller Tombstone-Fehler auftreten (Abb. 11). Bei Pastenmaterial A ist ein eindeutiger Trend ersichtlich, wobei der Pastentyp 5 sowie die Verwendung einer 100 µm dicken Druckschablone geringere Fehleraten aufweisen. Dagegen tritt bei Verarbeitung der Paste vom Typ 4 des Herstellers B eine herabgesetzte Neigung zur Tombstone-Bildung auf.

Ein vorgegebener Versatz der Bauteilposition lässt eine höhere Neigung zur Tombstone-Bildung im Reflow-Prozess vermuten (Abb. 3). Unterteilt in die

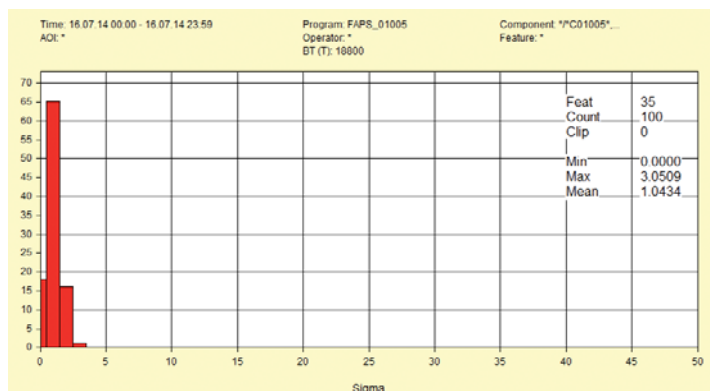


Abb. 9: Das AOI-System sowie das Prüfprogramm wurden vor der eigentlichen Messaufgabe hinsichtlich Stabilität, Messfähigkeit und Reproduzierbarkeit überprüft

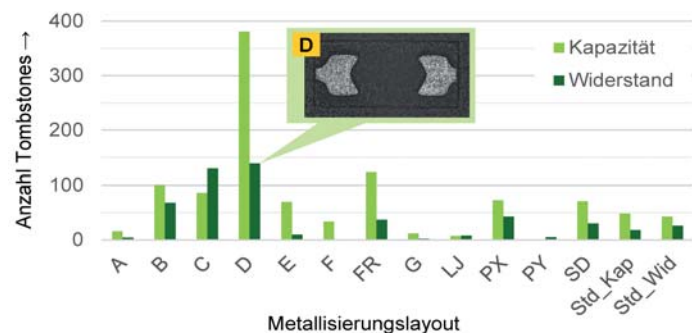


Abb. 10: Verteilung der aufgetretenen Tombstones auf den verschiedenen Pad-Geometrien (aufgetrennt nach CC01005 und CR01005)

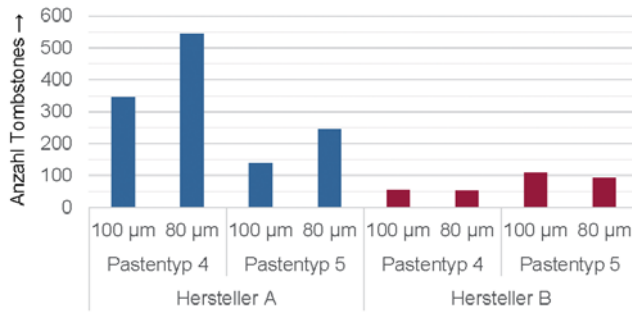


Abb. 11: Pastenmaterial A weist signifikante Unterschiede im Vergleich zu Lotpaste B auf

jeweiligen Positionen vor dem Lötprozess treten die meisten Tombstone-Fehler bei den verdreht bestückten Bauelementen auf. Ein horizontaler Bestückversatz in x-Richtung wirkt sich ebenfalls signifikant auf die Grabsteinbildung aus. Bei Bauteilen ohne Versatz oder bei vertikaler Verschiebung in y-Richtung treten nur vergleichsweise wenige Fehlerbilder auf, wobei insbesondere die y-Richtung positiv auffällig ist mit weniger Defekten als bei der Referenzbestückung ohne Versatz (Abb. 12). Ein Großteil der aufgetretenen Tombstones ohne programmierten Bestückversatz kann dabei auf das Pad-Layout D zurückgeführt werden.

### Selbstzentrierverhalten von 01005-Bauelementen

Zunächst erfolgt die Analyse der Referenzbaugruppen, die ohne vorgegebenen Bestückversatz verarbeitet wurden. Aus der Betrachtung über alle Pad-Geometrien hinweg lässt sich ein Mittelwert für die Positionierung nach dem Reflow-Prozess von  $x = 3,97 \mu\text{m}$  (Standardabweichung  $\sigma = 7,02 \mu\text{m}$ ) bzw.  $y = -5,20 \mu\text{m}$  ( $\sigma = 10,51 \mu\text{m}$ ) ermitteln. Die Verdrehung weist im Mittel  $0,06^\circ$  ( $\sigma = 2,19^\circ$ ) auf. Die Pad-Geometrie der Metallisierung hat dabei den größten Effekt auf die Position der Bauteile, wobei sich die horizontale und vertikale Verschiebung zur Sollposition auf den jeweiligen Anschlussflächen unterscheidet. Damit ist die Identifikation eines optimalen Layouts nicht ohne weiteres mög-

lich und erfordert eine Sondierung auf den speziellen Anwendungsfall für eine geeignete Bewertung. In weiteren Effektberechnungen weisen Widerstände eine bessere Positionierung zur Sollposition auf als Kondensatoren. Die Auswertung der Lotpastenhersteller ist dagegen nicht eindeutig, die Verwendung von Pastentyp 4 weist bei einem erfolgreichen Schablonendruckergebnis im Vergleich zu Pastentyp 5 keine signifikanten Nachteile auf. Ebenso ist der Effekt der gewählten Schab-

lonendicken in diesem Teil der Auswertungen nicht signifikant.

Durch Auswertung der gemessenen Positionen eingeschwommener Bauteile lässt sich für alle Bestückvarianten mit Versatz bzw. Verdrehung das Layout der Metallisierung als Faktor mit der größten Signifikanz nachweisen. Dabei weisen Widerstände auf allen Baugruppen mit programmiertem Bestückversatz eine höhere Neigung zur Selbstausrichtung und damit geringere Abweichungen als Kondensatoren zur Sollposition auf, wobei dieser Effekt insbesondere bei vertikalem Versatz in y-Richtung ausgeprägt ist. Unterschiedliche Hersteller der Lotpaste bewirken in einer Gesamtbetrachtung keine signifikanten Effekte. Ebenso weist ein Pastentyp 4 keine signifikanten Nachteile gegenüber einem Pastentyp 5 auf. Die Verwendung einer Schablone mit einer Dicke von  $100 \mu\text{m}$  bewirkt vereinzelt ein besseres Einschwimmverhalten der Bauelemente im Vergleich zu einer  $80 \mu\text{m}$  Schablone.

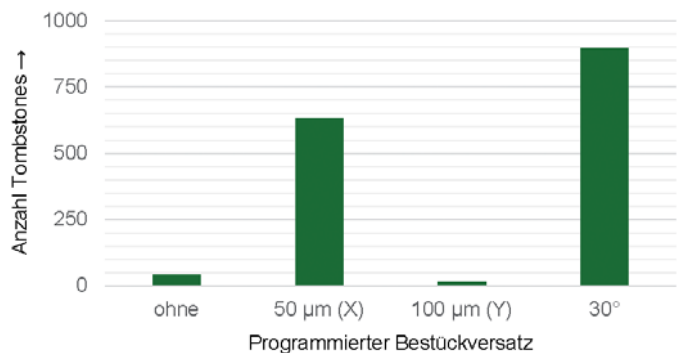


Abb. 12: Tombstones treten insbesondere bei horizontaler Verschiebung und Verdrehung der Bauelemente auf

Das unterschiedliche Einschwimmverhalten der Bauelemente wird erst durch spezifische Auswertung durch Reduktion der Parameterkombinationen deutlich, indem beispielsweise einzelne Kombinationen aus Pad-Layout, Pastenhersteller bzw. Lotpastentyp und verwendeter Druckschablone gezielt ausgewertet werden. Darüber hinaus liefern die gemessenen Daten aus der Pasteninspektion (Solder Paste Inspection: SPI) wertvolle Hinweise, um den Einfluss des Auftrags der Lotpaste im Schablonendruckprozess berücksichtigen zu können, wobei insbesondere die Transfereffizienz und damit das übertragene Pastenvolumen im Fokus steht. Die zusätzlich derzeit durchgeführte Korrelation der gewonnenen SPI-Daten und der AOI-Vermessung bietet dabei großes Potenzial für eine ganzheitliche Bewertung über die gesamte Prozesskette hinweg, um die Ursache für Fehlerbildung bzw. unterschiedliches Einschwimmverhalten der jeweiligen Bauelemente besser beschreiben zu können.

## **Zusammenfassende Bewertung und Ausblick**

Im Rahmen der Untersuchungen wurden 44 800 Bauelemente der Größe 01005 unter großer Variation der Prozessparameter verarbeitet und mittels AOI vermessen. Das optische Erscheinungsbild von 01005-Bauelementen stellt dabei hohe Anforderungen an die automatische optische Inspektion. Die Stabilität, die Messmittelfähigkeit und die Reproduzierbarkeit der eingesetzten AOI-Anlage konnten nachgewiesen werden. Die verarbeiteten Baugruppen konnten damit zum einen hinsichtlich Tombstone-Bildung sowie weiterer Defekte wie Bauteilanwesenheit, Qualität der Lötverbindungen prozesssicher geprüft werden. Zum anderen erfolgte darüber hinaus eine hochgenaue Positionsbestimmung mit Ausgabe der Bauelementlage hinsichtlich der x-, y- und  $\phi$ -Lage zur Sollposition.

Bei der Auswertung der Versuchsreihen wurde unterschieden zwischen Tombstone-Bildung und der Beschreibung des Einschwimmverhaltens. Grundsätzlich weisen die Kondensatoren eine höhere Neigung zum Grabsteineffekt im Vergleich zu Widerständen auf. Ein horizontaler Bestückversatz sowie verdreht bestückte Bauelemente provozieren den Großteil der aufgetretenen Tombstones. Das Pad-Design und auch der Hersteller der Lotpaste haben signifikanten Einfluss auf das Prozessergebnis. Auch beim Selbstzentriereffekt hat die Gestaltung der Pad-

Geometrie auf der Leiterplatte den größten Effekt auf das Einschwimmen der Bauelemente. Widerstände weisen dabei grundsätzlich eine höhere Neigung zur Neuausrichtung während des Reflow-Lötprozesses auf. Die Bewertung des Einflusses einer Kombination aus Hersteller der Lotpaste, Pastentyp und eingesetzte Schablonendicke erfordert dabei immer eine spezielle Analyse, die auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden muss. Um die Einflussfaktoren besser bewerten zu können, muss damit eine Einzelbetrachtung der jeweiligen Fertigungsparameter erfolgen, da eine Vielzahl an Effekten und Wechselwirkungen auf das Prozessergebnis auftritt. Ein ‚optimales‘ Pad-Layout für 01005-Bauelemente stellt nach bisheriger Bewertung der Ergebnisse immer einen Kompromiss zur Berücksichtigung einer Vielzahl an Einflussfaktoren dar.

## **Danksagung**

Teile der dargestellten Ergebnisse sind im Rahmen des Forschungsprojektes ‚01005-Prozessfenster‘ entstanden. Das IGF-Vorhaben 17420 N der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Ein großer Dank gilt allen Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses, die das Projekt durch Sachleistungen sowie durch wertvolle Hinweise beratend unterstützen.

## **Referenzen**

- [1] Beer, D.; Funke, H.-J.: Applikationsbericht zur AOI von DFN-Bauteilen, PLUS – Produktion von Leiterplatten und Systemen (2014), Nr. 4, S. 819-826
- [2] DIN 32513-1. 01.01.2005. Weichlotpasten - Teil 1: Zusammensetzung, Technische Lieferbedingungen
- [3] Härter, S.; Lántzsch, C.; Franke, J.: Gesicherte Verarbeitung von hochminiaturisierten Bauelementen der Baugröße 01005 in der Elektronikproduktion, Tagungsband zur 7. DVS/GMM-Tagung Elektronische Baugruppen und Leiterplatten (EBL), 2014, S. 84-91
- [4] Heilmann, N.: 01005 Assembly – From Board Design to the Reflow Process, OnBoard Technology (2008), S. 54-59
- [5] IPC-7351B-DE. 01.06.2010. Basisanforderungen an das SMT-Design und SMD-Anschlussflächen-Richtlinie
- [6] IPC-J-STD 005. 01.01.1995. Requirements for Soldering Pastes
- [7] Krippner, P.: Prozessoptimierung mit 3D-SPI: Mehr als nur Fehlerdetektion, Elektronik Produktion & Prüftechnik (2011), S. 1-3
- [8] Rösch, M.; Franke, J.: Characteristics and potentials of nano-coated stencils for stencil printing optimization, Proceedings of the Surface Mount Technology Association International Conference (SMTAI), Orlando, FL, 2010, S. 816-822

[www.faps.de](http://www.faps.de), [www.viscom.de](http://www.viscom.de)