Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 98 (2007)
Heft: 13

Artikel: Fehleranalyse : knifflig, wichtig, qualitätsentscheidend
Autor: Odermatt, Walter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857457

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

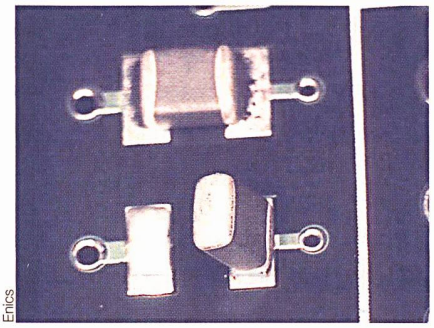
Download PDF: 01.07.2025

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

Fehleranalyse: knifflig, wichtig, qualitätsentscheidend

Was beim Bestücken von Leiterplatten schiefgehen kann

Fehler in der Elektronikfertigung können subtil versteckt sein, und die Realität zeigt, dass scheinbar unmögliche Konstellationen doch möglich sind. Bauteile, die in der letzten Serie zu keinerlei Beanstandungen führten, stehen plötzlich wie Grabsteine auf der Leiterplatte. Oder Keramikkondensatoren schliessen unverhofft zwei Spannungsebenen kurz, weil sie aufgrund mechanischer Spannungen zerbrochen sind. Die Fehleranalyse ist Detektivarbeit, führt aber zu wichtigen Erkenntnissen für das Qualitätsmanagement.



Enics

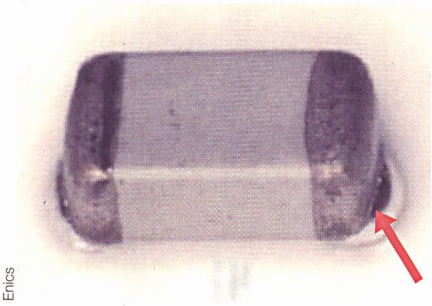
Bild 2 Tombstoning bei Varistoren.

Wenn Edward A. Murphy mit seiner Aussage «Whatever can go wrong, will go wrong, and at the worst possible time» nur nicht immer Recht haben müsste. Allen Qualitätsprogrammen wie 6-Sigma zum Trotz gehören Fehler in der Fertigung von

Walter Odermatt

Industrieelektronik und Medizinaltechnik zum Alltag. Das Fazit vorneweg: Einen Einzelschuldigen gibt es selten. Fast immer sind es aussergewöhnliche Konstellationen, die einen verdeckten Fehler erst möglich machen. Komponentenhersteller, Einkauf, Wareneingang, Layout, Fertigung sowie Reparatur – sie sind alle potenzielle Fehlerquellen.

Die Qualität eines EMS-Dienstleisters zeigt sich gerade darin, alle Möglichkeiten gleichermassen offen in Betracht zu ziehen, die Fehleranalyse professionell und konsequent zu betreiben sowie den Erfahrungsgewinn zu dokumentieren und in den Prozessablauf einzuspeisen. Welch knifflige Detektivarbeit die Fachverantwortlichen dabei mitunter zu leisten haben, zeigen folgende exemplarische Beispiele aus der Praxis.



Enics

Bild 1 Löttest an 6 Jahre altem Bauelement.

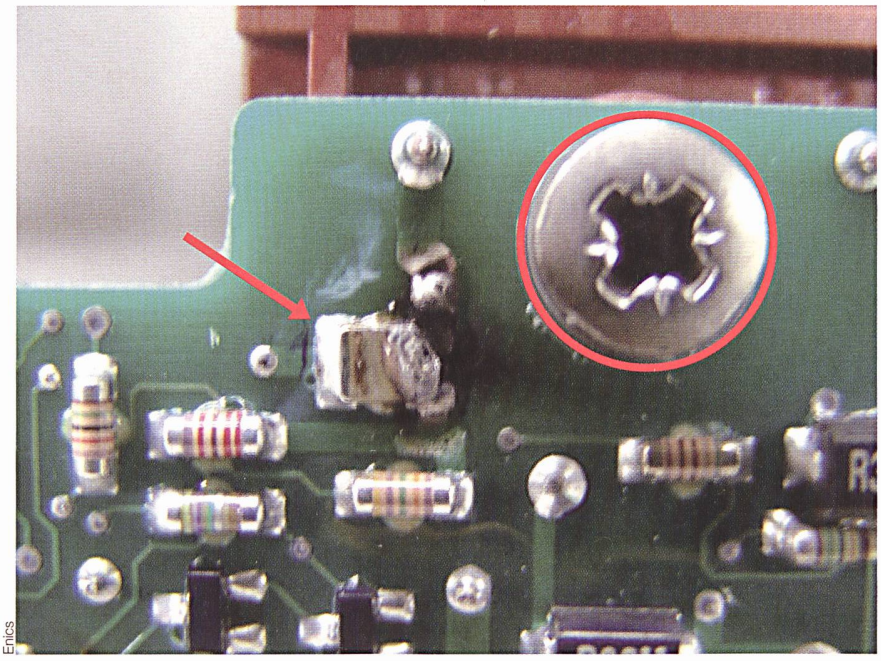
6 Jahre alte Bauteile

Ein einfach zu detektierender Qualitätsfall: Tadellos bestückte Keramikkondensatoren (MLCC) fanden sich nach dem Lötprozess in grosser Anzahl statistisch verteilt auf den Leiterplatten – leider nur nicht auf den vorgesehenen Lötpads. Untersuchungen am Mikroskop zeigten schlechte bis fehlende Benetzung der Bauelemente-Metallisierungen, die auch durch Löttests bestätigt wurden (Bild 1). Die Überprüfung der Bestellsituation bezüglich falschen Materials ergab keine Hinweise, und da die Bauelemente zwei Monate nach Anlieferung vom Lager genommen wurden, standen die Verantwortlichen vor einem Rätsel. Erst die Überprüfung des Verpackungsmaterials führte auf die Spur: Die Bauelemente waren bei Anlieferung 6 Jahre alt, also bereits pensioniert. Der Kondensator war zudem abgekündigt, der Allzeitbestand aufgebraucht und der für den Kunden dringende Bedarf musste auf dem freien Markt beschafft werden.

Das synchrone Zusammentreffen von Nachbeschaffung und einem Durchschlupf bei der Wareneingangsprüfung führte zu diesem Qualitätsfall. Bedingt durch die gute Wirtschaftslage, kombiniert mit der gesetzlich notwendigen Umstellung auf bleifreies Löten (vgl. RoHS, WEEE), nehmen die Abkündigungen von Bauelementen in verbleiter Technik stark zu, sodass das Potenzial für solche Fehler in naher Zukunft drastisch zunehmen wird. Aus diesem Grund lautet die dringende Empfehlung, der Wareneingangsprüfung vermehrt Aufmerksamkeit zu schenken. Nicht vergessen sollte man dabei auch das Inhouse-Lagermaterial. Interne Untersuchungen von Enics Schweiz an ausgeschlachtetem Lagermaterial zeigten, dass Chip-Bauformen bereits nach 3 bis 4 Jahren Lagerung auch bei kontrollierten Bedingungen Probleme beim Benetzen zeigen können. Soll also Lagermaterial aus Allzeitbeständen wieder verbaut werden, gilt es, vor dem Serienprozess Löttests an diesen Bauelementen durchzuführen.

Gefälschte Bauelemente

Bei der Fehleranalyse muss auch das Thema Bauelementefälschungen erwähnt werden – die Klagen über gefälschte Bauelemente nehmen in der EMS-Branche stark zu [1]. Exemplarischer Fall: Im Jahr 2005 zeigte ein Funktionstest, dass ein SRAM von TI erheblich Wärme bei 5-fach erhöhtem Stromverbrauch produzierte und gerätespezifische Funktionen nicht liefen. Analysen an fehlerhaften und Originalbauteilen bewiesen, dass es sich um gefälschte Bauelemente handelte. Die Originalbauele-



Enics

Bild 3 Verschraubung in unmittelbarer Nähe eines MLCC.

mente von TI hatten einen grossen TI-Chip, die Fälschungen einen wesentlich kleineren Chip von AMD, mit zudem teils nicht ankontaktierten Anschlüssen.

Falsche Lieferung

Ein weiterer obskurer Fall aus der EMS-Praxis: Nach der erfolgreichen Überprüfung eines Testboards nach dem Reflowlöten wurden 49 Boards für den Bestückungsprozess freigegeben. Grosse Ratlosigkeit dann bei der Schlusskontrolle, als man bei den Varistoren über 100 Tombstoning-Effekte ohne jegliche Systematik entdeckte (Bild 2). Die Fehlerursache wurde in einer falschen Lieferung gefunden. Nach rund 15 Boards mussten beim ersten Bestücker in Linienrichtung neue Varistoren aufgerüstet werden. Diese stammten jedoch aus einer Lieferung mit AgPd-Plattierung anstatt wie normal mit SnNiAg. Glücklicherweise hatten die Bauelemente eine leicht unterschiedliche Braunfärbung, sodass diese Systematik überhaupt entdeckt wurde. Trotz eindeutiger Bestellsituation wurde falsches Material angeliefert, was der Wareneingang nicht bemerkte. Erst dieses Zusammentreffen von zwei unglücklichen Zuständen führte schliesslich zum beobachteten Fehlerbild.

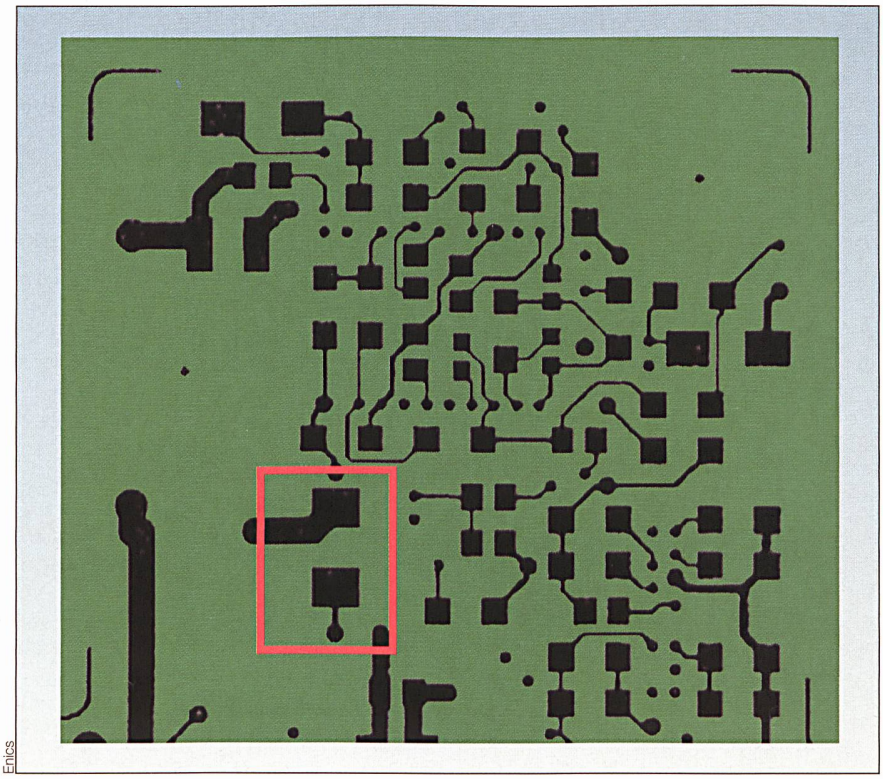
Unglückliches Layout

Zu den häufigsten Bauelementen auf elektronischen Geräten gehören keramische Kondensatoren. Wie bereits der Name sagt, bestehen sie primär aus einem Keramikkörper. Keramik an sich ist weitgehend chemisch resistent und sehr hart, aber auch spröde und somit anfällig auf Stösse und thermisch induzierte mechanische Spannungen, wie sie beim Löten auftreten können. Aus diesen Gründen muss, abgesehen vom Einhalten der elektrischen Spezifikationen, auch besonderes Augenmerk auf das Umfeld dieser Bauelemente auf der Leiterplatte gelegt werden. Diesbezüglich als besonders kritisch gelten Verschraubungen in unmittelbarer Nähe. In Bild 3 führte zu starkes Anziehen der Schraube zu einer lokalen Verwölbung der Leiterplatte und dadurch zum Bruch des MLCC. Durch den Riss im Bauelement entstand ein Kurzschluss zwischen zwei Metalllagen, der beim Hochspannungstest zur Zerstörung des Bauelements führte.

Bereits beim Layouten, insbesondere wenn bestehende Schaltungsteile kopiert werden, können Fehler initialisiert werden. Unsymmetrische Kupferanbindungen wie in Bild 4 führen beim Lötprozess zu einem unsymmetrischen Wärmefluss an die Bauelementeanschlüsse und erzeugen thermisch induzierte mechanische Spannungen. Diese können zu Bauelementrissen, dem Cracking, führen. Doch damit nicht genug: Der thermische Mismatch ist eine potenzielle Ursache für das gefürchtete Tombstoning während des Lötprozesses (Bild 2).

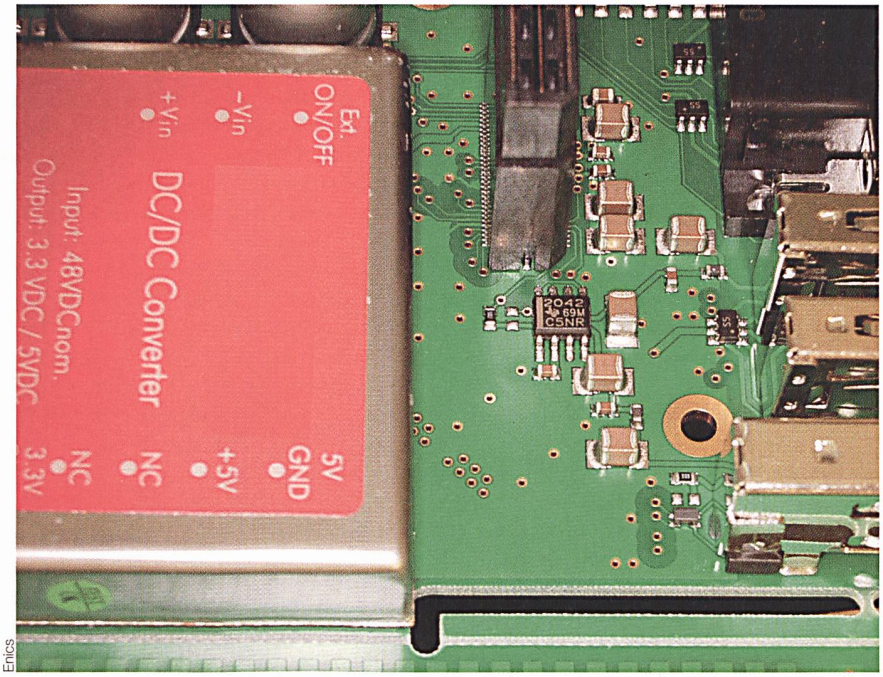
Elemente falsch angeordnet

In Bild 5 sieht man die klassische Situation eines Boards für Industrieelektronik. Grosse, massereiche Bauelemente sind zusammen mit kleinen Bauelementen, dem sogenannten Vogelfutter, in unmittelbarer Nähe platziert. Dieser Trend ist eine Konsequenz der fortschreitenden Miniaturisierung bei den Bauelementen, die es erlaubt, Stromversorgung und Steuereinheit auf der



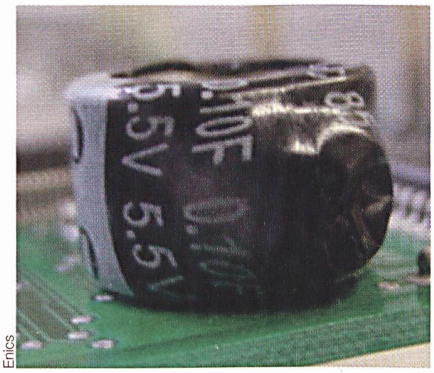
Enics

Bild 4 Ungleiche Pad-Anbindungen bei einem MLCC 0805.



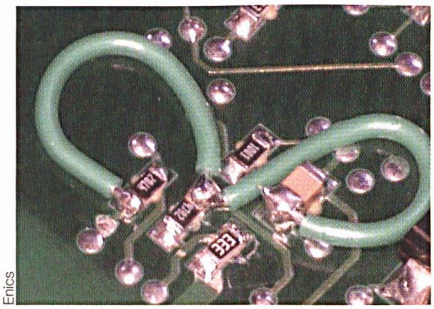
Enics

Bild 5 Bauelementemix auf Industrieboard.



Enics

Bild 6 «Gar gekochter» Elektrolytkondensator.



Enics

Bild 7 «Dekorative» Modifikationen.

gleichen Leiterplatte zu vereinen. Beim heutigen Reflowprozess wird die Wärme primär durch Konvektion zugeführt, durch heisse Luft oder Stickstoff. Die Situation auf dem Board ist vergleichbar mit einem Föhnsturm in einer Stadt. Befinde ich mich im Windschatten des Sturms, bin ich vom Wind geschützt. Anderenfalls eben nicht.

Für die Leiterplatte im Lötprozess bedeutet dies Folgendes: Während die grossen Bauelemente viel Wärme brauchen, um ihre Anschlüsse auf Löttemperatur (217 °C für bleifreies Zinn-Silber-Kupfer-Lot) zu bringen, sind die kleinen Bauelemente im Windschatten annähernd abgeschottet vom Wärmestrom. Dies kann zu kalten Lötstellen und im Extremfall zu Nichtlötungen der Bauelemente wie Tombstoning führen. Aus diesem Grund muss man vor allem beim bleifreien Löten dem Wärmemanagement Augenmerk zukommen lassen.

Unvereinbare Lötparameter

Oft sind die vom Hersteller spezifizierten maximalen Stressbedingungen beim Löten (maximale Löttemperatur, Verweilzeit über dem Schmelzpunkt etc.) unvereinbar mit der Bauelementezusammensetzung auf einer Leiterplatte. Da im gleichen Lötprozess alle Bauelemente, d.h. massereiche wie kleines Vogelfutter (Bild 5) gleichzeitig verlötet werden sollen, müssen die Prozessparameter verändert werden. Wird nun beispielsweise die Vorheizung zu stark erhöht, werden die Bauelemente buchstäblich gekocht. In Bild 6 sieht man Elektrolytkondensatoren (Elkos) in Durchstecktechnik, die zu stark erwärmt wurden. Auf die elektrische Funktionalität dieser Bauelemente respektive die Langzeitzuverlässigkeit dieser Elkos im Feldeinsatz muss bei dieser Malträtierung nicht mehr explizit eingegangen werden. Doch wie sieht es aus, wenn der Gebrauch eines bestimmten Lötmaterials aus Gründen der Langzeitzuverlässigkeit vorbestimmt ist, das Bauelement aber gemäss Herstellerangaben diesen Lötbedingungen nicht gewachsen ist? Dieser Fall beschäftigt aktuell Hundertschaften von Fachleuten in Bezug auf das Löten von Elektrolytkondensatoren in SMT-Technik mit bleifreien SAC-Loten.

«Flick» auf dem Print

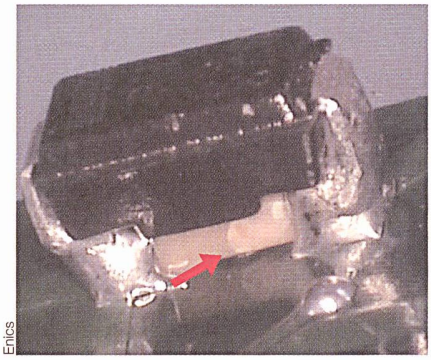
Da eine technische Errungenschaft stetig verbesserungswürdig ist, werden im Feld oft Modifikationen mit beschränkter Ausrüstung durchgeführt. Diese Verbesserungen sind eine weitere mögliche Fehlerquelle. So hat ein Praxisfall gezeigt, dass für die Verbindungen von Widerständen und MLCC ein zu dicker Draht verwendet wurde (Bild 7). Der hellbraune MLCC wurde bei der Handlötung infolge thermisch unsymmetrischer Erwärmung zerstört. In einem weiteren Fall wurde das Fehlen einer Suppressordiode festgestellt. Da auf der Leiterplatte für dieses Bauelement kein Platz vorgesehen war, wurde eine längengleiche Chipdiode auf den MLCC aufgelötet. Die Idee an sich war erfolgversprechend, beim Auflöten der Diode auf den MLCC wurde dieser thermisch jedoch überstresst. Der sichtbare Crack (roter Pfeil in Bild 8) zeigt die Zerstörung des Bauelements.

Erscheinungsbild versus Fehlerursache

Wie sich immer wieder zeigt, muss streng zwischen Fehlerursache, Fehlerentwicklung sowie dem Erscheinungsbild unterschieden werden. Das optische Erschei-

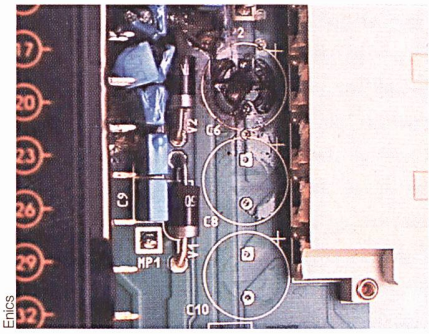
Abkürzungen

AMD	Advanced Micro Devices
Elko	Elektrolyt-Kondensator
EMS	Electronics Manufacturing Services
RoHS	Restriction of Hazardous Substances (EU-Gesetzgebung)
SAC-Lot	Zinn-Silber-Kupfer-Lot (= bleifreies Lot)
SMT	Surface Mount Technology
SRAM	Static Random Access Memory (statisches RAM)
TI	Texas Instruments
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment (EU-Gesetzgebung)



Enics

Bild 8 Suppressordiode auf MLCC.



Enics

Bild 9 Zerstörte Folienkondensatoren infolge ausgelaufenen Elektrolyts eines Elkos.

nungsbild (Bild 9) von zwei ausgefallenen Geräten mit 4 Jahren Feldeinsatz zeigte ganz klar durch elektrische Überlast zerstörte Folienkondensatoren. Ergo: Ausfallursache = elektrische Überlast. Das Aussehen der Boardunterseite stellt die Erstdiagnose infrage, denn die Anschlüsse eines Elektrolytkondensators zeigen Brandspuren. Detaillierte Analysen ergaben, dass ausgelaufener Elektrolyt eines benachbarten Elkos zu einem Kurzschluss zwischen den Anschlussbeinchen geführt hatte und dass die Folienkondensatoren als schwächstes Glied der Schaltungskette dieser Überlast nicht gewachsen waren.

Ausgelaufener Elektrolyt, so zeigt die Praxis, besitzt umfangreiches Zerstörungspotenzial – von Leiterbahnunterbrüchen bis zu Kurzschlüssen zwischen Leiterbahnen und Bauelementanschlüssen. Bedauerlicherweise lässt sich dieses Übel im Anfangsstadium nur schwer beobachten, da der Elektrolyt an den Pins austritt und diese Stelle beim verlöteten Elko nicht mehr sichtbar ist.

Aggressive Umgebung

Auch die fehlerfreie Fertigung eines Gerätes, abgesichert durch Gerätetest und Funktionstest der Gesamtanlage sowie eine sorgfältige Inbetriebnahme nach allen Regeln der Kunst, können Feldausfälle nicht vermeiden. Fehlerhafte Geräte aus einem Feldeinsatz in Südamerika zeigten bei der mikroskopischen Untersuchung chemisch angegriffene Bauelementanschlüsse. Da jedoch das Board vor der Zustellung gereinigt worden war, lieferte es keine weiteren Hinweise auf die Ausfallursache. Das sofortige Einleiten von Massnahmen in einem Wiederholungsfall ermöglichte bei einem nachfolgenden Ausfallgerät die Durchführung von chemischen Analysen. Der Befund war eindeutig: Schwefel führte zur beobachteten Korrosion. Unklar war nur noch, woher der Schwefel kam. Sorgfältiges Nachforschen des Umfelds der Anlage klärte die Sachlage: Wegen des herrschenden feuchtheissen Klimas wurden die Türen zum Einsatzstandort, der sich in unmittelbarer Nähe einer Erdölförderanlage mit Abfackelung befand, häufig offen gelassen. Der Schwefel aus der Abfackelung in Kombination mit der feuchten Umgebung führte zu Schwefelsäure. Dieser Belastung ist ungeschützte Elektronik schlichtweg nicht gewachsen.

Unerwartetes erwarten

Für einwandfrei funktionierende Produkte und Systeme sind Q-Programme und Q-Massnahmen die Basis. Aber eben, Murphys Law gilt: Fehler finden immer wieder einen Weg, um alle Sicherheitsdispositive zu umgehen. Einen Einzelschuldigen, sei es eine Person oder ein Prozess, gibt es in der Regel nicht. Meistens führt erst das gleichzeitige Zusammentreffen von verschiedenen unglücklichen Umständen zum Ausfall. Doch das Einhalten von Vorgaben, die Bereitschaft, auch Unerwartetes zu erwarten, und vor allem Sorgfalt gepaart mit langjähriger Erfahrung helfen, die Fehler auf ein Minimum zu reduzieren.

Enics – globaler EMS-Anbieter

Enics ist einer der grössten Anbieter von Electronics Manufacturing Services (EMS) im Bereich der Industrieelektronik und Medizinaltechnik. Das Unternehmen bietet globale End-to-End-Lösungen an – von Designsupport, New Product Introduction (NPI), Fertigung, Beschaffungslogistik bis hin zu After Sales Services –, die den gesamten Lebenszyklus der Kundenprodukte abdecken. Weitere Informationen über das Unternehmen mit 2200 Mitarbeitenden sind unter www.enics.com verfügbar. Für Enics Schweiz in Turgi sind 280 Angestellte tätig.

Referenz

[1] Interview mit Werner Röck, Semitron: Fälschungen nehmen zu, Markt und Technik 17/2007, Seite 18.

Angaben zum Autor

Walter Odermatt, Dr. phil. II dipl. Physiker, ist Senior Consultant Technology bei Enics Schweiz, Dozent an der ABB-Technikerschule in Baden, Mitglied des Fachgruppenausschusses der ITG Hardware-Technologie sowie Mitglied der Exact-Fachgruppe Umweltfragen (FGU). Er bearbeitet als Projektleiter komplexe technologische Fragestellungen rund um die Elektronikproduktion wie die Umstellung auf bleifreie Fertigungsprozesse, Evaluierung neuer Produktionstechnologien, Qualitätsfälle etc.

Enics Schweiz AG, 5300 Turgi, walter.odermatt@enics.ch

Résumé

L'analyse de défauts: délicate, importante, déterminante pour la qualité

Ce qui peut tourner mal lors de l'équipement de circuits imprimés. Les défauts de fabrication en électronique peuvent être subtilement cachés et la réalité montre que des constellations apparemment impossibles peuvent néanmoins apparaître. Les composants qui n'ont donné lieu à aucune réclamation lors de la dernière série sont tout à coup comme des cailloux sur la platine. Ou bien des condensateurs céramiques court-circuitent brusquement deux niveaux de tension après s'être rompus par suite de tensions mécaniques. L'analyse de défauts est un véritable travail de détective, mais fournit d'importants renseignements pour la gestion de la qualité.