

# Product Document

## Weitere Hinweise zum bleifrei Reflow-Löten von LEDs

### Application Note



**Gültig für:**

alle SMD LEDs von OSRAM Opto Semiconductors

### Abstract

Im Zusammenspiel zwischen RoHS konformen SMD-Bauteilen und bleifreier Verarbeitung kommt es immer noch zu Komplikationen, da das bisher mit Zinn-Blei Prozessen erarbeitete Know-how nur bedingt auf das neue Materialsystem übertragbar ist. In der vorliegenden Schrift werden neben allgemeinen Hinweisen zum bleifreien Reflow-Prozess, die entscheidenden Parameter zur Erstellung eines Lötprofils aufgezeigt und detailliert erläutert. Um Unsicherheiten und daraus resultierenden Problemen entgegenzuwirken, wird außerdem eine detaillierte Empfehlung zur Verarbeitung von SMD Leuchtdioden (LEDs) dargestellt.

Besonderes Augenmerk liegt in der Vermeidung thermisch induzierter Schädigungen der verwendeten SMD Bauteile und Leiterplattensubstrate

Authors: Bartling Hanna / Lang Kurt-Jürgen

## Table of contents

A. Einleitung .....	2
B. JEDEC J-STD-020E .....	3
C. Reflow Ofen .....	6
D. Temperaturprofil .....	7
P1 Vorheiz (pre heat) Zone .....	8
P2 Soak Zone .....	9
P3 Reflow Zone .....	9
P4 Abkühl (cool down) Zone .....	9
E. Zusammenfassung der wichtigsten Parameter des Reflow-Profiles .....	10
F. OSRAM Opto Semiconductors Empfehlung und maximal zulässige Werte .....	10
G. Reflowprofil bedingte Schädigung von Bauteilen und andere Reflow-Fehler .....	12
Offenes Interface (Chip-Kleber-Leadframe) .....	13
Crack .....	13
Lötfehler .....	13
H. Mögliche Maßnahmen zur Optimierung des Reflowprofils .....	14
I. Zusammenfassung .....	15
J. Literatur .....	16

## A. Einleitung

Weltweit hat sich für die Kontaktierung und Befestigung von SMD Bauteilen das Reflow-Löten als gültiger Industriestandard etabliert.

Der wesentliche Prozessschritt des Reflow-Lötverfahrens ist immer das gezielte Aufschmelzen eines zuvor aufgetragenen Lotdepots (Lotpaste) in einem Durchlaufofen. Technisch wird die möglichst gleichmäßige Erwärmung der Baugruppe dabei durch zirkulierende Zwangsumlüftung von heißer Luft oder Stickstoff erreicht.

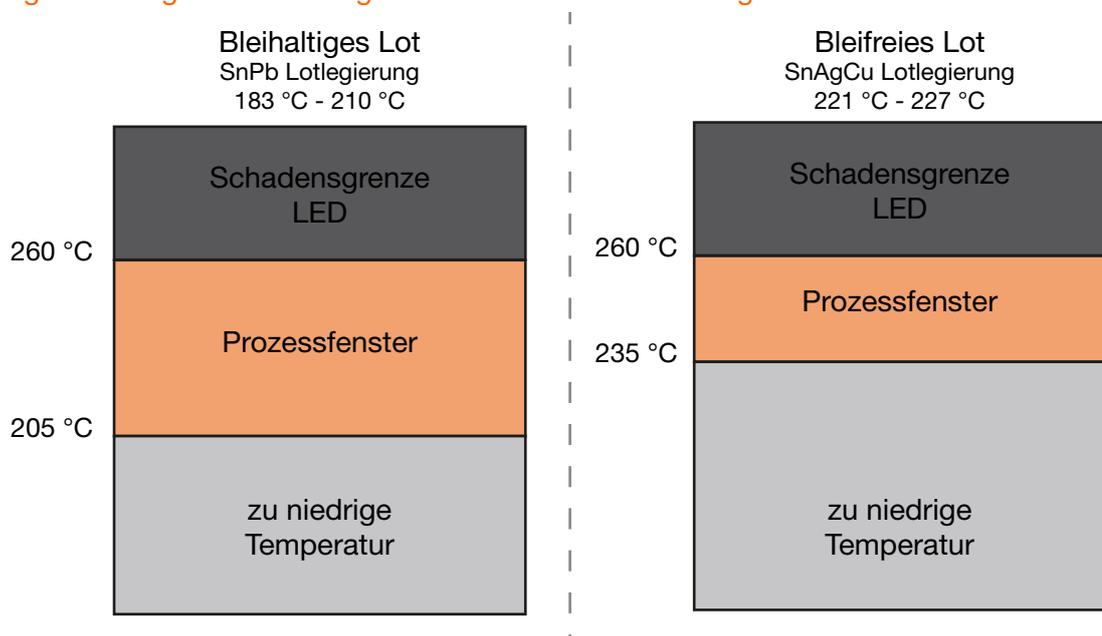
Als Lotmaterial werden seit dem Inkrafttreten der RoHS-Richtlinie im Juni 2006 statt der bisherigen SnPb Legierungen nur noch bleifreie Verbindungen (meist SnAgCu) verwendet. Da das bisherige Know-how für das bleihaltige Löten nicht

direkt auf das neue Materialsystem übertragbar ist, kommt es im Zusammenspiel mit den Bauteilen immer noch zu Problemen bei der Verarbeitung.

Bedingt durch den höheren Schmelzpunkt der bleifreien Legierungen ist verfahrenstechnisch der reine Wechsel zu einem neuen Lot und die damit verbundene Erhöhung der Prozess Temperatur nicht ausreichend bzw. Ziel führend.

Durch die bedingte Verkleinerung des Prozessfensters bei den bleifreien Lotmaterialien muss vielmehr erhöhtes Augenmerk auf das Löt-Equipment (z.B. Ofendesign) und die eigentliche Prozessführung gelegt werden. Darüber hinaus sind die Anwendungs- und Bauteilspezifischen Besonderheiten zu berücksichtigen.

Figure 1: Gegenüberstellung der Prozessfenster bleihaltiges vs. bleifreies Lot



Ohne präzise Feinabstimmung erhöht sich die Gefahr, dass die Bauteile durch thermischen Stress vorgeschädigt werden.

Letztlich muss für das bleifreie Löten ein Kompromiss zwischen der Reduzierung der benötigten Wärmemenge auf das minimal notwendige Maß und einem effizienten Reflow-Prozess, bei dem die notwendige Wärmemenge in kurzer Zeit und bei kleinster Temperaturdifferenz übertragen wird, gefunden werden.

## B. JEDEC J-STD-020E

Basis und Bezugspunkt für das Reflow-Löten von SMDs mit Kunststoff- oder anderen feuchtigkeitsdurchlässigen Gehäusen, zu welcher Kategorie auch LEDs gehören, ist im Wesentlichen der JEDEC Standard J-STD 020E "Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices". [1]

Dieser beinhaltet allgemeine Anforderungen und Grenzwerte zur Klassifizierung von SMD Bauteilen hinsichtlich ihres Verhaltens gegenüber Feuchte (MSL –

Moisture Sensitivity Level) und der daraus resultierenden Maßnahmen für die Verpackung, Lagerung und Handhabung. Dadurch soll gewährleistet werden, dass eine Schädigung bei der Verarbeitung mittels Reflow-Löten vermieden wird.

Wichtigster Punkt im Hinblick auf das Reflow-Löten ist die Festlegung der maximalen Temperaturbeständigkeit in Abhängigkeit von der Gehäusedicke und dem Volumen der Bauteile (Table 1). Die Klassifizierungstemperatur  $T_C$ , gemessen an der Bauteiloberseite, stellt dabei die Gehäusetemperatur dar, bis zu welcher das Bauteil in der Regel von den Herstellern qualifiziert worden ist und bis wohin es bei angegebener Feuchteempfindlichkeit temperaturbeständig und seine Verarbeitbarkeit sichergestellt ist.

Definiert ist die Gehäusetemperatur als „Package Peak Temperature (PPT)“, oder oft auch als „Package Reflow Temperature“. Häufig wird, auch aufgrund des Begriffs Reflow“, irreführend angenommen, dass sich die Temperatur auf den Verarbeitungsprozess der Lotverbindung bezieht (Lötstellentemperatur = Solder Joint Temperature).

**Table 1: Maximale Temperaturbeständigkeit  $T_C$  in Abhängigkeit von Gehäusedicke und Volumen für einen bleifreien Verarbeitungsprozess**

<b>Gehäusedicke</b>	<b>Volumen in mm<sup>3</sup> &lt; 350</b>	<b>Volumen in mm<sup>3</sup> 350 – 2000</b>	<b>Volumen in mm<sup>3</sup> &gt; 2000</b>
< 1.6 mm	260 °C	260 °C	260 °C
1.6 mm – 2.5 mm	260 °C	250 °C	245 °C
> 2.5 mm	250 °C	245 °C	245 °C

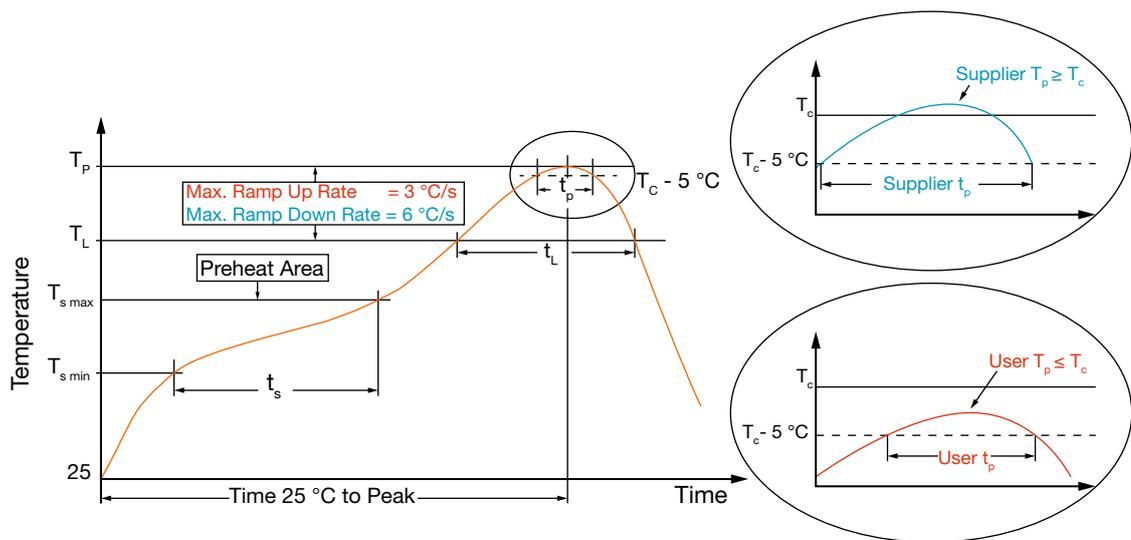
Die Größen MSL und PPT dienen ausschließlich zur Produktcharakterisierung, und geben Auskunft hinsichtlich der Robustheit der Halbleiterbauteile für das Reflow-Löten, bzw. legen das zeitliche Fenster fest, wie lange die Bauteile einer kontrollierten Umgebung ausgesetzt sein dürfen, bevor ein zusätzlicher Trocknungsprozess vor dem Verarbeiten (Löten) notwendig ist.

Im Hinblick auf die Verarbeitung sind im JEDEC Standard wichtige relevante Eckdaten und allgemein gültige Grenzwerte aufgeführt (Table 2) und auch ein allgemeiner, grundlegender Temperatur-Zeit Verlauf (= Lötprofil) für den Reflow-Lötprozess dargestellt (Figure 2).

Table 2: Relevante Eck- &amp; Grenzwerte für das Reflow-Löten

Profil Eigenschaft	Bleifreie Bearbeitung
Vorwärmen / Durchwärmen	
Temperatur Min ( $T_{S \min}$ )	150 °C
Temperatur Max ( $T_{S \max}$ )	200 °C
Zeit ( $t_S$ ) von ( $T_{S \min}$ bis $T_{S \max}$ )	60 – 120 Sekunden
Anstiegszeit ( $T_L$ bis $T_P$ )	3 °C / Sekunden max.
Liquidustemperatur ( $T_L$ )	217 °C
Zeit ( $t_L$ ) konstant über $T_L$	60 – 150 Sekunden
Spitzentemperatur des Gehäusekörpers ( $T_p$ ) <sup>1</sup>	Bei Kunden darf $T_p$ die Klassifikations-temperatur nicht überschreiten. Beim Hersteller muss $T_p$ gleich oder größer als die Klassifikationstemperatur sein.
Zeit ( $t_p$ ) <sup>2</sup> innerhalb von 5 °C der angegebenen Klassifizierungstemperatur ( $T_C$ )	30 <sup>1</sup> Sekunden
Rücklaufquote ( $T_p$ bis $T_L$ )	6 °C / Sekunde max.
Zeit 25 °C bis Spitzentemperatur	8 Minuten max.
<sup>1</sup> Die Toleranz für die Spitzentemperatur ( $T_p$ ) wird als Herstellerminimum und als Kundenmaximum definiert. <sup>2</sup> Die Zeittoleranz der Spitzenprofiltemperatur ( $t_p$ ) ist als Herstellerminimum und Kundenmaximum definiert.	

Figure 2: Allgemeines Klassifizierungsprofil für das Reflow-Löten nach J-SDT-020E



Dabei wird nochmals verdeutlicht, wie die Gehäusetemperatur als Grenzwert einerseits für den Hersteller bei Qualifizierung und andererseits für den Kunden bei der Verarbeitung zu betrachten bzw. anzuwenden ist.

Im JEDEC Standard wird darüber hinaus festgelegt, dass sich alle Temperaturen auf das Zentrum des Gehäuses beziehen, und auf der Gehäuse Körperfläche zu messen sind, die während des Lötprozesses nach oben zeigt („live-bug“).

## C. Reflow Ofen

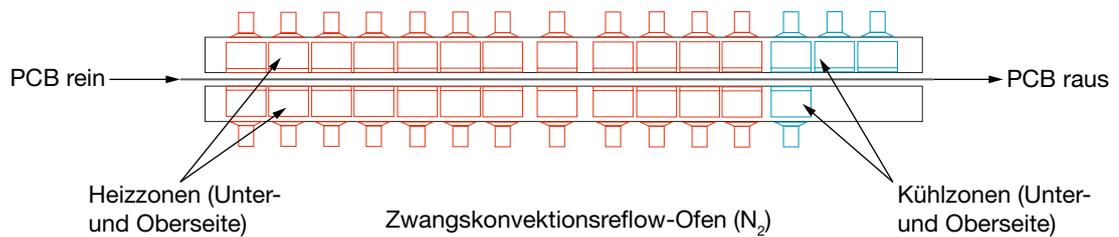
Mittelpunkt und wesentlichster Beeinflussungsfaktor eines jeden Reflow Prozesses ist der eingesetzte Ofen (Figure 3) zum Aufschmelzen der Lotpaste. Durch die Einführung der RoHS-Richtlinie und der damit verbundenen höheren Betriebstemperaturen werden an moderne Reflow-Öfen immer größere Anforderungen gestellt, auch in Hinblick auf die neu zu evaluierenden Lötprozesse.

Im Fokus stehen dabei exakt einstellbare Temperaturprofile, präzise Reproduzierbarkeit und geringster Energiebedarf bei gleichzeitig einfacher Handhabung und höchstem Durchsatz.

Oberstes Ziel in diesem Kontext ist die Stabilität und Gleichmäßigkeit der Wärmeübertragung zur Minimierung des Temperaturunterschiedes ( $\Delta T$ ) auf der zu lötenen Baugruppe.

In modernen Konvektionsreflow-Öfen erfolgt die Wärmeübertragung über strömende Luft oder Stickstoff, abhängig von der jeweiligen Zone geheizt oder gekühlt.

Figure 3: Schematische Darstellung des verwendeten Reflow-Ofens von OSRAM Opto Semiconductors mit 12 Heiz- und 3 Kühlzonen



Die wirksame Energieübertragung auf die Baugruppe wird demzufolge durch die Strömungsgeschwindigkeit des Gases bestimmt. Aufgrund der unterschiedlichen Abmessungen und Massen der Bauteile ist es deshalb unerlässlich die Strömungsgeschwindigkeit einstellbar zu gestalten, um einen Versatz oder ein Wegblasen von Bauteilen zu vermeiden. Die Stabilität der Prozesszonen, auch bei unterschiedlichster Ofenbeladung, wird durch die Trennung der einzelnen Heizzonen, durch den Einsatz leistungsstarker Heizelemente und durch eine genaue und schnelle Temperaturregelung erreicht.

Um einen stabilen Lötprozess zu gewährleisten, sollte ein Reflow-Ofen die folgenden Merkmale aufweisen:

- Separat kontrollierte Heizzonen (Unter- und Oberseite)
- Variable Profilgestaltung durch möglichst viele Heizzonen
- Keine gegenseitige Beeinflussung der Temperatur und Strömung von Zone zu Zone
- Kontrollierte Strömung und Strömungsgeschwindigkeit
- Gleiche Temperatur und Strömungsverhältnisse über die gesamte Prozessbreite
- Keine Schatteneffekte
- Kein Versetzen von Bauteilen
- Kurze Aufheizzeit
- Getrennt regelbare Kühlzonen, mit Ober- und Unterseitenkühlung

## D. Temperaturprofil

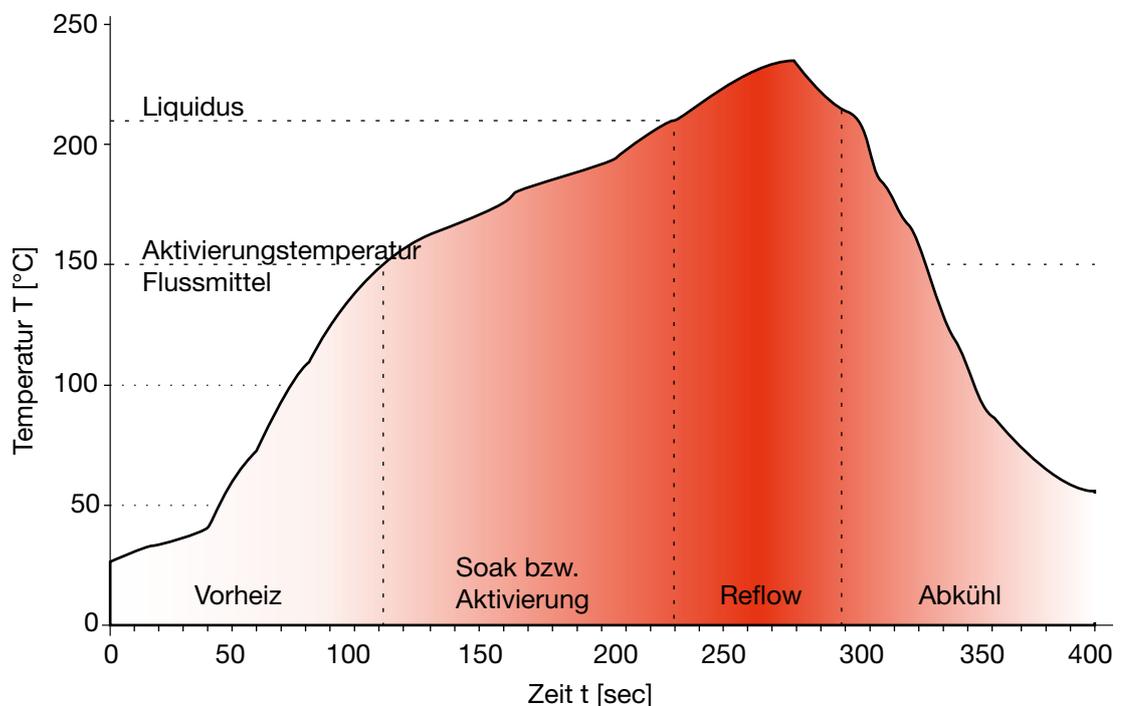
Zur Erstellung eines idealen Temperaturprofils für eine elektronische Baugruppe sollten alle beteiligten Einflussgrößen (wie z.B. Lotpaste, thermische Masse, Anzahl und Größe der Bauteile, Boarddesign, Material und Aufbau der Leiterplatte, Lötoven) bekannt sein und berücksichtigt werden.

Als erste Ausgangsbasis zur Profilierung sollte die Empfehlung des Lotpastenherstellers herangezogen werden. Hier sind meist schon die

entsprechenden Parameter (oder Grenzen) angegeben, bei denen der Hersteller ein optimales Ergebnis für die verwendete Lotpaste erwartet. Angaben über die Lötbarkeit der verwendeten Leiterplatte findet man in der Regel relativ selten, so dass hier nur anhand des Materials (FR4 oder IMS) und des Designs (Lagenzahl) und der Benetzungseigenschaften der Oberflächen grobe Aussagen zur Profilgestaltung abgeleitet werden können. Besonderes Augenmerk bei der Profilerstellung sollte auf die angegebenen maximalen Belastungsgrenzen der SMD Bauteile gelegt werden. In der Regel beziehen sich hier die Bauelementhersteller auf die entsprechenden Standards wie JEDEC J-STD-020, J-STD 075 oder IEC 60068-2-58.

Als Zusammenfassung der verfügbaren Informationen lässt sich folgende Einteilung des Reflow-Profiles in 4 Phasen festlegen (Figure 4). Bei der Erstellung eines Profils ist das Verständnis dieser vier Phasen von essentieller Bedeutung.

Figure 4: Phasen eines Reflow Lötprofils



### P1 Vorheiz (pre heat) Zone

Im ersten Schritt erfolgt ein Aufheizen der Leiterplatte, der SMD Komponenten und des Lotes bis zu einer bestimmten Temperatur (je nach verwendeter Lotpaste zwischen 120 °C und 150 °C) bei der die enthaltenen Lösungsmittel und Feuchte im Lot langsam verdampfen. Der Aufheizgradient sollte hierbei nicht mehr wie 2 °C/sec betragen. Ein schnelleres Erhitzen kann zum einen zu einem vorzeitigen Abbau der Konturstabilität der Lotpaste und Lötkegelbildung (Solder Balling) führen, zum andern können Temperaturgradienten größer gleich 3 °C/sec zu einer Schädigung der Bauteile und Substrate führen. Fehler wie Cracking oder Delaminationen sind dann die Folge.

## P2 Soak Zone

Die sogenannte Soak Zone, die auch als Solder Paste Dry bzw. Aktivierungszone bezeichnet wird, ist notwendig, um die Temperatur möglichst gleichmäßig über die gesamte Baugruppe zu stabilisieren. Gleichzeitig dient dieser Abschnitt auch zur Aktivierung des Flussmittels d.h. das Flussmittel wechselt in einen flüssigen Zustand und reinigt die zu lötenden Oberflächen. Der Soak Bereich sollte eine Dauer von 60 – 120 Sekunden haben, wobei viele Lotpastenhersteller für Ihre bleifreien Produkte maximal 90 Sekunden angeben.

Die in der Industrie primär verwendeten Zwangskonvektionsöfen bieten einen gleichmäßigeren Wärmetransfer im Vergleich zu reinen Infrarotöfen. Dadurch ergibt sich eine homogenere Erwärmung der Baugruppe, wodurch eine mehr lineare Aufheizkurve bis zur Liquidustemperatur, abhängig von der Baugruppengröße, Bauteildichte und -größe und Ofeneffizienz, realisiert werden kann.

## P3 Reflow Zone

In diesem Abschnitt findet das eigentliche Aufschmelzen und Löten statt. Bei Erreichen der Reflow Zone erfolgt üblicherweise ein Temperaturanstieg mit einer Aufheizrate von ca. 2 °C/sec bis zur Peaktemperatur. Der Peak sollte 20 °C bis 40 °C über der Liquidustemperatur liegen, die für Standard SAC-Lote 217 °C beträgt. Die Zeit über Liquidus sollte bei 30 – 90 Sekunden begrenzt sein, um ein übermäßiges Wachstum der intermetallischen Phasen zu reduzieren und unerwünschte Ablegiereffekte zu begrenzen welche zu einer Verminderung der Lötstellenzuverlässigkeit führen können. Zu lange Verweilzeiten über Liquidus und/oder zu hohe Peaktemperaturen führen einerseits auch zu einer thermische Schädigung bzw. im Extremfall zum Verkohlen der verbleibenden Lotrückstände, und andererseits zu einer Schädigung der SMD Komponenten und des Leiterplattensubstrates. Grundsätzlich ist es sinnvoll, hier mit den empfohlenen Werten des Lotpastenherstellers eine Ersteinstellung des Profils vorzunehmen und bei Bedarf an die Gegebenheiten der Baugruppe anzupassen.

## P4 Abkühl (cool down) Zone

In der Abkühlzone sollte eine Abkühlrate von 3 °C/sec eingehalten werden, um den Bauteilen, der Leiterplatte und dem Lot ein gleichmäßiges Abkühlen zu ermöglichen. Dies minimiert den Stress auf das Bauteilgehäuse und die Lötstellen. Ein besonderes Augenmerk gilt hier Baugruppen mit stark unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Bauteil und PCB Substrat, wie z.B. Keramik basierende LEDs und Alu – MCPCB. Ein Überschreiten der zulässigen Abkühlgradienten führt hier sehr rasch zu einer Schädigung der Komponenten und des Substrates. Ebenso können beim Erstarren des Lotes nicht mehr relaxierende Spannungen entstehen.

Zu langsames Abkühlen ( $\leq 0.5$  °C/sec), besonders bei Temperaturen um den Schmelzpunkt, erzeugt gröbere Kornstrukturen im Lot, welche die Zuverlässigkeit der Lötstelle beeinträchtigen können und gleichzeitig die

Wahrscheinlichkeit eines kristallinen Aussehens der Lötstelle erhöhen (mattes Aussehen).

## E. Zusammenfassung der wichtigsten Parameter des Reflow-Profiles

Gemäß der aufgezeigten Unterteilung lässt sich ein Reflow-Profil im Wesentlichen mit folgenden Parametern hinreichend beschreiben:

- Aufheizgradient (Ramp-Up) aufgeteilt in zwei Bereiche 25 °C – 150 °C und  $T_{S\ max} - T_P$
- Vorheizzeit (Soaktime)
- Zeit über der Liquiduslinie  $T_L$
- Maximal Temperatur  $T_{Peak}$  (Peak Temp.)
- Abkühlgradient bei  $T_{Peak} - 5\ K$
- Besonderheiten (Gradientensprünge)

## F. OSRAM Opto Semiconductors Empfehlung und maximal zulässige Werte

Obwohl schon frühzeitig viele Hersteller von SMD-Komponenten bleifrei verarbeitbare Bauteile angeboten haben und teilweise schon seit 2002 komplett auf RoHS konforme Prozesse umgestellt wurde, gibt es immer noch offene Fragen oder Schwierigkeiten hinsichtlich der Verarbeitung von SMDs im bleifreien Prozess.

Um den vorhandenen Unsicherheiten und daraus resultierenden Problemen entgegenzuwirken, zeigt OSRAM Opto Semiconductors hier eine detaillierte Empfehlung zur Verarbeitung von SMD LEDs im bleifreien Lötprozess. Figure 5 zeigt den empfohlenen Temperatur-Zeit-Verlauf. Table 3 enthält darüber hinaus eine Auflistung der wichtigsten Profil-Parameter, wobei die empfohlenen Werte einen ersten geeigneten Startpunkt darstellen. Diese Parameter müssen gegebenenfalls an die individuellen Bedürfnisse der zu lötenen Komponenten angepasst werden. Die angegebenen Temperaturwerte beziehen sich dabei immer auf die Package Peak Temperature (PPT).

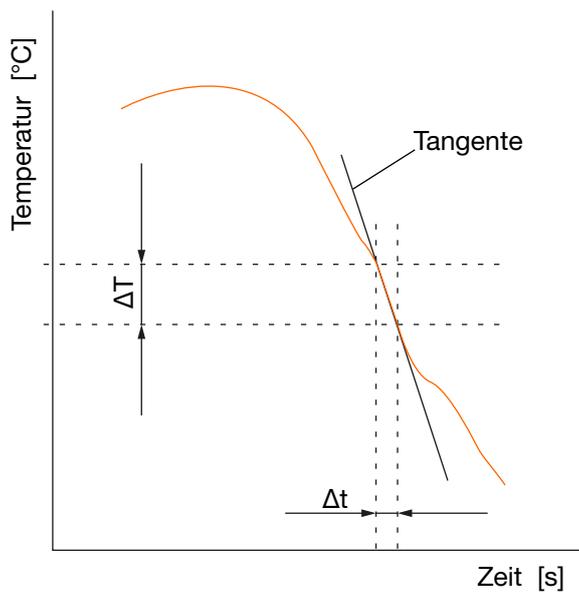
Ein ebenso wichtiger Parameter für die Beurteilung bzw. Auswertung von Reflow-Profilen sind die Gradienten in der Aufheiz- und Abkühlphase. Dabei ist es auch entscheidend, mit welchem Zeitintervall die Berechnung vorgenommen wird. In Figure 5 wird die Grundlage zur Berechnung der Gradienten gezeigt.

Für eine präzise Bewertung eines Profils ist es daher letztendlich notwendig die Gradienten über den gesamten Zeitverlauf zu bestimmen.

Zur Ermittlung dieser Gradienten verwendet OSRAM Opto Semiconductors folgende Berechnungsgrundlage.

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \textit{Steigung} \quad (\text{mit } \Delta t = \text{max. 5 sec})$$

Figure 5: Grundlage zur Berechnung der Gradienten bei OSRAM Opto Semiconductors



Diese Formel ist sowohl in der Aufheiz- ( $25\text{ °C} - T_P$ ) als auch in der Abkühlphase ( $T_P - 100\text{ °C}$ ) anzuwenden.

Table 3: Profil Parameter für empfohlenen Reflow-Prozess

<b>Bleifreie Montage</b>		
<b>Profilmerkmal</b>	<b>Empfehlung</b>	<b>Maximalwerte</b>
Aufheizgeschwindigkeit zum Vorheizen <sup>1</sup> 25 °C bis 150 °C	2 °C/sec	3 °C/sec
Zeit $t_S$ von $T_{S\ min}$ bis $T_{S\ max}$ (150 °C - 200 °C)	100 s	min. 60 sec; max. 120 sec
Aufheitsgeschwindigkeit bis Peak <sup>1</sup> $T_{S\ max}$ to $T_P$	2 °C/sec	3 °C/sec
Liquidustemperatur $T_L$	217 °C	
Zeit $t_L$ über $T_L$	80 sec	max. 100 sec
Spitzentemperatur $T_P$	245 °C	max. 250 °C / 260 °C Abhängig von der Verpackungsart
Alle Temperaturen beziehen sich auf die Mitte des Gehäuses, gemessen auf der Oberseite des Bauteils		
<sup>1</sup> Steigung $\Delta T/\Delta t$ : $\Delta t$ max. 5 sec; Erfüllung des gesamten T-Bereichs		

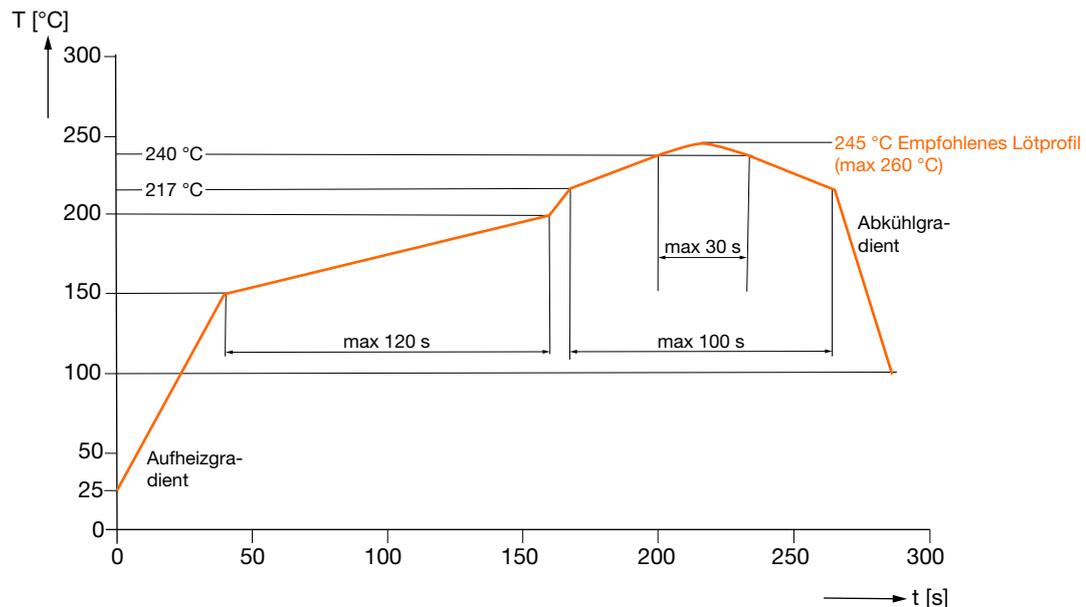
Table 3: Profil Parameter für empfohlenen Reflow-Prozess

Bleifreie Montage		
Profilmerkmal	Empfehlung	Maximalwerte
Zeit $t_p$ innerhalb von 5 °C der angegebenen Spitztemperatur ( $T_C$ )	20 sec	min. 10 sec; max. 30 sec
Rücklaufquote <sup>1</sup> $T_p$ to 100 °C	3 °C/sec	max. 4 °C/sec / 6 °C/sec Abhängig von der Verpackungart
Zeit 25 °C bis Spitztemperatur		max. 8 min

Alle Temperaturen beziehen sich auf die Mitte des Gehäuses, gemessen auf der Oberseite des Bauteils

<sup>1</sup>Steigung  $\Delta T/\Delta t$ :  $\Delta t$  max. 5 sec; Erfüllung des gesamten T-Bereichs

Figure 6: Empfohlenes Reflow-Lötprofil für LEDs von OSRAM Opto Semiconductors



## G. Reflowprofil bedingte Schädigung von Bauteilen und andere Reflow-Fehler

Vielerorts stehen bei der Erstellung des Reflow-Profiles auch kommerzielle Anforderungen wie optimierter Liniendurchsatz im Vordergrund, bzw. durch nachfolgende Prüfprozesse bedingte Forderung nach möglichst niedrigen Auslauftemperaturen (der Baugruppen nach dem Reflow-Ofen). Diese Anforderungen lassen sich in der Regel nur durch relativ hohe Transportgeschwindigkeiten gepaart mit höheren Peaktemperaturen bzw. extreme Abkühlgradienten in der Kühlzone realisieren. Dadurch werden sehr oft die zulässigen thermischen Belastungsgrenzen der Komponenten ausgereizt

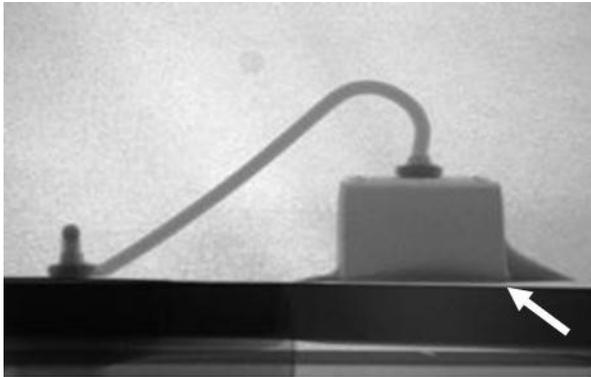
bzw. überschritten, so dass es zu Vorschädigungen oder sogar Spontanausfällen kommen kann.

Exemplarisch werden nachfolgend einige Fehlerbilder, die durch eine derartige thermische Überlastungen der LEDs entstehen könnten, gezeigt.

### Offenes Interface (Chip-Kleber-Leadframe)

Ein möglicher Fehler bei LEDs, der sich auf eine thermomechanische Überlastung durch zu hohe Peak-Temperaturen und extreme Abkühlgradienten zurückführen lässt, zeigt Figure 7. Die thermisch induzierten Spannungseinträge in die LED sind so groß, dass die Verbindungsstelle zwischen Leadframe und Chipkleber aufgerissen wird. Im Röntgenbild ist der abgehobene Chip inklusive Kleber deutlich zu sehen.

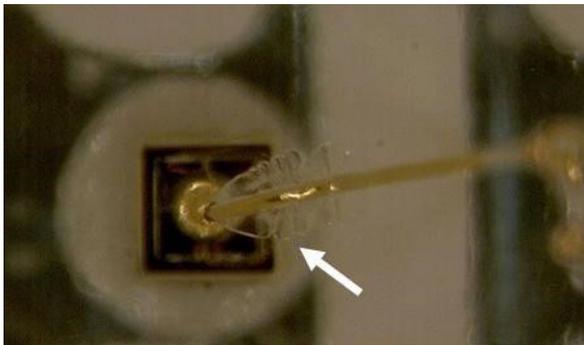
Figure 7: Beispiel einer Bauteilschädigung (Spalt zwischen Leadframe und Chip-Kleber)



### Crack

Zu einer Beeinträchtigung der optischen Eigenschaften der LED können sogenannte „cobra cracks“ führen (Figure 8). Diese Risse im Vergussmaterial der LED werden ebenfalls durch extreme Lötprofile in Kombination mit zu feucht verarbeiteten Bauteilen erzeugt.

Figure 8: Beispiel einer Bauteilschädigung (Crack)



### Lötfehler

Ein bekannter Lötfehler, der vor allem bei kleinen, meist zweipoligen Bauteilen auftritt, ist das sogenannte Tombstoning oder auch Grabstein-Effekt. Dabei richtet sich das Bauteil aufgrund von unsymmetrischen Kräften an den Löt pads

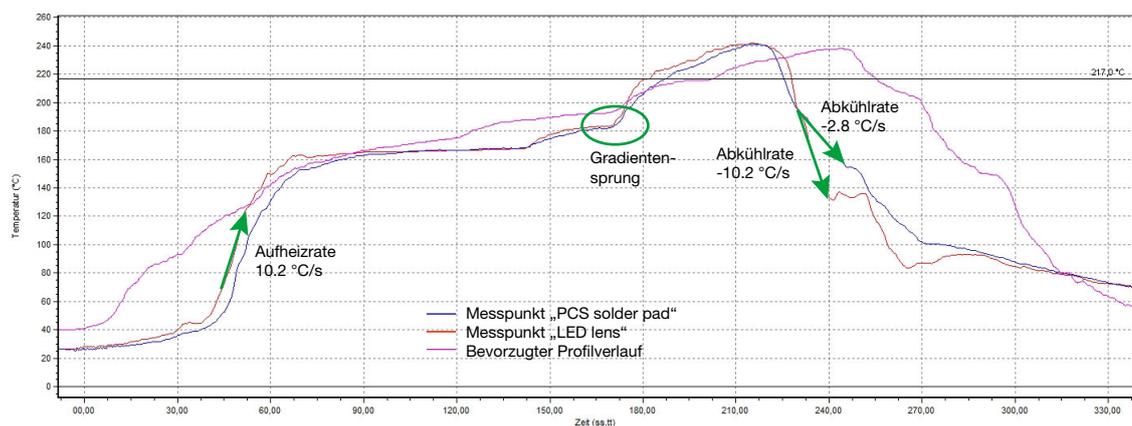
während des Lötvorgangs einseitig auf, so dass an einem Anschlusspin kein elektrischer Kontakt zum Lötpad gebildet wird.

Vergleicht man die Profilarten, Sattel- und Linearprofil, so stellt man fest, dass das Fehlerbild bei Sattelprofilen häufiger erzeugt wird. [3] Begründen lässt sich dies, durch den viel stärker ausgeprägten Übergang von der Soak-Phase in den Reflowabschnitt (schmelzflüssige Phase des Lotes) bei einem Sattelprofil. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem Gradientensprung. Durch diese schlagartige Temperaturerhöhung steigt gleichzeitig auch wieder das Risiko einer Vorschädigung der Bauteile. Die Wahrscheinlichkeit für den Tombstone-Effekt wird zusätzlich durch weitere Faktoren wie Anlagenatmosphäre (Luft oder Stickstoff), Transportgeschwindigkeit und Benetzungseigenschaften der verwendeten Lotpasten, sowie durch asymmetrische Löt pads stark beeinflusst. Dabei stehen diese Einflussgrößen immer in einer Wechselwirkung zueinander. Beispielhaft soll im Folgenden ein Lötprofil gezeigt werden (Figure 9), mit dem oben beschriebene Fehlerbilder erzeugt werden können.

Gleichzeitig verdeutlicht dieses real gemessene Profil nochmals den großen Unterschied zwischen dem Temperaturmesspunkt am Löt pad und der Messung auf bzw. am Bauteilgehäuse. Dabei fallen hier besonders die stark differierenden Abkühlgradienten auf.

Sowohl die extremen Aufheiz- wie auch Abkühlgradienten als auch ein stark ausgeprägter Gradientensprung können Lötfehler bewirken und/oder übermäßige Thermospannungen verursachen, die zu einer Schädigung des Bauteils führen.

Figure 9: Beispiel eines ungeeigneten Reflow-Profil mit zu steiler Aufheiz- bzw. Abkühlrampe und einem Gradientensprung



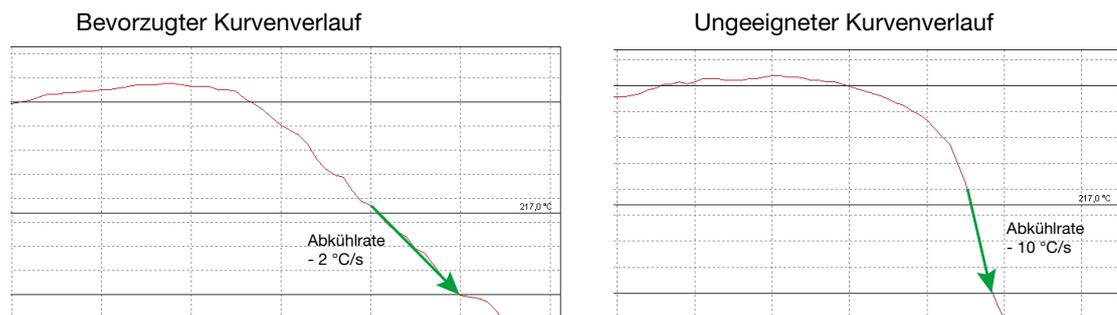
## H. Mögliche Maßnahmen zur Optimierung des Reflowprofils

Wie beschrieben können falsch gewählte Parameter und Einstellungen eine erhebliche Schädigung der zu lötenen Baugruppe bewirken. Die folgenden Hinweise sollen eine Hilfestellung geben und Möglichkeiten aufzeigen das

Reflowprofil zu optimieren bzw. mit wenigen Modifikationen einen möglichst bauteilschonenden Lötprozess umzusetzen:

- Begrenzung der Peaktemperatur auf ca. 240 °C
- Lineares Aufheizen
- Vermeidung von Gradientensprüngen (Übergang von Soak in Reflow-Zone)
- Gleichförmiger Kurvenverlauf um Peaktemperatur im Zeitbereich über Liquidustemperatur (Figure 10)
- Verwendung der letzten Heizzone zur sanften Kühlung (ca. 170 °C)
- Kühlzonen: Verringerung der Luftgeschwindigkeit auf Minimalwert
- Bei aktiver Kühlzone: Erhöhung des Arbeitspunktes des Wärmetauschers (meist nur durch Anlagenhersteller möglich)
- Verringerung der Transportgeschwindigkeit (bedarf aber gleichzeitig einer Temperaturanpassung (Erniedrigung) in allen Heizzonen)

Figure 10: Beispiel eines ungeeigneten und eines bevorzugten Kurvenverlaufs im Zeitbereich über der Liquidustemperatur



## I. Zusammenfassung

In der vorliegenden Schrift werden nochmals ausführlich die entscheidenden Parameter zur Erstellung eines bleifreien Reflow-Lötprofils aufgezeigt und detailliert beschrieben. Ein besonderes Augenmerk liegt hier in der Vermeidung thermisch induzierter Schädigungen der verwendeten SMD Bauteile und Leiterplattensubstrate.

Die beschriebenen Empfehlungen können letztlich nur einen Startpunkt darstellen, der stets an die individuellen Gegebenheiten der Baugruppen und des Fertigungsumfeldes (Ofen, usw.) angepasst werden muss.

Die erhöhten Prozessanforderungen der bleifreien Lotpasten bei gleichzeitig kleiner werdendem Prozessfenster bringen auch die verwendeten Reflow-Öfen schnell an ihre Grenzen. Deshalb ist es notwendig alle technologischen Optionen der Öfen zur optimalen Profileinstellung anzuwenden.

Wie auch im JEDEC niedergeschrieben, sind die aufgezeigten Grenzen als absolute Obergrenzen der in der Bauteilqualifizierung abgetesteten Werte zu sehen und sind somit nicht im Fertigungsprozess zur Anwendung zu bringen.

Wie in vielen Studien und Arbeiten [4] aufgezeigt, ist ein optimierter und kontrollierter Lötprozess nicht nur die Grundvoraussetzung für die Funktionstüchtigkeit einer Baugruppe, sondern beeinflusst auch wesentlich die Qualität der Lötstelle, und somit die Zuverlässigkeit.

## J. Literatur

- [1] JEDEC J-STD-020E
- [2] JEDEC Publication No. 140
- [3] Dr. Hans Bell, Reflowfehler und Reflowprofile, Rehm Thermal Systems GmbH, September 2007.
- [4] Dr. Hans Bell, Reflowlöten Grundlagen, Verfahren, Temperaturprofile und Lötfehler, Eugen G. Leuze Verlag Bad Saulgau, ISBN 3-87480-202-7.
- [5] P. John Shiloh and John Malboeuf, How to Profile a PCB, Novostar Technologies, 2005.



**Don't forget:** LED Light for you is your place to be whenever you are looking for information or worldwide partners for your LED Lighting project.

[www.ledlightforyou.com](http://www.ledlightforyou.com)

## ABOUT OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS

OSRAM, Munich, Germany is one of the two leading light manufacturers in the world. Its subsidiary, OSRAM Opto Semiconductors GmbH in Regensburg (Germany), offers its customers solutions based on semiconductor technology for lighting, sensor and visualization applications. OSRAM Opto Semiconductors has production sites in Regensburg (Germany), Penang (Malaysia) and Wuxi (China). Its headquarters for North America is in Sunnyvale (USA), and for Asia in Hong Kong. OSRAM Opto Semiconductors also has sales offices throughout the world. For more information go to [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com).

## DISCLAIMER

**PLEASE CAREFULLY READ THE BELOW TERMS AND CONDITIONS BEFORE USING THE INFORMATION SHOWN HEREIN. IF YOU DO NOT AGREE WITH ANY OF THESE TERMS AND CONDITIONS, DO NOT USE THE INFORMATION.**

The information provided in this general information document was formulated using the utmost care; however, it is provided by OSRAM Opto Semiconductors GmbH on an "as is" basis. Thus, OSRAM Opto Semiconductors GmbH does not expressly or implicitly assume any warranty or liability whatsoever in relation to this information, including – but not limited to – warranties for correctness, completeness, marketability, fitness for any specific purpose, title, or non-infringement of rights. In no event shall OSRAM Opto Semiconductors GmbH be liable – regardless of the legal theory – for any direct, indirect, special, incidental, exemplary, consequential, or punitive damages arising from the use of this information. This limitation shall apply even if OSRAM Opto Semiconductors GmbH has been advised of possible damages. As some jurisdictions do not allow the exclusion of certain warranties or limitations of liabilities, the above limitations and exclusions might not apply. In such cases, the liability of OSRAM Opto Semiconductors GmbH is limited to the greatest extent permitted in law.

OSRAM Opto Semiconductors GmbH may change the provided information at any time without giving notice to users and is not obliged to provide any maintenance or support related to the provided information. The provided information is based on special conditions, which means that the possibility of changes cannot be precluded.

Any rights not expressly granted herein are reserved. Other than the right to use the information provided in this document, no other rights are granted nor shall any obligations requiring the granting of further rights be inferred. Any and all rights and licenses regarding patents and patent applications are expressly excluded.

It is prohibited to reproduce, transfer, distribute, or store all or part of the content of this document in any form without the prior written permission of OSRAM Opto Semiconductors GmbH unless required to do so in accordance with applicable law.

## OSRAM Opto Semiconductors GmbH

Head office:

Leibnizstr. 4  
93055 Regensburg  
Germany  
[www.osram-os.com](http://www.osram-os.com)

**OSRAM**  
Opto Semiconductors