

# Konvektionslötén mit System

## Reflow-Prozesstechnologie bereit für die Trends der Zukunft

Fortschreitende Digitalisierung, steigende Produktionszahlen, Vielfalt der Elektronikkomponenten und nicht zuletzt die standortübergreifende globale Produktion von Baugruppen fordern effizientes und flexibel konfigurierbares Fertigungsequipment. Dazu gehören als Hauptbestandteile jeder SMT-Linie auch Reflowlötssysteme. Dieser Artikel beantwortet wesentliche Fragen zur Konfiguration dieser Systeme und der daraus resultierenden Auswirkung auf Lötprozesse.

Autoren: Dr. Hans Bell, Dr. Paul Wild, Valentin Lackner

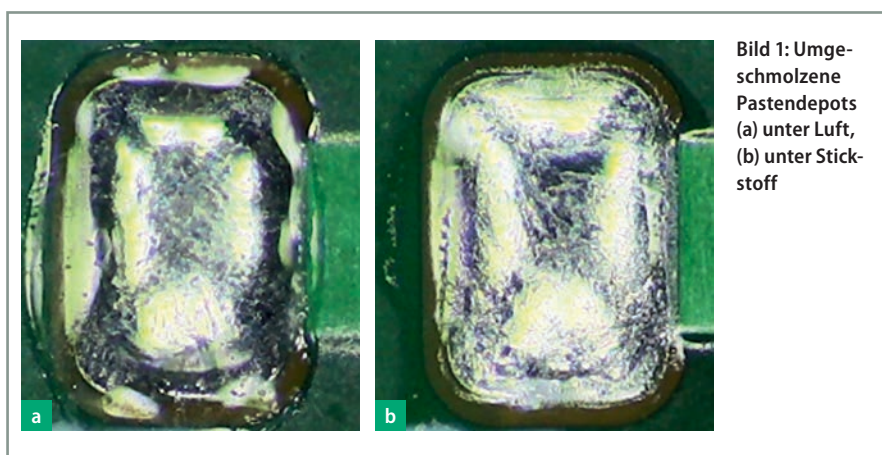


Bild 1: Umgeschmolzene Pastendepots (a) unter Luft, (b) unter Stickstoff

wodurch eine stabile inerte Prozessumgebung erzeugt wird, welche die in-situ-Oxidation aller am Lötprozess beteiligten Partner verhindert. Benetzung und Lotausbreitung verbessern sich (Bild 1 a + b). Die Reflowlötanlagen von Rehms ermöglichen das Einstellen eines gewünschten Restsauerstoffwertes (Bild 2). Damit wird dem Anwender ein zusätzlicher Parameter zur Verfügung gestellt, um die Lötergebnisse für spezifische Boards optimieren zu können.

Die Möglichkeit den Restsauerstofflevel anzupassen, schafft nicht nur eine optimale Kosten-/Nutzen-Balance, sondern auch bestimmte Fehlerarten zu vermeiden, insbesondere das Tombstoning. Durch den fehlenden Sauerstoff wird die Oxidation verhindert und die Benetzungsvorgänge beschleunigt, wodurch es zu einem Zeitversatz beim Benetzen der beiden Seiten eines Bauelements kommen kann – ein Tombstone entsteht. So können manchmal höhere Restsauerstoff-Konzentrationen (zum Beispiel 500 oder 800 ppm) während des Reflowlötens die Anzahl der Tombstones reduzieren. Von Schake [1] wurde gezeigt, wie das Restsauerstoffniveau die

Nach wie vor sind Konvektionslötanlagen weltweit das Rückgrat der Surface Mount Technology (SMT). Dies ist vor allem durch ihre Flexibilität, hohe Effizienz und die guten Wärmeübertragungseigenschaften begründet. Gerade diese Eigenschaften sind heute wichtiger denn je, da die fortschreitende Digitalisierung, steigende Produktionszahlen, eine Vielfalt an Elektronikkomponenten und nicht zuletzt die standortübergreifende globale Produktion von Baugruppen dies erfordern.

### Stabile inerte Prozessumgebung erzeugen

In Konvektionsanlagen wird als Wärmeübertragungsmedium üblicherweise Stickstoff oder Luft verwendet. Im Stickstoffbetrieb wird der Anlage ein Volumen an Gas zugeführt (ca. 20 m<sup>3</sup>/h), welches zusätzlich zum zirkulierenden Gasflow erwärmt wird. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme der Reflowlötanlage steigt dabei um ca. 700 Wh an. Das Stickstoffvolumen verdrängt die Luft und damit den Sauerstoff aus der Prozesskammer,

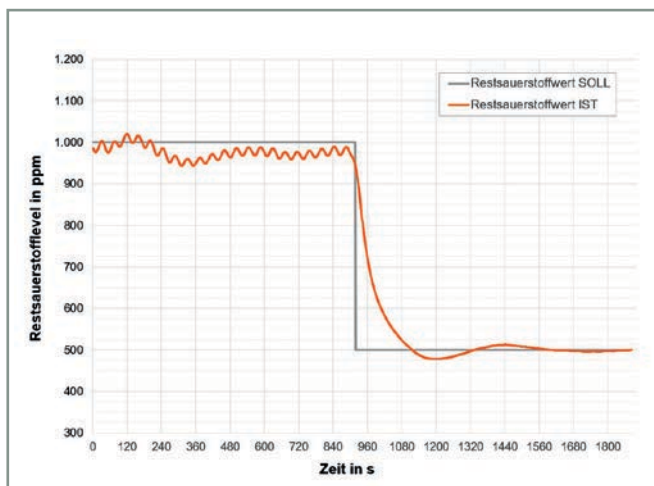


Bild 2: Verlauf des Ist- und Soll-Restsauerstofflevels.

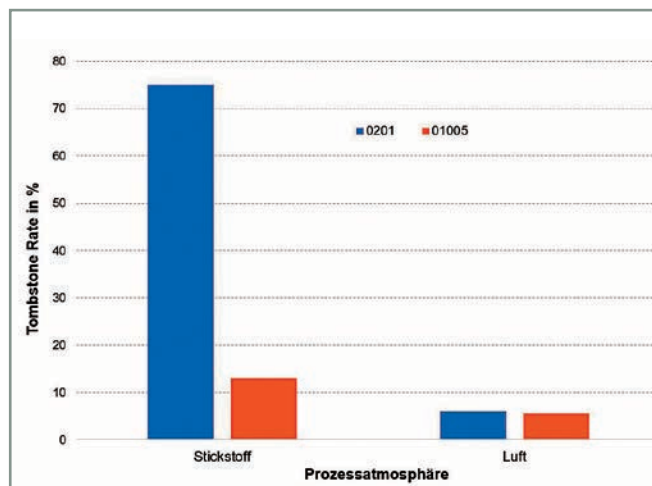


Bild 3: Tombstone-Rate in Abhängigkeit von der Lötatmosphäre. [1]

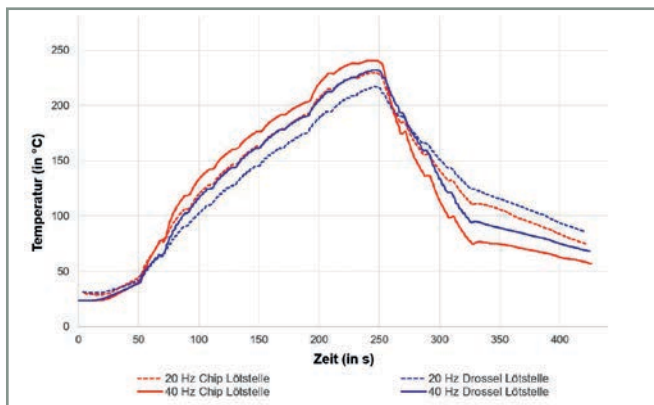


Bild 4: Überlagerung zweier Reflowlötprofile aufgenommen bei unterschiedlichen Gebläsefrequenzen.

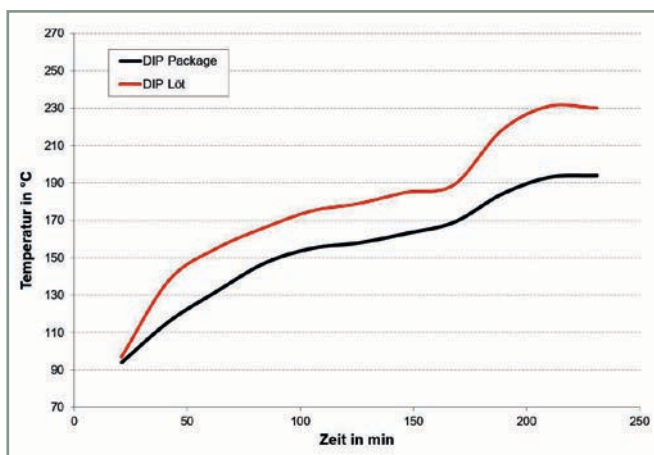


Bild 5: Temperatur-Zeitverlauf an einem DIP-Package.

Tombstone-Rate bei 0201 und 01005 Bauelementen beeinflusst (Bild 3).

### Optimale Temperaturprofilierung

Die Aufgabe der Temperaturprofilierung besteht darin, einerseits an allen Lötstellen eine zuverlässige stoffschlüssige Verbindung zu generieren und andererseits die Limitierungen der thermischen Beständigkeit von Komponenten nicht zu überschreiten. Zur Erzeugung eines geeigneten Temperatur-Zeit-Verlaufes können die Temperaturen, die Transportgeschwindigkeit und die Gebläsefrequenzen der Heizsysteme angepasst werden. Wie bereits aus dem Namen des Reflowlötverfahrens hervorgeht, wird die Prozessatmosphäre durch Zwangskonvektion selbst zum Wärmeübertragungsmedium. Rehmann nutzt zur Erzeu-

gung der Konvektionsströmung EC-Gebläsemotoren, welche mithilfe eines integrierten Frequenzumrichters direkt angesteuert werden können. Die Vorteile dieser Technik sind in der Tabelle 1 zusammengefasst. Mit der Steuerung des Volumenstroms hat der Betreiber eine zusätzliche Möglichkeit, das Temperatur-Zeit-Profil seiner Baugruppe zu beeinflussen (Bild 4).

Die Variation der Gebläsefrequenz findet in der Reflowlötpraxis kaum Beachtung, jedoch bietet sie für knifflige Aufgaben durchaus Lösungsmöglichkeiten. So wird sie beispielsweise bei der von der Firma Endress + Hauser patentierten Back-Side-Reflow-Technologie (Patent DE 102 11 647 B4) verwendet. Bei dieser Technologie werden hinsichtlich ihrer Lötwärmebeständigkeit kritische THD kopfüber im

Reflowprozess gelötet. Während des Lötprozesses erfährt das unten hängende Package einen geringeren Wärmeeintrag als die oben durch die Leiterplatte ragenden Anschlüsse, die ihrerseits gelötet werden (Bild 5).

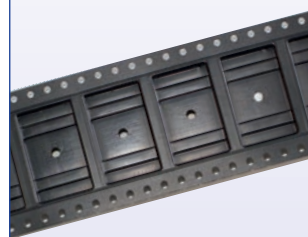
### Die Rolle der Transportgeschwindigkeit

Mit der Änderung der Transportgeschwindigkeit verfügen Reflowlötanlagen über eine zusätzliche Methode, das Temperatur-Zeit-Profil zu verändern (Bild 6). In Tabelle 2 sind die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst. Mit Verringerung der Geschwindigkeit nimmt die maximale Temperatur an allen Messstellen zu und der Temperaturunterschied zwischen den thermischen Massen auf der Baugruppe wird kleiner. Die Atmosphäre

Ansteuerung	Integrierter Frequenzumrichter je Motor
Lärm	2-4 dB (A) geringer als AC-Motoren
Leistungsverbrauch	15-30 % geringer als AC-Motoren
Industrie 4.0	Direkte Schnittstelle mit > 27 Daten
Predictive Maintenance	Permanente Überwachung wesentlicher Betriebsdaten

Tabelle 1: Vorteile der EC- im Vergleich zu AC-Motoren

**REEL**COMPANY GmbH



Mit Ihren Wünschen und unserer 30-jährigen Erfahrung, erzielen wir für Sie optimale Ergebnisse!

- Trägerbänder
- Abdeckbänder
- Leerspulen
- Abschirmbeutel
- Anzeigekarten
- Trockenmittel
- Trockenbeutel
- Pizza Boxen

Fordern Sie uns heraus!



Reel Company GmbH  
Am Reiterzentrum 4  
91522 Ansbach  
Telefon: +49 (0) 981 6921  
www.reelcompany.com  
info@reelcompany.com

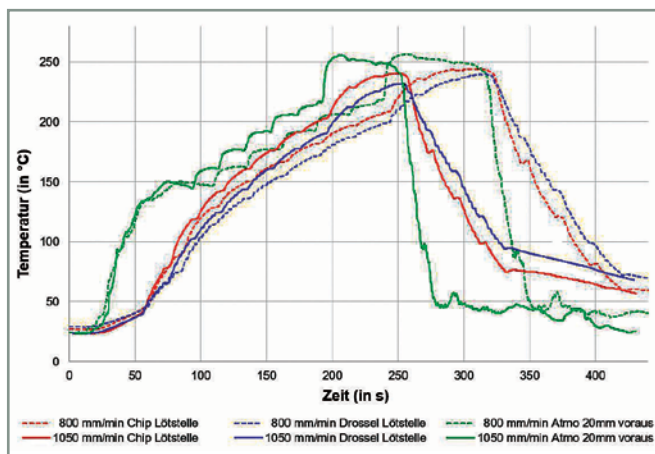


Bild 6: Überlagerung der Temperatur-Zeit-Verläufe für 1.050 und 800 mm/min Transportgeschwindigkeit.

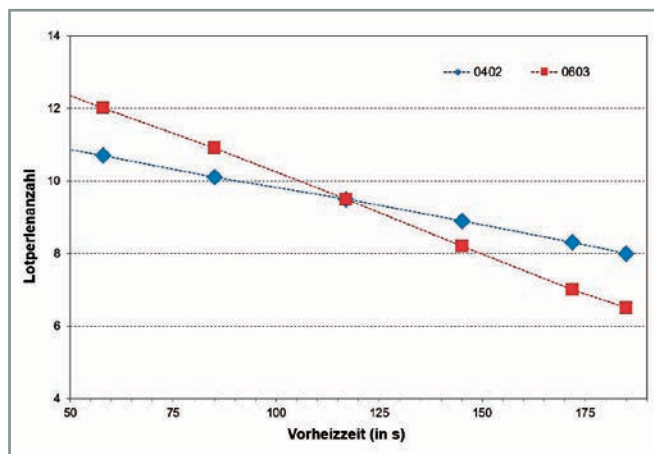


Bild 7: Lotperlenanzahl für verschiedene Vorheizzeiten. [2]

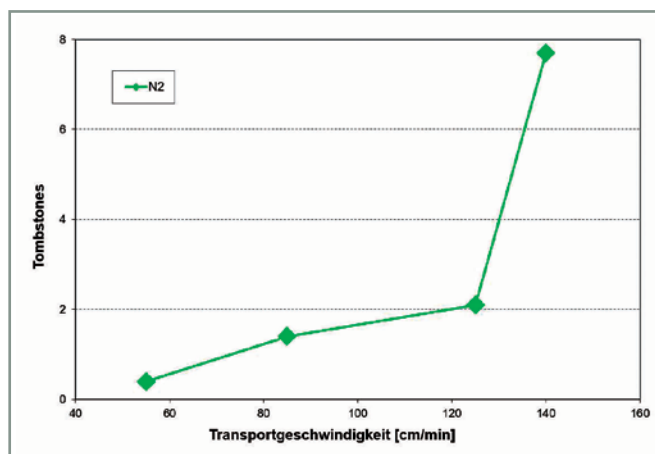


Bild 8: Tombstones in Abhängigkeit von der Transportgeschwindigkeit. [3]

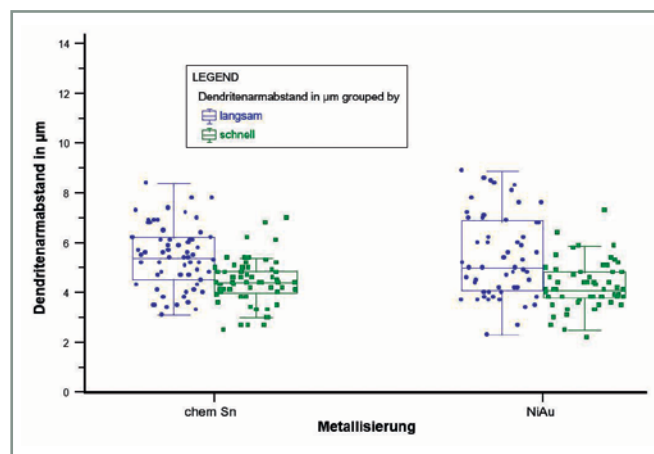


Bild 9: Messungen des Dendriten-Armaabstands mittels EBSD-Messungen an 0402-Lötstellen. [4]

rentemperatur in der Umgebung der Baugruppe ändert sich nur marginal. Der Einfluss der Transportgeschwindigkeit auf die Wärmeübertragung in die Baugruppe ist dagegen enorm.

Daraus lässt sich als Empfehlung ableiten, dass bei der Optimierung eines Reflowlötprofils zunächst die Transportgeschwindigkeit zu ändern ist, bevor alle anderen Anlagenparameter verstellt werden. Zu beachten ist, dass die Transportgeschwindigkeit ihre Wirkung auch auf Lötfehler, wie das Solderballing (Bild 7) und das Tombstoning (Bild 8), entfaltet. So kann beispielsweise mit langsamen Transportgeschwindigkeiten und demen-

sprechend längeren Vorheizzeiten die Anzahl der Lotperlen reduziert werden [2]. Aber auch eine Reduktion der Tombstone-Anzahl ist mit einer geringeren Geschwindigkeit möglich [3].

### Multiple Nutzung des flüssigen Stickstoffs

Während die beschriebenen Möglichkeiten zur Prozess-Inertisierung und Beeinflussung der Temperatur-Zeit-Verläufe als getrennte Parameter bekannt sind, stellt die multiple Nutzung des flüssigen Stickstoffs als Kühlmedium und inertes Medium zugleich eine Neuerung dar. Mit Coolflow hat Rehm erstmals eine Idee der Fir-

ma Air Liquide (EP 2 771 145 B1) maschinentechnisch umgesetzt, die das bisher übliche Kühlwasser aus den Reflowlötanlagen komplett verbannt. Gekühlt wird in diesen Anlagen mit flüssigem Stickstoff, der nach seinem Phasenwechsel gasförmig zur Inertisierung der Prozesskammer eingesetzt wird. Durch den Verzicht auf das Kühlwasser ergibt sich ein energetischer Vorteil für den Betreiber. Die VXP+ Lötanlagen mit Coolflow-Option benötigen  $\leq 10$  kWh im Betriebszustand unter realen Produktionsbedingungen. Gleichzeitig können damit auch sehr niedrige Kühlgradienten eingestellt werden, um die Kühlzeit zu beschleunigen.

Im Rahmen der Studien [4] und [5] wurde der Einfluss eines niedrigen Kühlgradienten auf die Zuverlässigkeit der Lötstellen gründlich untersucht. Mittels EBSD durchgeführten Dendritenarmabstands-Messungen an 0402-Bauelementen auf NiAu- und iSn-Leiterplatten-Oberflächen

	1050 mm/min	800 mm/min
Atmosphärentemperatur	256 °C	257 °C
Max. Temperatur am Chip-BE	241 °C	244 °C
Max. Temperatur an der Drossel	232 °C	240 °C
Temperaturunterschied Chip - Drossel	9 K	4 K

Tabelle 2: Maximale Temperaturen aus den Temperatur-Zeit-Verläufen für 1050 und 800 mm/min Transportgeschwindigkeit



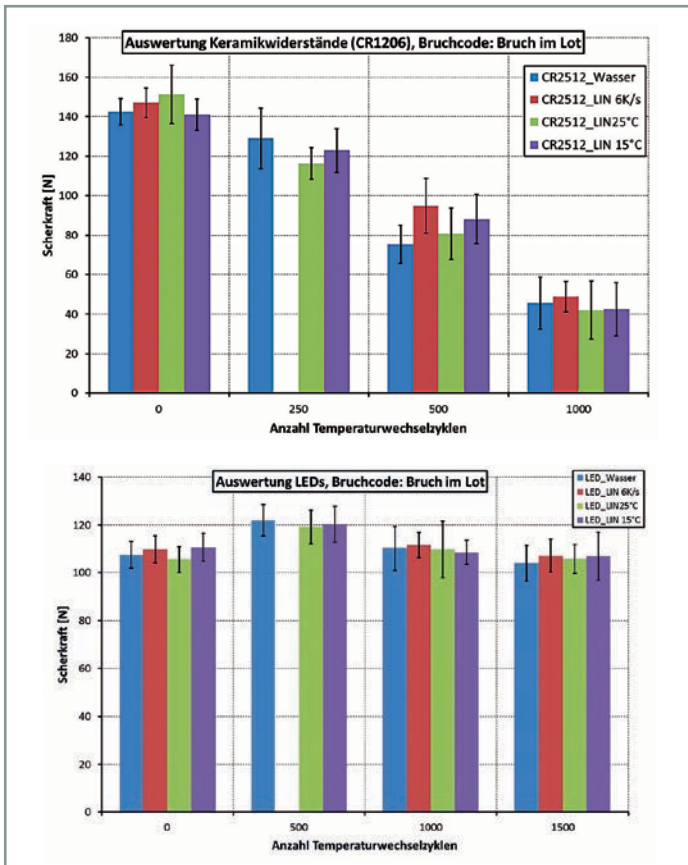


Bild 10: Abnahme der Scherkraft nach 0, 250, 500 und 1.000 Temperaturzyklen von -40 / +125 °C bei CR 1206 (oben) und LED (unten).

Es lässt sich festhalten, dass die Kombination aus den bereits bewährten Anlagenoptionen mit neu entwickelten Maßnahmen, wie EC-Motoren-Technik oder Rehm CooFlow, nicht nur eine Verbesserung der Prozesstechnik ermöglicht, sondern auch eine solide Grundlage für den Aufbau nachhaltiger und In-

wurde nur eine leichte Tendenz zur Kornfeinerung dieser Lötstellen für schnelleres Abkühlen nachgewiesen. Messergebnisse zeigen, dass unter Berücksichtigung des Streubereiches keine signifikante Auswirkung des Abkühlgradienten und der Leiterplattenoberfläche auf das Gefüge der Lötstellen vorliegt (Bild 9). Die nachfolgenden Scherkraft-Messungen nach dem Temperaturwechseltest von -40 / +125 °C bestätigen die Erkenntnisse der metallurgischen Untersuchungen und belegen, dass ein Abkühlgradient im allgemein akzeptierten Reflowlötbereich von 3-6 K/s keinen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Lötstellen hat [5]. Die Ergebnisse (Bild 10) zeigen, dass an den untersuchten CR1206 und LED-Bauelementen die Abnahme der Scherkraft nach 250, 500 und 1000 Zyklen für verschiedene Abkühlgradienten im identischen Bereich liegt. Daraus folgt, dass das System dem Anwender ein durchaus größeres Prozessfenster, insbesondere beim Löten sehr schwerer Baugruppen, eröffnet.

### Eine Vielzahl von Anlagenparametern

In diesem Artikel wurden einige wesentliche Fragen zur Konfiguration der Konvektionslötssysteme und der daraus resultierenden Auswirkungen auf die Lötprozesse beantwortet.

dustrie-4.0-konformer Fertigungsmaschinen bereitstellt. (hw) ■

### Literatur

- [1] Jeff Schake, Mass Reflow Assembly of 01005 Components, Proceedings APEX 2007
- [2] J. Trodler, W. Schmidt, Bleifreie Lötprozessechnik: Haupteinflüsse und Wechselwirkungen auf die Lötqualität beim Verarbeiten von SAC-Lotpasten, Proceedings 3. DVS/GMM-Fachtagung 2006
- [3] H. Wohlrabe, T. Herzog, S. Schröder, Bericht zur Untersuchung des Einflusses von verschiedenen Löt- und Materialbedingungen auf die Qualität von gefertigten SMD-Baugruppen – Versuch 2, 2007
- [4] J. Villain, HS Augsburg, Die Verbindungsqualität von Lötstellen Einfluss der Abkühlgradienten, Multipler Nutzen des Stickstoffs in der Elektronikfertigung, Rehm 18.2.2015
- [5] T. Grözinger, Hahn-Schickard Institut Stuttgart, Bericht CooFlow, Air Liquide Deutschland, 15.07.2016 ■

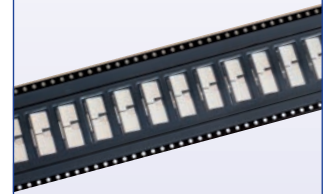
### Autoren

Dr. Hans Bell, Dr. Paul Wild, Valentin Lackner  
Rehm Thermal Systems

all-electronics.de  
infoDIREKT

201pr0420

REELCOMPANY GmbH



Mit Ihren Wünschen und unserer 30-jährigen Erfahrung, erzielen wir für Sie optimale Ergebnisse!

- DIE-Gurtung
- SMD-Gurtung
- Radial-Gurtung
- Axial-Gurtung
- Bauteiltrocknung
- Bauteilvorbereitung
- Programmierung

Fordern Sie uns heraus!



Reel Company GmbH  
Am Reiterzentrum 4  
91522 Ansbach  
Telefon: +49 (0) 981 6921  
www.reelcompany.com  
info@reelcompany.com