

Gibt es ein optimales Reflow-Profil?

Dr. Max H. Poech, Fraunhofer-ISIT, Fraunhoferstraße 1, D-25524 Itzehoe

Dr. Hans Bell, rehm Anlagenbau GmbH + Co. KG, Leinenstraße 7, D-89143 Blaubeuren-Seissen

Kurzfassung

Die Bewertung von Reflow-Profilen stellt noch immer ein schwieriges Problem dar, welches oft einzig auf subjektive/empirische Wege gelöst wird. Im Beitrag wird eine neue Methode vorgestellt, die auf der Basis von objektiven Algorithmen die Bewertung vornimmt. Dabei werden insbesondere die Parameter Vorheizzeit, Zeit über Liquidus, Abkühlzeit und maximale Temperatur der minimalen und maximalen Temperaturverläufe einer Baugruppe berücksichtigt. Ziel der „absoluten Bewertung eines Profils“ ist es, dem Anwender mehr oder weniger objektive Zahlen an die Hand zu geben, welche die Frage beantworten, ob das Reflow-Löten erwartungsgemäß innerhalb von optimalen Grenzen funktioniert oder nicht.

1 Einleitung

Die Oberflächenmontage von elektronischen Bauelementen auf Leiterplatten mittels Reflow-Löten ist das Standardverfahren bei der industriellen (Massen-) Fertigung elektronischer Baugruppen. Für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Löten (dem „Profil“) muß der Prozeßingenieur einen geeigneten Kompromiß eingehen, der mit folgenden zwei Thesen umschrieben werden kann:

Die Kunst des Reflow-Lötens einer Baugruppe besteht in der Reduzierung der benötigten Wärmemenge Q auf das minimal notwendige Maß.

Eine Reflow-Anlage arbeitet dann effizient, wenn die notwendige Wärmemenge in kurzer Zeit und bei kleinster Temperaturdifferenz übertragen wird.

Die erste These bezieht sich auf die Forderung, daß die Bauelemente nicht überhitzt und damit geschädigt werden dürfen. Die zweite These kommt einerseits der Forderung nach einem stabilen Fertigungsprozeß nach (kleinste Temperaturdifferenz), andererseits einer wirtschaftlichen Fertigung (kurze Zeit) sowie ebenfalls einer möglichst geringen thermischen Belastung der beteiligten Materialien. Die erforderliche Wärmemenge für ein gutes Lötresultat, d.h. für die Erfüllung der Herstellungsqualität, in der Form der Prozeßparameter, also der Einstellung an der Lötanlage, ist objektiv kaum meßbar, subjektiv gilt aus der Erfahrung:

So viel als nötig, so wenig wie möglich.

Meßbar hingegen ist das Temperaturprofil der Bau-

gruppe, welche eine Lötanlage durchfährt. Das Temperaturprofil ist die „Antwort“ des Lötgutes auf die Wärmeübertragungs-Charakteristik der Lötanlage, die aktuellen Anlageneinstellungen und die thermischen Eigenschaften der Baugruppe.

Das Profil ist prinzipiell für eine objektive Bewertung greifbar, allerdings können viele, individuell unterschiedliche Profile zu einem zufriedenstellenden Lötresultat führen, so daß die Bewertung nur anhand bestimmter „Eckwerte“ (siehe Bild 1) sinnvoll durchführbar erscheint. In der vorliegenden Arbeit werden die notwendigen Randbedingungen für das Erzielen einer hinreichenden Lötqualität diskutiert. Weiters wird ein Ansatz beschrieben, welcher anhand einer Definition von „Eckwerten“ und Kriterien eine quantitative Beurteilung der „Güte“ bzw. der „Eignung“ eines Profils für den Reflow-Prozeß erlaubt.

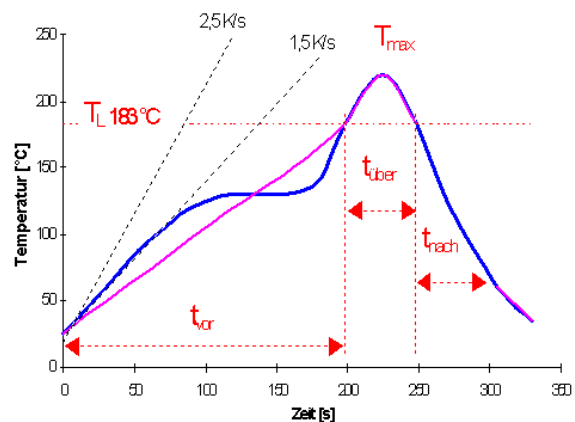


Bild 1 Reflow-Profil (schematisch) mit Definition von charakteristischen „Eckwerten“

2. Die Bewertung von Reflow-Profilen

Zunächst soll kurz erläutert werden, auf welchen Wegen ein Anwender ein Profil generieren kann. Nur bei hinreichender Kenntnis bzw. Genauigkeit des Profils in bezug auf Temperatur, Zeit und Ort auf der Baugruppe ist eine Beurteilung im Hinblick auf den Lötprozess angebracht, also auf das definierte Erwärmen der Lotpaste bis zum Umschmelzen des Lotes und dem Erstarren beim Abkühlvorgang.

2.1 Zur Messung eines Profils

Die Temperaturmessung ist generell eine anspruchsvolle Meßaufgabe. In der Regel wird der Temperatur-Zeit-Verlauf mit Thermoelementen ermittelt, welche auf einer Baugruppe montiert sind; ein so präpariertes „Meß-Board“ wird mit einem geeigneten Meßsystem auf der Transportvorrichtung durch die Reflow-Anlage gefahren. Alle in der vorliegenden Arbeit besprochenen Profile beziehen sich auf den Temperaturverlauf an **Lötstellen**, d.h. die Temperatur der Leiterplatte in unmittelbarer Nähe einer Landefläche eines Bauelement-Anschlusses ist maßgebend.

Dies erfordert eine Montage der Thermoelemente derart, daß einerseits ein möglichst idealer thermischer Kontakt erzielt wird, andererseits aber keine thermische Rückwirkung auf den Meßort ausgeübt wird. Generelle Hinweise für die Montage von Thermoelementen können z.B. bei Herstellern von entsprechendem Meßequipment eingeholt werden, z.B. [1] oder [2]. Prinzipielle Fehler, welche u.a. durch eine nicht sachgemäße Anbringung des Temperaturfühlers verursacht werden können, sind wie folgt:

Zu langsame Meßanordnung – verursacht durch zu hohe Wärmekapazität des Meßfühlers oder durch ungeeignete Meßwertaufnahme. Schnelle Temperaturänderungen (z.B. Zonenwechsel im Ofen) werden „verschmiert“, die Messung „läuft nach“ und Temperaturspitzen (z.B. in der Peak-Zone) werden „geglättet“. Eine zu hohe Wärmekapazität des Temperaturfühlers kann auch durch ein zu großes Volumen einer Kontaktierhilfe (Wärmeleitpaste oder Kleber) verursacht werden.

Systematische Meßfehler – die den Thermoelementdraht umgebende Atmosphäre verfälscht die Temperatur an der Meßspitze. Die thermische Ankoppelung zwischen Meßspitze und Meßgut (Leiterplatte) ist zu meist nicht ideal hinsichtlich ihres thermischen Widerstands; die Oberfläche des Thermoelement-Drahtes

auf der anderen Seite des Temperatursensors (der Meßspitze) ist dem effizienten Wärmeaustausch durch Konvektion in der Lötanlage ausgesetzt. Die Meßspitze „sieht“ demnach eine Temperatur zwischen der zu messenden Oberfläche und der Umgebung, d.h. sogar im scheinbar stationären Zustand (nahezu konstante Temperatur nahe dem thermischen Gleichgewicht) sind Meßfehler von mehreren K nicht ausgeschlossen.

Unter Berücksichtigung der möglichen Fehlerquellen ist der Aufwand für eine genaue und reproduzierbare Messung der Temperatur (z.B. $\Delta T = \pm 2 \text{ K}$) nicht zu unterschätzen.

2.2 Simulation von Reflow-Profilen

Programme für die Vorhersage von Reflow-Profilen werden heute von einigen Geräteherstellern bereits in die Steuersoftware der Anlage integriert oder sind als zusätzliches Produkt erhältlich [2]. Diese Programme benutzen meist eine Datenbasis von bisher gemessenen Profilen an der betreffenden Lötanlage und sind daher eng an das vorliegende System gekoppelt. Dieses Konzept, d.h. Berücksichtigung und Auswertung entsprechend abgelegter Datensätze, schafft eine Möglichkeit der „Selbstkalibrierung“, folglich ist eine hohe „Trefferquote“ bei der Vorhersage zu erwarten.

Eine allgemeingültige Vorgehensweise basiert auf der Modellierung der grundlegenden physikalischen Zusammenhänge der Wärmeübertragung [3], welche kürzlich in ein Simulationsprogramm für PCs umgesetzt worden ist [4]. Dieses Programm dient zur Vorhersage des Temperaturprofils einer Baugruppe im Reflow-Lötprozess. Die Berechnung beruht auf einer idealisierten Betrachtung der physikalischen Mechanismen der Wärmeübertragung, benötigt keine zusätzliche Hardware und arbeitet unabhängig von der Reflow-Anlage. Die Genauigkeit des berechneten Temperaturprofils hängt einerseits ab von der Beschreibung der Baugruppe durch den Benutzer, andererseits vom Grad der Idealisierungen, welche verwendet wurden um den Wärmeaustausch in der betreffenden Lötanlage zu beschreiben. Eine exakte Übereinstimmung zwischen der berechneten Vorhersage und der in der Realität auftretenden Temperaturen kann daher nicht unter allen Umständen gewährleistet werden; die Tendenzen hingegen können naturgemäß (wegen der Berücksichtigung der Mechanismen) gut wiedergegeben werden.

Grundsätzlich wird das Einfahren und Optimieren eines Profils für eine neue Baugruppe durch eine Profilvorhersage erheblich beschleunigt und vereinfacht.

2.3 Was ist bei der Profilierung zu beachten?

Um eine den Anforderungen entsprechende Lötqualität zu erzielen, sind bei der Reflow-Profilierung, d.h. bei der Festlegung und Optimierung der Einstellungen an der Lötanlage, eine Reihe von Einflußparametern zu beachten. Deren optimale Festlegung soll nachfolgend (siehe Bild 1) diskutiert werden, hierzu wird folgendes Vorgehen empfohlen:

Im **ersten Schritt** sind mit einem Meßboard (der präparierten Baugruppe) beispielsweise zwei Temperaturprofile einer großen und einer kleinen thermischen Masse möglichst während eines gemeinsamen Ofendurchlaufs zu ermitteln. Zum Beispiel befestigt man hierzu zwei Thermoelemente nahe den Lötstellen von jeweils einem MiniMelf und einem QFP304. Notwendig ist natürlich zunächst die Vorgabe von zu erreichenden Soll-Werten, wie zum Beispiel:

Transportgeschwindigkeit des Meßboards durch den Ofen $v = 80 \text{ cm/min}$, die maximale erwartete Temperatur $T_{\max} = 220^\circ\text{C}$, die Zeit über Liquidus bzw. die Schmelzphase des Lotes $t_{\text{über}} < 60 \text{ s}$.

Im **zweiten Schritt** werden eine Reihe von Parametern aus den ermittelten Temperaturprofilen abgelesen (siehe Bild 1). Darin bedeuten:

t_{vor}	die Zeit zwischen einer individuellen Anfangstemperatur (z.B. 50°C) und dem Erreichen des Schmelzpunktes des Lotes
$t_{\text{über}}$	die Zeit über Liquidus (Schmelzphase)
t_{nach}	die Zeit zwischen dem Erstarrungspunkt des Lotes und dem Erreichen einer individuellen Endtemperatur (z.B. 80°C)
T_{\max}	die maximale Temperatur des Profils
$dT/dt +$	der maximale Temperaturgradient beim Aufheizen
$dT/dt -$	der maximale Temperaturgradient beim Abkühlen

Die Diskussion der Parameter im **dritten Schritt** ermöglicht zunächst die qualitative Bewertung der Reflow-Profile.

Die **Vorheizzeit** t_{vor} ist unter Beachtung folgender Einflüsse zu optimieren. Harze sind die aktiven Bestandteile der Flußmittel in den Lotpasten. Ihre Schmelzpunkte liegen teilweise zwischen 70 und 120°C , also im Bereich der Vorwärmtemperatur. Da bei höheren Temperaturen die permanente Oxidbildung auf den Metalloberflächen der Fügepartner ständig Flußmittel verbraucht, ist es sinnvoll die Vor-

wärmphase möglichst zu verkürzen. Ansonsten könnte das Flußmittel bereits vor dem Eintritt der Baugruppe in die Peak-Zone, der eigentlichen Aufschmelzzone, verbraucht sein. Allerdings enthält die Lotpaste neben den aktiven Stoffen auch eine nicht geringe Anzahl von Lösemitteln, Thixotropiemitteln usw. deren Siedepunkte zwischen 125 und 250°C liegen können. Diese Stoffe haben mit dem eigentlichen Lötprozeß nichts zu tun und müssen vor dem Eintritt in die Peak-Zone verdampft sein. Andernfalls können Reflow-Fehler wie Solderballs und Voids entstehen. Daher müssen die Bedürfnisse der Lotpaste bei der Optimierung der Vorheizzeit stets berücksichtigt werden, d.h. die Vorheizzeit darf nicht allzu gering gewählt werden. Wichtig ist während der Vorwärmphase zusätzlich die Beachtung der maximal erlaubten Aufheizgradienten für alle Komponenten der Baugruppe. Im Reflow-Bereich liegen diese Temperaturgradienten häufig bei $< 2,5 \text{ K/s}$ (weiteres siehe unten).

Die **Zeit über Liquidus** $t_{\text{über}}$ ist so zu wählen, daß einerseits alle Lötstellen aufgeschmolzen sind, genügend Zeit für die Benetzung, d.h. die Ausbildung eines Saums von intermetallischen Phasen gegeben ist und das flüssige Lotvolumen den Spalt füllen und den Meniskus ausformen kann. Andererseits darf diese Zeit nicht zu lang gewählt werden, um das unter Temperatureinfluß beschleunigte Wachstum der intermetallischen Phase zu unterbinden und die Ablegiereffekte in Grenzen zu halten. Erfahrungsgemäß ist eine Zeit von bis zu 1 Minute optimal.

Die **Abkühlzeit** t_{nach} sollte möglichst minimiert werden. Hierbei ist jedoch der zulässige Abkühlgradient zu beachten, um mögliche Schädigungen aller Komponenten der Baugruppe zu vermeiden. Zweck einer kurzen Abkühlzeit ist ebenfalls die Vermeidung von Ablegiereffekten und eines ungestörten Wachstums der intermetallischen Phase. Gleichzeitig verkürzt ein kleines t_{nach} die Gesamtverweilzeit der Baugruppe auf höherem Temperaturniveau und damit den Streß für alle auf ihr befindlichen Komponenten.

Je größer die **maximale Temperatur** T_{\max} ist, um so aktiver ist das Flußmittel in der Lotpaste und desto schneller läuft die Benetzungsreaktion ab; weiters verbessert die verminderte Oberflächenspannung das Fließverhalten. Gleichzeitig verstärkt sich aber auch die Oxidbildung auf den zu löten Oberflächen, wodurch mehr Flußmittel verbraucht wird. Die maximal zulässigen Belastungstemperaturen und -zeiten für die Bauelemente und die Leiterplatte sind in jedem Fall begrenzend. Dennoch muß sichergestellt sein, daß die Lotpaste vollständig umgeschmolzen wurde und eine gute Benetzung der Fügepartner erreicht wurde. T_{\max} sollte nicht wesentlich größer als $T_L + \Delta T$ ge-

wählt werden (T_L = Schmelztemperatur des Lotes, ΔT = Toleranz in der Temperaturmessung und Einstellung), um die Gesamttemperaturbelastung für die Baugruppe zu minimieren. Hierbei ist immer die Temperatur an der „kältesten“ Lötstelle zu beachten.

Die **Temperaturgradienten** dT/dt sollten in jeder Phase des Reflow-Profiles (zumindest beim Aufheizen) möglichst gering sein, z.B. $dT/dt < 2,5$ K/s. Hiermit wird einerseits der thermische Streß für die gesamte Baugruppe (Bauelemente und Leiterplatte) begrenzt, zum anderen werden Fehler vermieden, die in direktem Zusammenhang mit zu steilen Gradienten stehen. Hierzu zählen:

Solderballing – aufgrund des Spratzens der Lotpaste während des Aufschmelzprozesses wegen verdampfender Pastenbestandteile.

Tombstoning – aufgrund unterschiedlicher Aufschmelzzeitpunkte der beiden Lotdepots an zweipoligen Bauelementen bewirkt die Oberflächenspannung des bereits flüssigen Lotes ein Aufstellen des Bauelements.

Wicking-Effekt – aufgrund eines zu schnellen Wärmeeintrags in den Bauelementeanschluß wird das Lot aus der Verbindungsstelle gezogen und fließt am Anschluß aufwärts.

Popcorn-Effekt – aufgrund des schnellen Wärmeeintrags in das Bauelement kann (durch ungeeignete Lagerung des Bauelements) eingeschlossene Feuchte das Kunststoffgehäuse sprengen.

Während der Abkühlung sollte der Temperaturgradient ebenfalls begrenzt sein, auch wenn eine etwas schnellere Abkühlung weniger kritisch erscheint hinsichtlich möglicher Prozeßfehler.

Die **Temperaturdifferenz** DT zwischen den Maximalwerten zusammengehörender Profile sollte möglichst kleine Werte annehmen. Eine ausgeglichene Temperaturverteilung auf einer im Reflow-Verfahren gelöteten Baugruppe minimiert Spannungen in der Baugruppe, verbessert das Lötresultat und erhöht damit die Prozeßzuverlässigkeit. Sie wird oft fälschlicherweise als alleiniger Gradmesser für die Effizienz eines Reflow-Ofens und einer guten Profilierung angesehen.

Die **Gesamtverweilzeit** t_{gesamt} (= Summe der drei o.g. Zeiten) sollte möglichst kurz sein, um die thermische Belastung aller Bauelemente und Materialien einer Baugruppe zu minimieren. Hierbei ist stets zu beachten, daß die Dauerbelastungstemperaturen meist we-

sentlich unterhalb der im Reflow-Prozeß erreichten Temperaturen liegen und nur Kurzzeitbelastungen bei höheren Temperaturen zugelassen sind. Kurze Prozeßzeiten kommen auch dem Durchsatz zugute.

2.4 Vorgehensweise bei der Bewertung von Reflow-Profilen

Unabhängig von der Quelle des Profils (gemessen, berechnet, Empfehlung des Bauelementeherstellers oder des Pastenherstellers, etc.) obliegt dem Prozeßverantwortlichen die Bewertung, ob das Profil für den Lötprozeß „gut“ oder „schlecht“ geeignet erscheint oder welche Maßnahmen zur Verbesserung führen können. Diese subjektive Bewertung (nach Gefühl und Erfahrung) ist selbstverständlich ein wesentliches Standbein des Erfolgs einer Fertigung. Es besteht jedoch auch immer der Wunsch nach einer objektiven Beurteilung von Prozeßgrößen. Insbesondere bei der Bewertung von Temperaturprofilen aus dem Reflow-Prozeß und der Bewertung der Prozeßfähigkeit von Reflow-Anlagen stößt man oft auf die Schwierigkeit, keinen einheitlichen Bewertungsmaßstab zugrunde legen zu können.

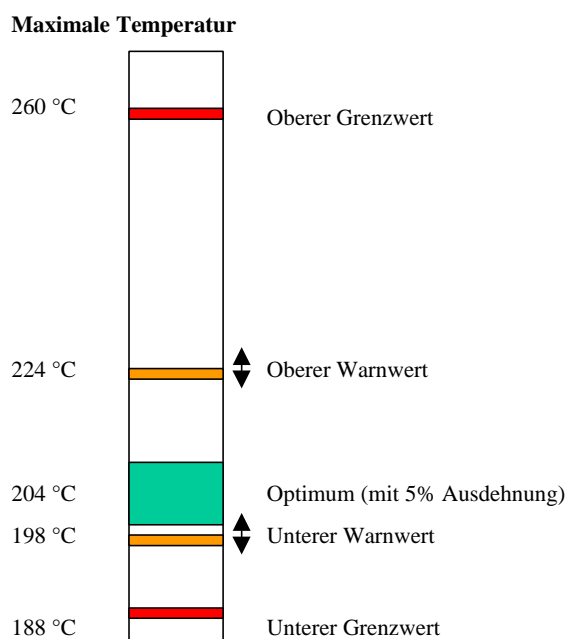


Bild 2 Definition des Prozeßfensters für einen Parameter (hier am Beispiel der Maximaltemperatur) mit Hilfe von Grenzen und Warnwerten

Aus dem Profil werden einzelne Parameter (siehe Abschnitt 2.3) herausgelesen. Für jeden dieser Parameter lassen sich obere und untere Grenzen festlegen, außerhalb derer der Lötprozeß mit hoher Wahrschein-

lichkeit zu Fehlern führt oder nicht funktioniert. Dies sei an Bild 2 am Beispiel der maximalen Temperatur erläutert: Der obere Grenzwert (oG) für die Temperatur ist die spezifizierte Grenzbelastbarkeit der Bauelemente und der Leiterplatte, der untere Grenzwert (uG) liegt um eine Meßtoleranz (Ofentoleranz) über der Liquidustemperatur des Lotes (hier 183°C). Diese beiden Grenzen beinhalten die notwendige Bedingung für das Aufschmelzen des Lotes, ohne jedoch eine Zerstörung der Baugruppe zu provozieren, sie sind also absolut einzuhalten. Mit den beiden Warnwerten (oW und uW), welche innerhalb der Grenzen sinnvoll anzuordnen sind, wird das Prozeßfenster definiert. Liegt der aus einem aktuellen Profil entnommene Zahlenwert innerhalb des Prozeßfensters, ist die Voraussetzung für einen erfolgreichen Lötprozeß hinreichend erfüllt.

	Maximale Temperatur T_{max}
uG	$T_L + \Delta T$
uW	$T_L + \Delta T + 10 \text{ K}$
oW	$(oG + uG)/2$
oG	260 °C

	Zeit über Liquidus $t_{über}$
uG	5 s
uW	15 s
oW	60 s
oG	90 s

	Vorheizzeit t_{vor}
uG	$(T_L - T_A)/\text{Aufheizgradient}$
uW	$2 * uG$
oW	180 s
oG	240 s

	Abkühlzeit t_{nach}
uG	$(T_E - T_L)/\text{Abkühlgradient}$
uW	$1,5 * uG$
oW	$3 * uG$
oG	$4 * uG$

	Aufheizgradient dT/dt
uG	0 K/s
uW	$oG - 1 \text{ K/s}$
oW	$oG - 0,5 \text{ K/s}$
oG	Aufheizgradient, typisch 2,5 K/s

	Abkühlgradient $-dT/dt$
uG	0 K/s
uW	$oG + 1 \text{ K/s}$
oW	$oG + 0,5 \text{ K/s}$
oG	Abkühlgradient, typisch -2,5 K/s

Tabelle 1: Parameter und Grenzen

Eine Aufstellung von Zahlenwerten für die einzelnen Parameter ist in der Tabelle 1 zusammengefaßt. Hierin bedeuten T_L die mit der Wahl der Lotlegierung festgelegte Liquidustemperatur, T_A und T_E die Anfangs- und Endtemperatur der Baugruppe, welche z.B. mit 50°C während der Aufheizphase bzw. mit 80°C beim Abkühlen als Bezugsgrößen angesetzt werden können. Die Ofentoleranz ΔT sollte üblicherweise mit 5 K angesetzt werden.

Die Lage des Prozeßfensters (innerhalb der Grenzen) legt mit Breite und Abstand zu den Grenzen den Bereich der als „zuverlässig“ zu bezeichnenden Werte fest. Innerhalb des Prozeßfensters liegt das Optimum, jeweils mit Abständen zu den Warnwerten, welche sich im entsprechenden Verhältnis der Abstände zwischen Warnwert und Grenze einstellen (siehe Bild 2). Dieses „Optimum“, welches nicht scharf definiert werden sollte, sondern als Bereich zu verstehen ist, dient zur Anzeige einer Tendenz, in welcher Richtung eine weitere Verbesserung (Erhöhung der Prozeßzuverlässigkeit) zu erwarten ist. Der Prozeß ist als zuverlässig anzusehen, wenn die Parameter der betreffenden Profile nahe beisammen und nahe dem Optimum sind.

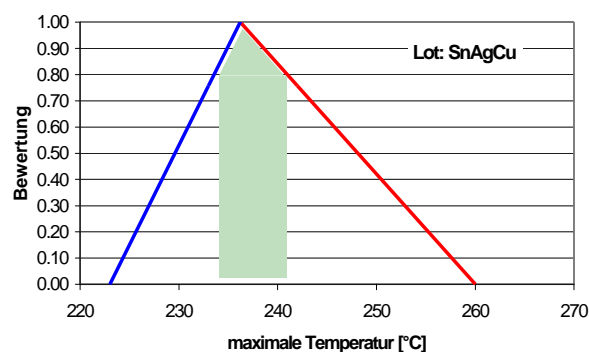


Bild 3 Bewertungsschema für einen Parameter (hier am Beispiel der Maximaltemperatur) mit Hilfe der Grenzen und Warnwerte

Auf die besprochene Weise können die genannten Parameter aus dem Profil im Vergleich zu den entsprechenden Grenzen quantitativ bewertet werden. Das Ergebnis ist eine normierte Maßzahl, welche im Optimum gerade 1 (bzw. 100%) und an den Grenzen 0 (bzw. 0%) ergibt. Bild 3 zeigt am Beispiel eines SnAgCu-Lotes mit einem Schmelzpunkt von 217°C sowie der Definition der Grenzen und Warnwerte nach Tabelle 1 die Ermittlung der Bewertungszahl für die Maximaltemperatur. Neben der Bewertung der einzelnen Parameter ist deren Mittelwert eine Bewertungszahl für das gesamte Profil. Da die verschiedenen thermischen Massen auf der Baugruppe auch zu unter-

schiedlichen Profilen führen, ist deren gemittelte Bewertungszahl wiederum eine Maßzahl für die gesamte Baugruppe. Hiermit ermöglichen diese Maßzahlen eine Quantifizierung des subjektiven Eindrucks, daß z.B. zwei Temperatur-Zeit-Kurven (Lötprofile) einander ähnlich sehen. Die Priorität für einen Optimierungsansatz wird durch die jeweils kleinste Bewertungszahl markiert.

Die Grenzen und Warnwerte, die das Prozeßfenster sowie das Optimum definieren, sind in gewissen Grenzen „verschiebbar“; ausgehend von den Vorschlägen (Tabelle 1) können die Zahlenwerte unter Berücksichtigung der Randbedingungen für den Lötprozeß (siehe Abschnitt 2.3) an die jeweils vorliegenden Prozeßbedingungen angepaßt werden. Tatsächlich erscheint der „sinnvolle Spielraum“ für die Grenzen und das Prozeßfenster jedoch nicht groß.

Dieses Bewertungskonzept ist inzwischen in ein PC-Programm umgesetzt worden [5], welches eine einfache Handhabung der Daten ermöglicht und eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse für die Prozeßdokumentation bietet.

3 Zusammenfassung

Im Beitrag wird erläutert, auf welche Weise eine objektive Beurteilung eines Reflow-Lötprofils anhand von definierten Kriterien durchgeführt werden kann. Das Prozeßfenster ist mit der Wahl der Grenzen und Warnwerte in einem gewissen Rahmen variabel, was der Anpassung an den jeweiligen Prozeß dienen soll. Bei einmal definierten Randbedingungen ist die Bewertung objektiv. Wenn alle betrachteten Parameter innerhalb des entsprechend definierten Prozeßfensters liegen, sind die thermischen Bedingungen für einen erfolgreichen Lötprozeß gegeben; die Nähe zum jeweiligen Optimum kann als Indikator für die Prozeßzuverlässigkeit betrachtet werden. Selbstverständlich kann die vorgestellte Bewertung das subjektive Urteil eines erfahrenen Prozeßingenieurs nicht ersetzen.

4 Literatur

- [1] Electronic Controls Design, Inc; 4287-A S.E. International Way; Milwaukie, Oregon 97222-8825; U.S.A.; <http://www.ecd.com>
- [2] KIC Thermal Profiling; 15950 Bernardo Center Drive, San Diego, CA 92127 USA; <http://www.kithermal.com>
- [3] Poech, M.H.: Das Reflow-Lötprofil, Seminar: Der Lötprozeß in der Fertigung elektronischer Baugruppen, Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie, Itzehoe, 05.-07.03.2001
- [4] Poech, M.H.: „Reflow_Sim.exe“, Programm zur Simulation des Reflow-Lötprozesses; Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie, Itzehoe, 2001; <http://www.isit.fhg.de>
- [5] Bell, H.; John, C.; Poech, M.H.: „Reflow.exe“, Programm zur Bewertung von Reflow-Profilen, globalpoint ICS GmbH, Berlin, 2001