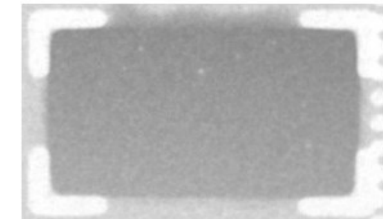
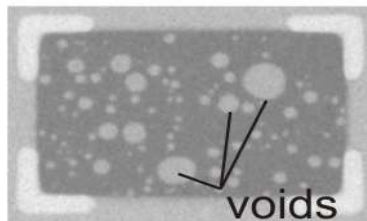


Korbach, 03.12.2019

FED-Regionalgruppenveranstaltung bei Horizont Group



Vakuum-Löten mit Reflow-Technik



Christian Ulzhöfer

Geschäftsführer, SMT Thermal Discoveries

Dr. rer. nat, Dipl. Phys.

SMT Thermal Discoveries



Technologiecenter, sowie Verwaltungsgebäude

- Gegründet 1987 durch Hans-Günter Ulzhöfer
- 2011:
 - Christian Ulzhöfer → CEO
 - Caroline Beck → Prokuristin
- ~160 Mitarbeiter
- Ansässig in:
 - Wertheim (Hauptsitz)
 - Mexiko, Guadalajara
 - Suzhou, China



Technologiecenter, Werk I und Vorführraum



Werk II



Werk I und Vorführraum

SMT Weltweit



SMD Reflowlöt



Vakuumlöt



Temperieren



Individuelle Lösungen

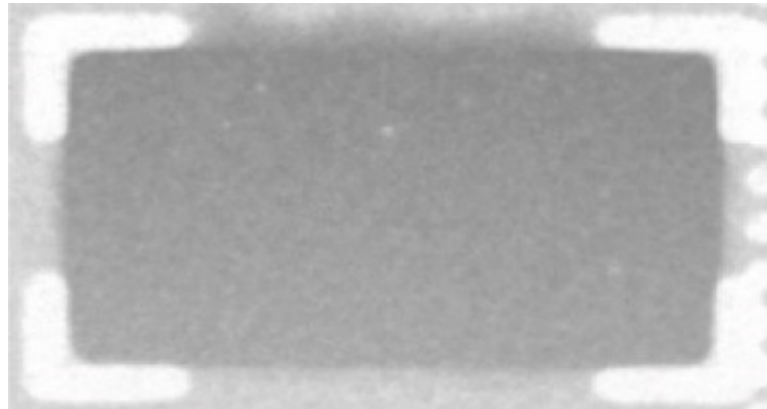


- Energiesparend (Strom wie Stickstoff)
- Hohe Qualität (Langlebigkeit)
- Wartungsarm

Automotive – Telecommunication – Aerospace – Medicine – Defense

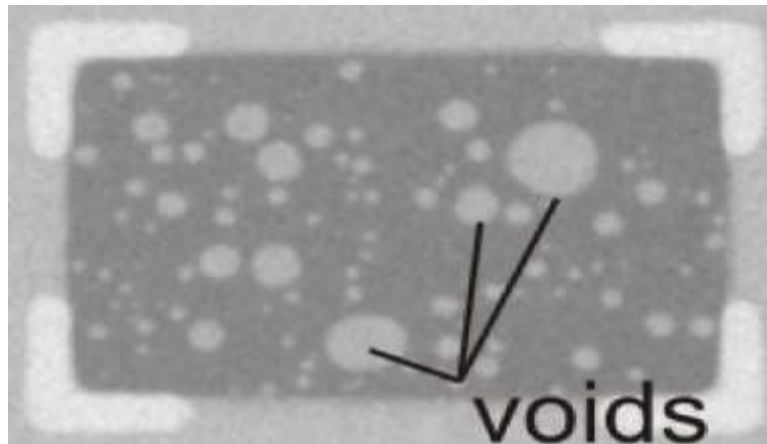


Poren (Voids) entstehen hauptsächlich durch...



... Ausgasungen von organischen Bestandteilen der Lotpaste und der Leiterplatte

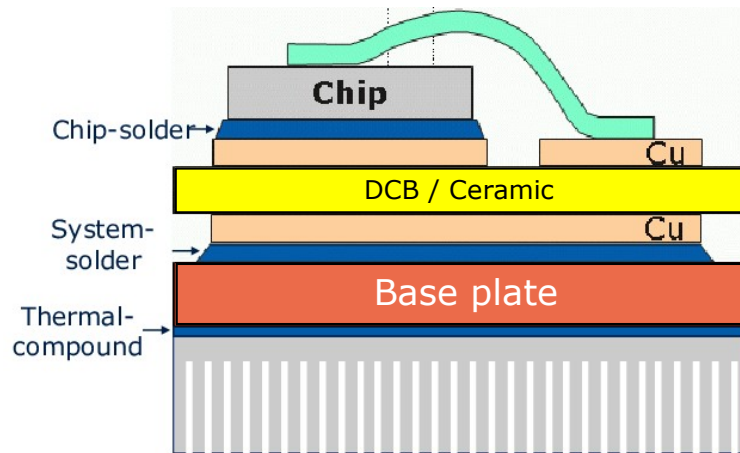
- organische Säuren,
- Lösemittel,
- Thixotropiemittel.



Weitere Gründe für Fehlstellen in der Lötstelle:

- Präzipitate (metallische Lunker),
- Feuchtigkeit in Leiterplatte oder Bauteil,
- *Schlechte, d.h. nicht benetzbare Oberflächen.*

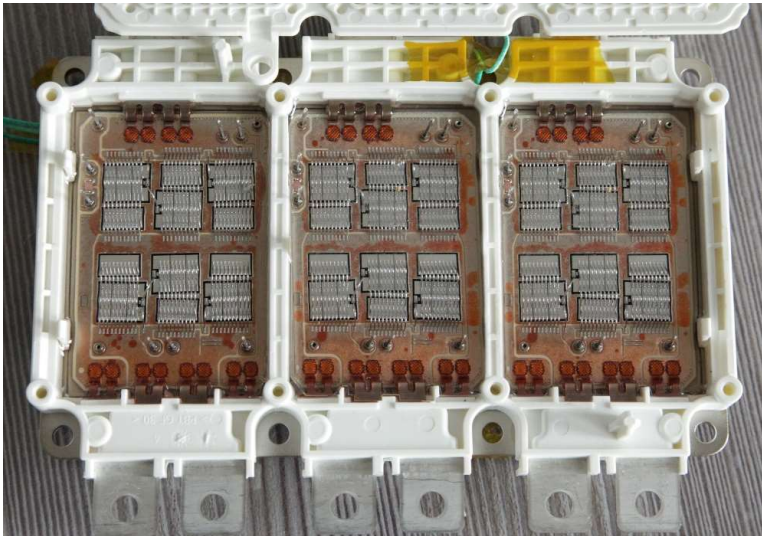
Typische Einsatzgebiete



Höchste Qualität und Langlebigkeit wird benötigt in:

- Leistungselektronik (IGBTs, Bare Dies, MOS-FET,...)
 - Die-Attach
 - DCB-Attach
 - Thermal Compound (Interconnect)
- LED auf PCB im Hochleistungsbereich
- Sicherheitsrelevante Elektronik (Automotive)
- Langlebige Elektronik (z.B. Off-Shore Windräder)
- Medizin / Luftfahrt / Militär

Warum sind weniger Poren besser?



Hauptsächlich wegen besserer Wärmeleitung in Leistungsmodulen, LEDs, Hybridbaugruppen, MOS-FETS, QFNs etc.

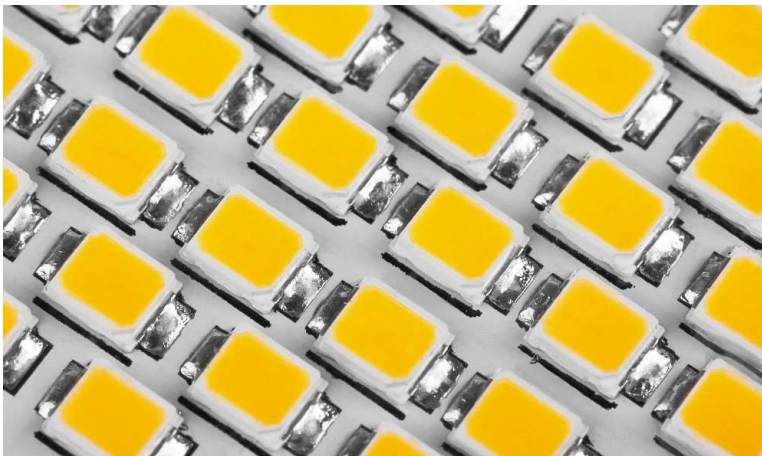
1) Problem der Wärmeleitung:

- Lokal hohe Stromdichte
- Hohe ohmsche Verlustleistung
- Lokale Si-Bauteiltemperatur ($T > 200^{\circ}\text{C}$)
- Reduzierte Lebensdauer der Lötstellen und/oder des Bauteils

Faustregel: $+10^{\circ}\text{C} \rightarrow 50\%$ kürzere Lebensdauer

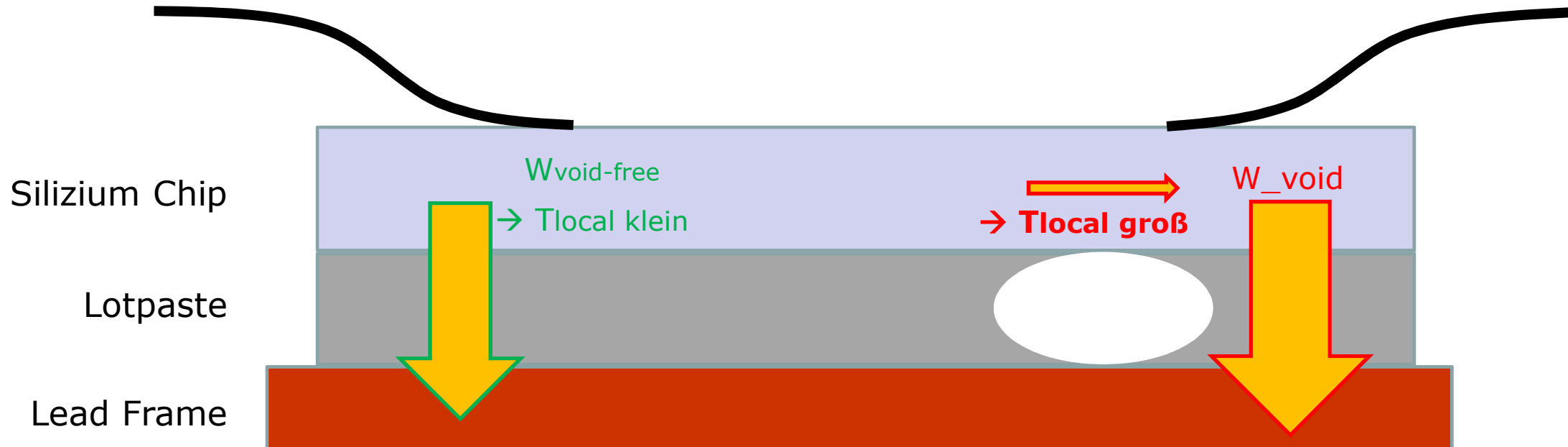
2) Mechanisches Kippen von LEDs

- Poren verdrängen Lotpaste und heben Bauteile an
- LED steht nicht mehr parallel zur optischen Achse



Wärmeleitung ist abhängig von lokalem Wärmefluss

Ohmsche Dissipation erzeugt Wärmestrom in Halbleiter, der über Si-Chip und Lotstelle abgeführt werden muss.



Anmerkung:

Hochbleihaltige Lote zeigen typischerweise weniger Poren.

Wärmeleitung ist Material- und Geometrieparameter

$$\dot{Q} = \lambda \frac{A}{d} [T_1 - T_2]$$

\dot{Q} = Wärmestrom

λ = Wärmeleitkoeffizient.

A = Durchgangsfläche

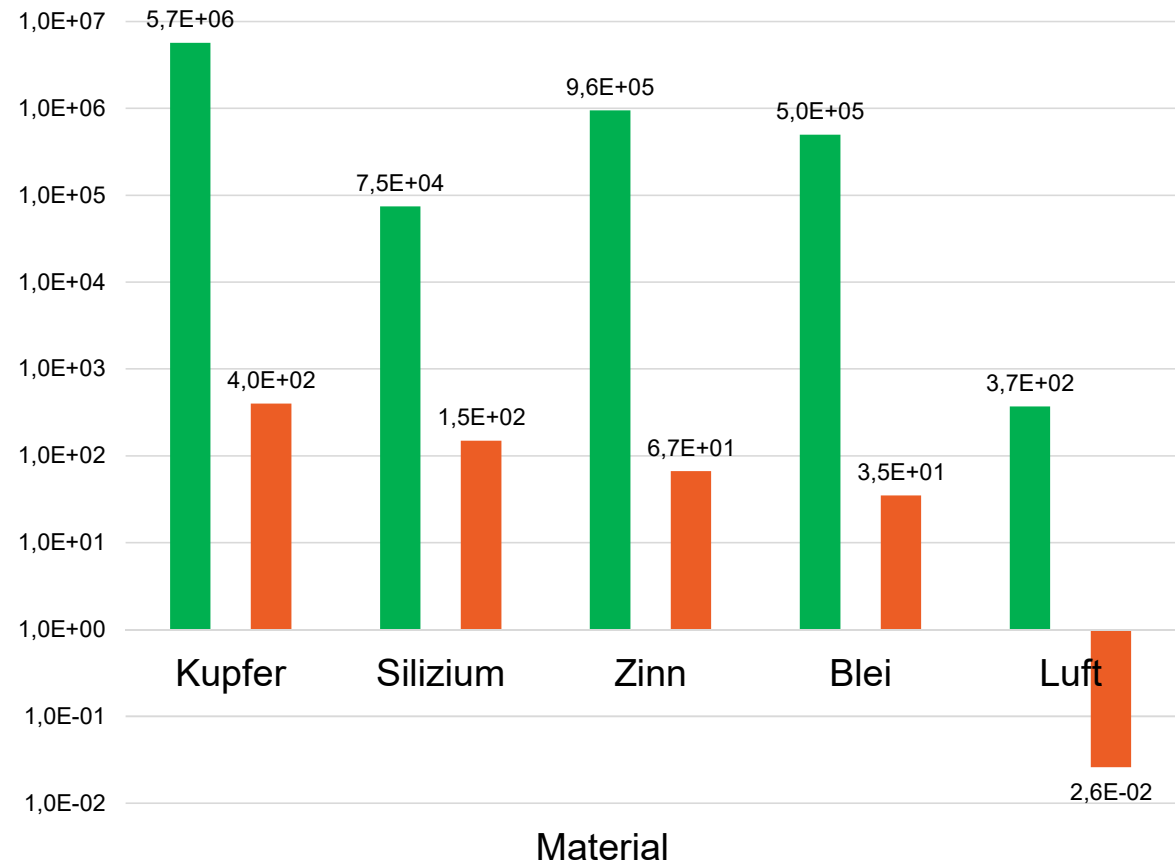
d = Abstand

$T_1 - T_2$ = Temperaturdifferenz

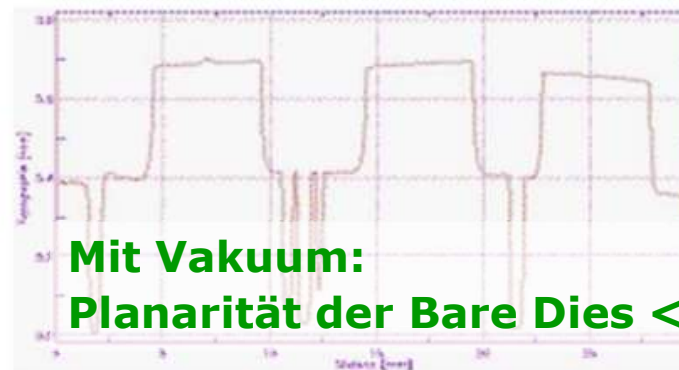
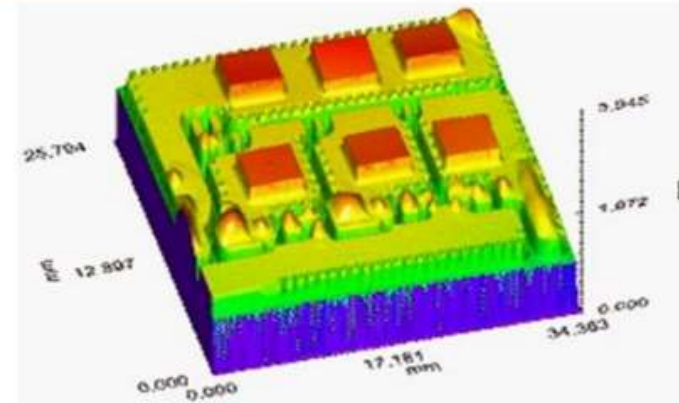
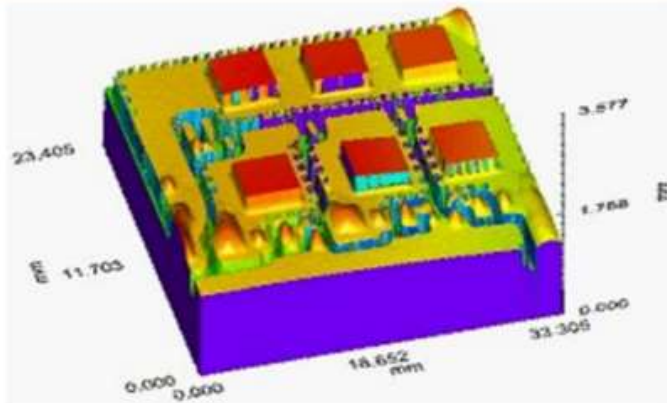
Unterscheide zwischen Materialkonstante λ und Abstands- bzw. Flächengemitteltem Werten „ $\lambda \cdot (A/d)$ “.

| Stoff | d: angen. Länge der Wärmeleitungstrecke [m] |
|----------|---|
| Kupfer | 7,00E-05 |
| Silizium | 2,00E-03 |
| Zinn | 7,00E-05 |
| Blei | 7,00E-05 |
| Luft | 7,00E-05 |

Wärmeleitung [W/(mK)]
Abstandsgemittelte Wärmeleitfähigkeit λ/d [W/(m²K)]



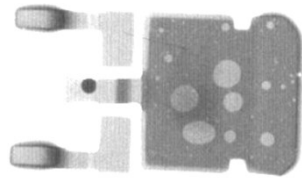
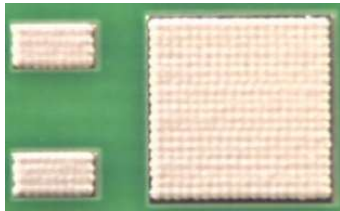
Folgen von Poren: Verkippung



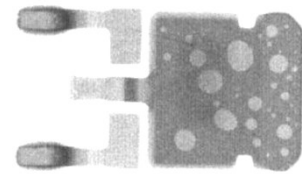
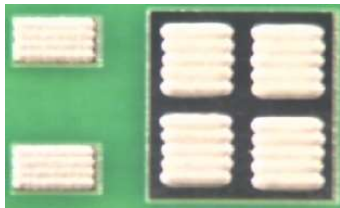
Gelötete Bare Dies oder LEDs benötigen eine gewisse Planarität für nachfolgende Prozesse z.B. Bonding, optische Baugruppen von Dioden.

Konventioneller Reflow-Prozess: Einfluss des Pastendruckes auf Poren

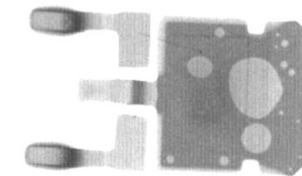
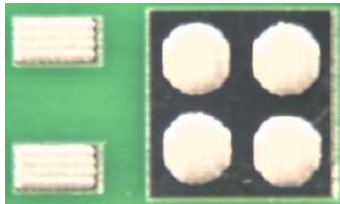
Viereck



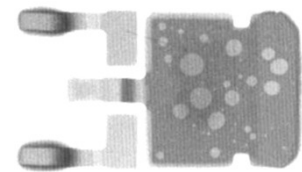
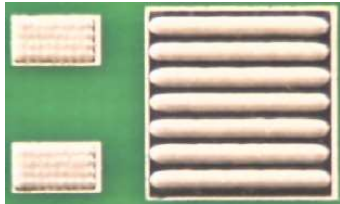
Quadrate



Kreise



Linien



Variation der Fertigungsschritte

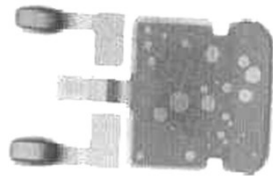
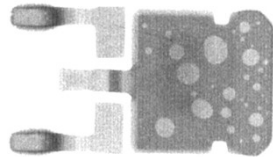
- Lotpastenauftrag und Form

→ Durch Ändern der Druckform werden Poren beeinflusst...

... aber nicht unterbunden.

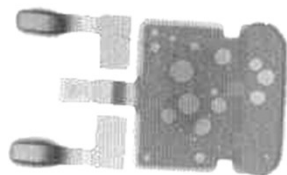
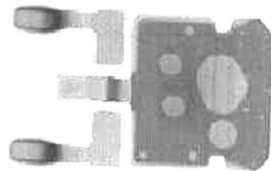
Konventioneller Reflow-Prozess: Einfluss von Stickstoff auf Poren

Standardprofil
ca. 20% Voids



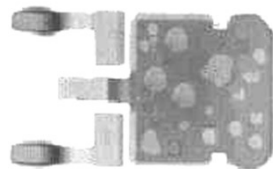
4 min Profil
Kurzer Peak

4 min Profil
Langer Peak



4 min Profil
230°C

4 min Profil
250°C



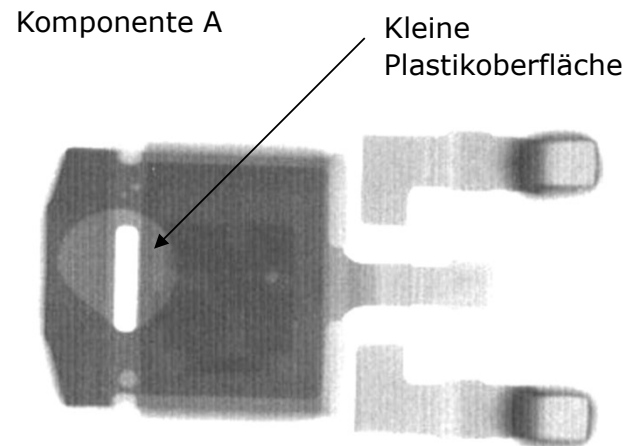
Optimierung der Fertigungsschritte

- Einsatz von Stickstoff
- Optimierung des Reflow-Profiles

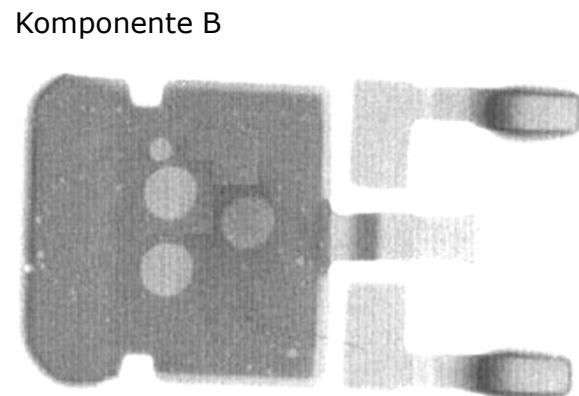
→ **Wenn die Benetzbarkeit durch Stickstoff verbessert wird, werden Poren (etwas) reduziert.**

→ **Benetzbarkeit muss über Temperaturprofil auf das entsprechende Produkt optimiert werden.**

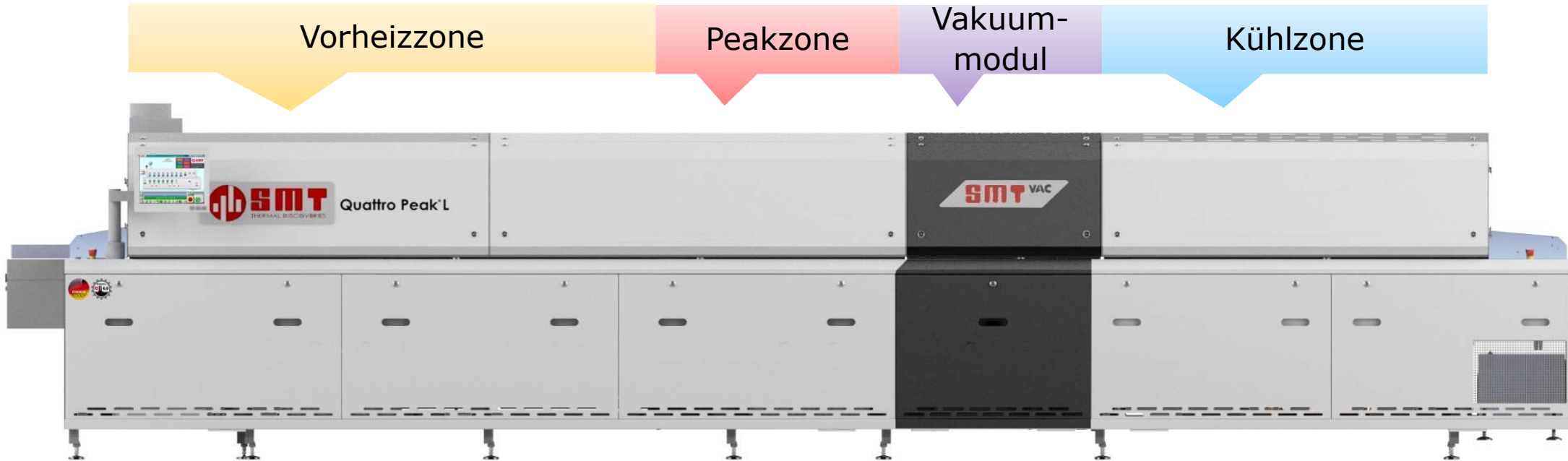
Konventioneller Reflow-Prozess: Porenursache: Nicht benetzbare Oberflächen



Komponente A: Geringe Benetzbarkeit von Plastikoberflächen führt zu Poren.

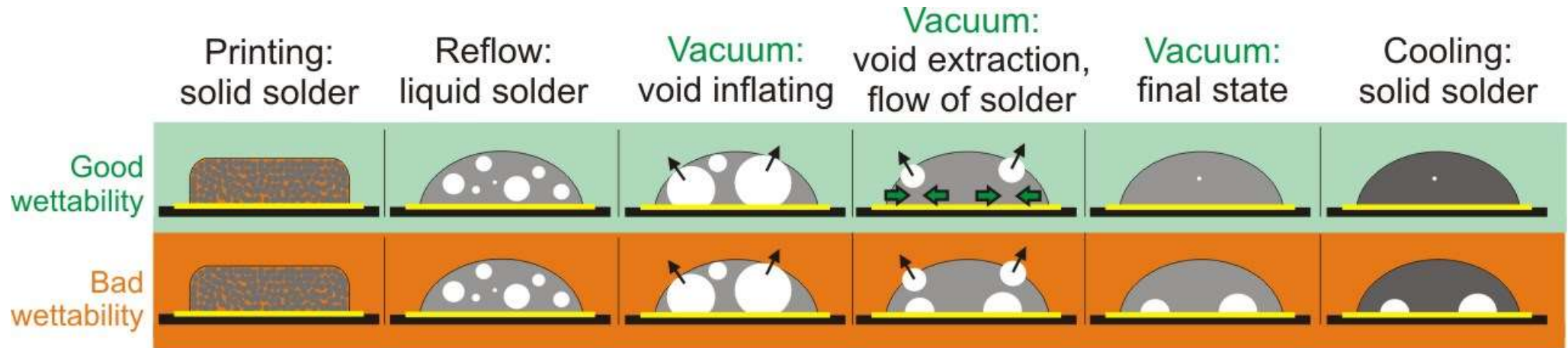


Komponente B: Schlecht benetzbare Oberflächen sind ebenfalls porenanfällig.



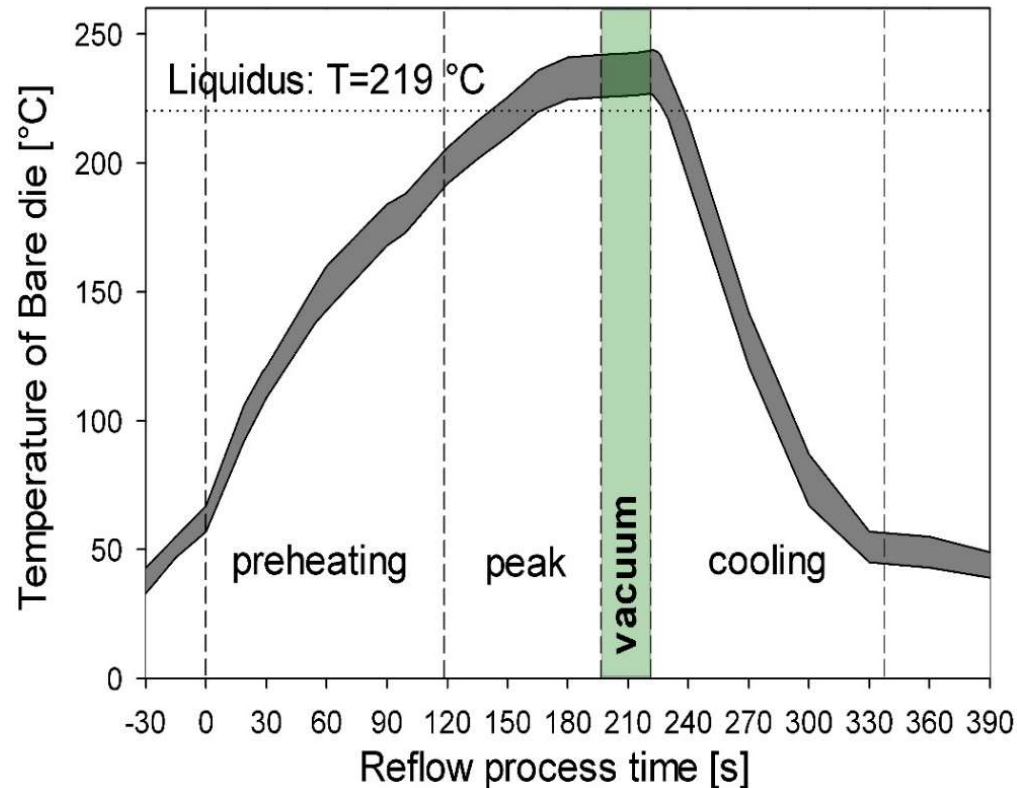
- Vakuummodul zwischen Peak- und Kühlzone
- Inline-System
- Stickstoff- und luftfähig
- Prozess mit und ohne Vakuum
- Alle Prozessparameter sind einstellbar.

Detaillierter Vakuum-Reflow-Prozess



- Porenminimierung erfolgt durch:
 1. Expansion der Poren durch Unterdruck (**Druck_Pore > Druck_anliegend !**)
 2. Kontakt der Poren mit Lotoberfläche
 3. Durch Oberflächenspannung wird Pore herausgezogen
- Kritische Prozessschritte:
 - Verdrängtes Lot muss über die Oberfläche fließen
- **Gute Benetzbarkeit** → Oberflächen sind vollständig mit Lot benetzt
- **Schlechte Benetzbarkeit** → Oberflächen sind **teilweise** mit Lot benetzt → verbleibende Poren

Temperaturprofil

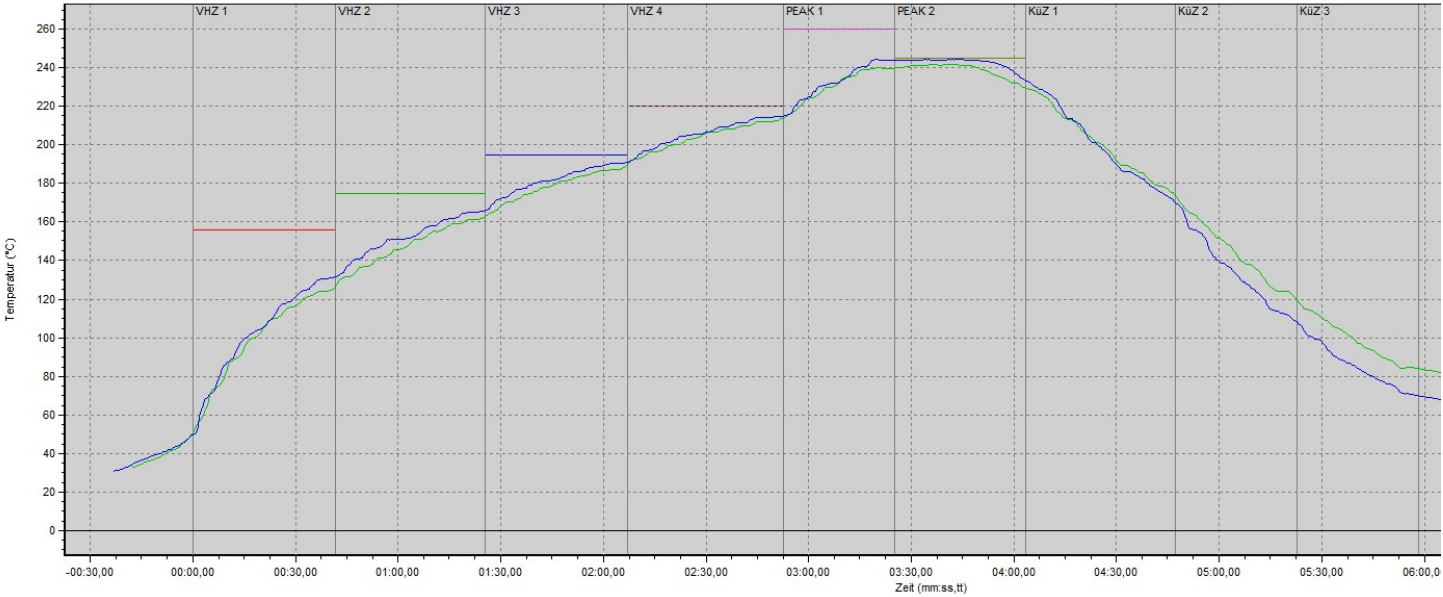
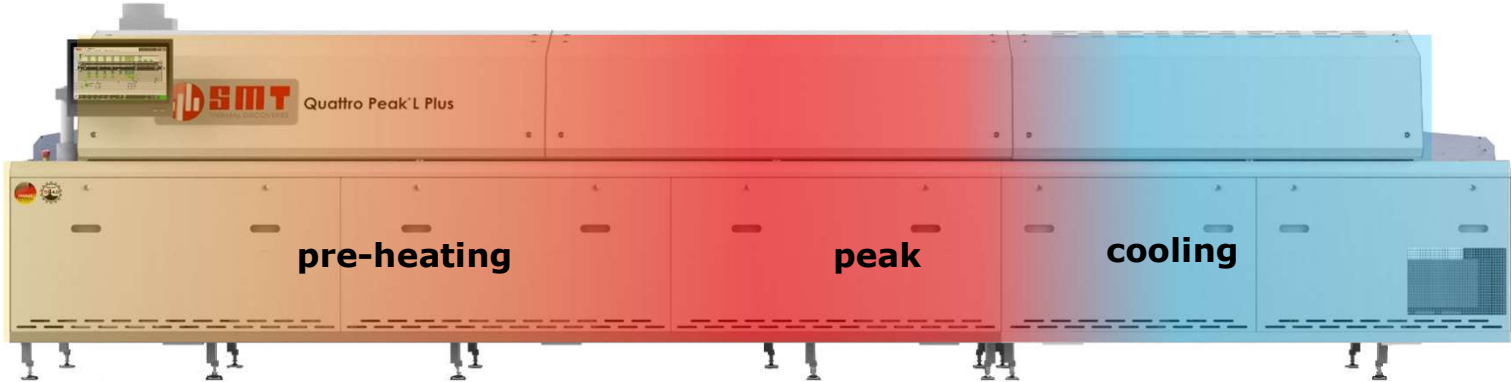


- Exemplarisches Temperaturprofil eines Bare Die auf DBC
- Vakuumprozess ist ein Teil der Zeit über Liquidus (TAL)
- Vakuumkammer aus Edelstahl wird von außen beheizt
- Produkttemperatur ist aufgrund des thermischen Gleichgewichts zwischen Produkt und Kammer konstant
 - Bedingung:
Temperatur der Kammer
=!
Temperatur des Produkts

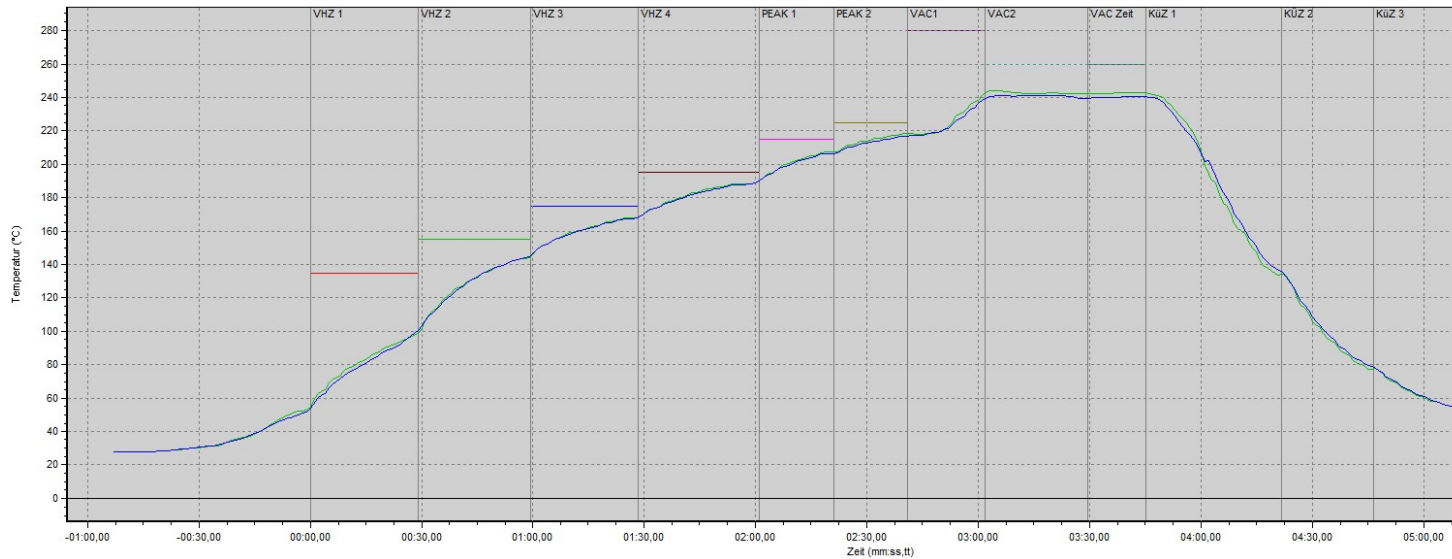
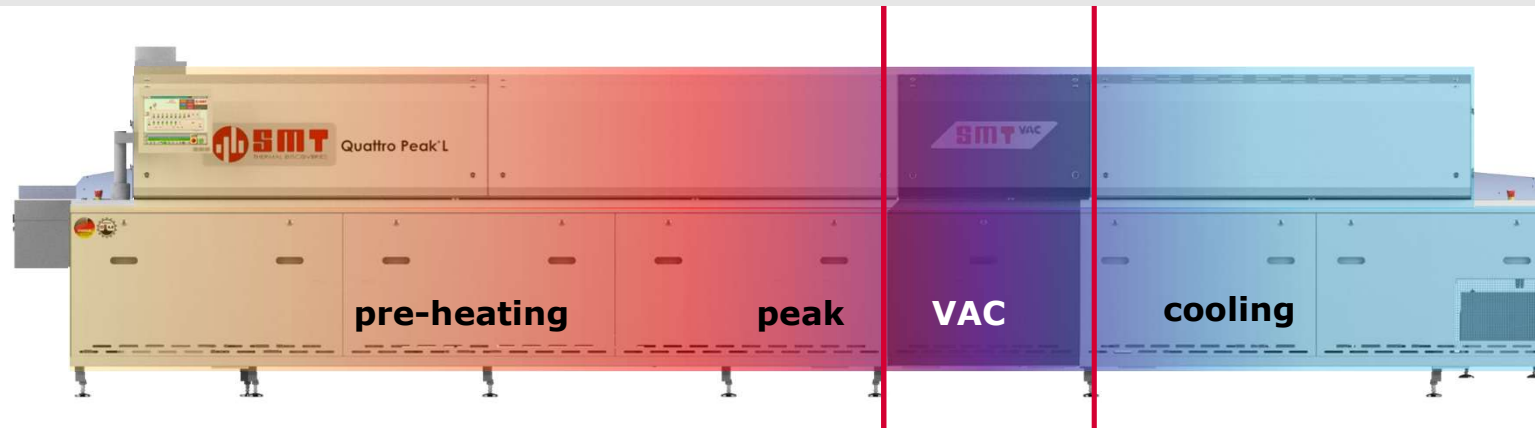
Temperaturprofil aus dem Fachartikel:

Vakuum-Reflow: Die einfache Lösung für Porenreduktion in Lötstellen durch Inline-Reflow-Anlagen, Christian Ulzhöfer, 2012.

Reflow-Profile – Standard Reflow-Process



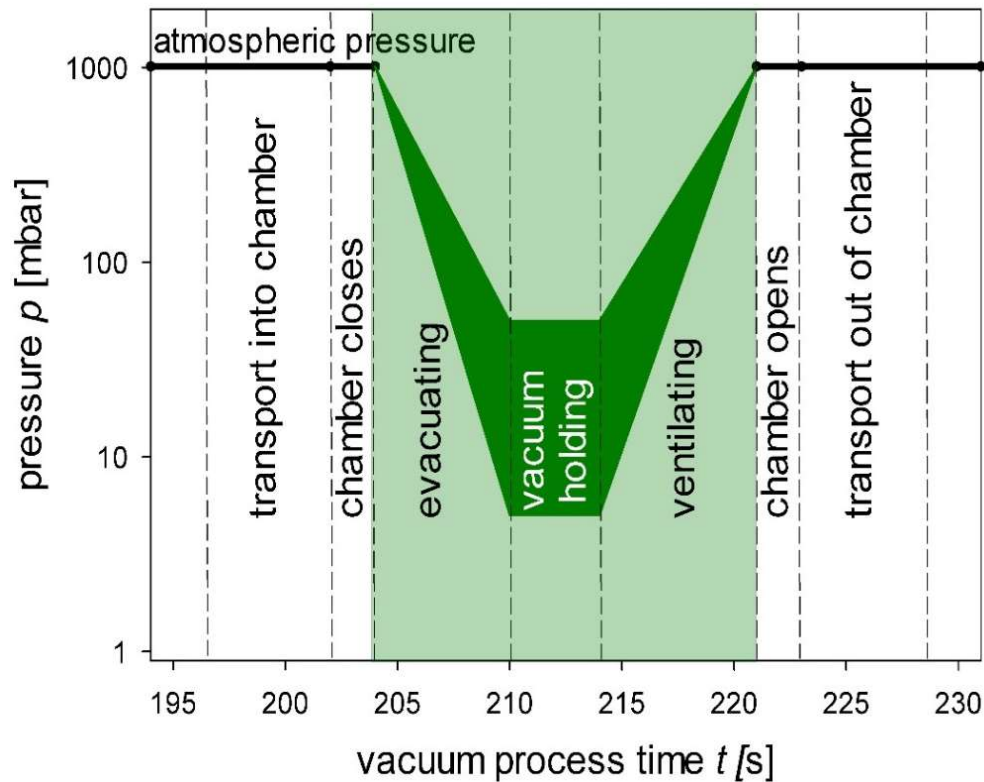
Vakuum Reflow-Profil



Im Vergleich zu konventionellem Reflow:

- Längere Zeit über Liquidus
- Schnellere Transportgeschwindigkeit

Vakuumpprofil

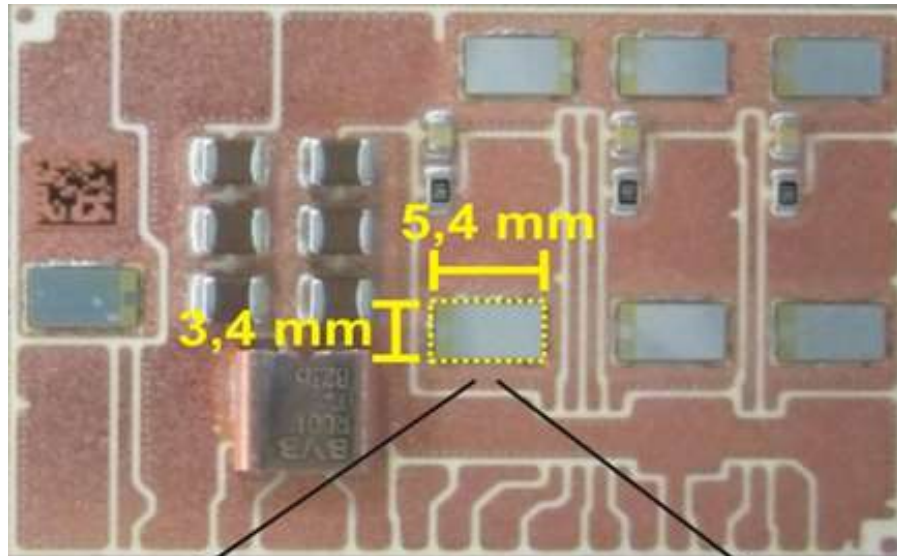


- Alle Vakuumparameter sind frei einstellbar!
- Vac-Profile können individuell eingestellt werden.
- Druckbereich: 2 – 500 mbar
- Evakuierungszeit: 5 - ... s
- Haltezeit: 0 - ... s
- Belüftungszeit: 5 - ... s
- Komplette Vakuumzeit: 40 - ... s

Vorteil:

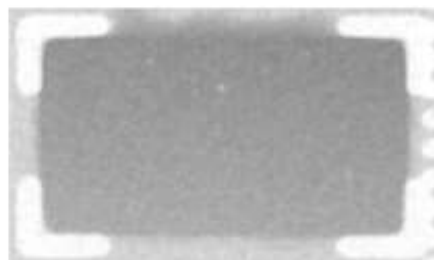
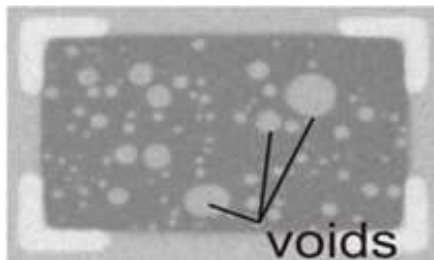
- stabiler Prozess
- gleichbleibender Druck und Zeiten

Vakuum-Löterergebnisse: Bare Die auf DCB



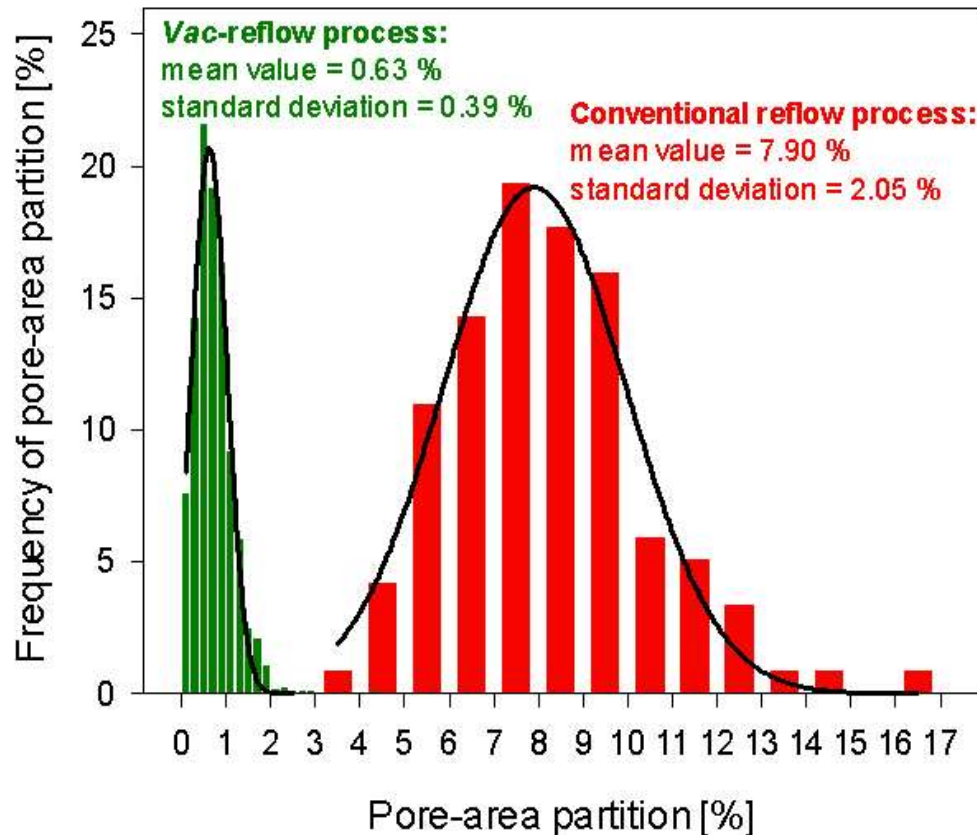
conventional
Reflow

Vacuum-
Reflow



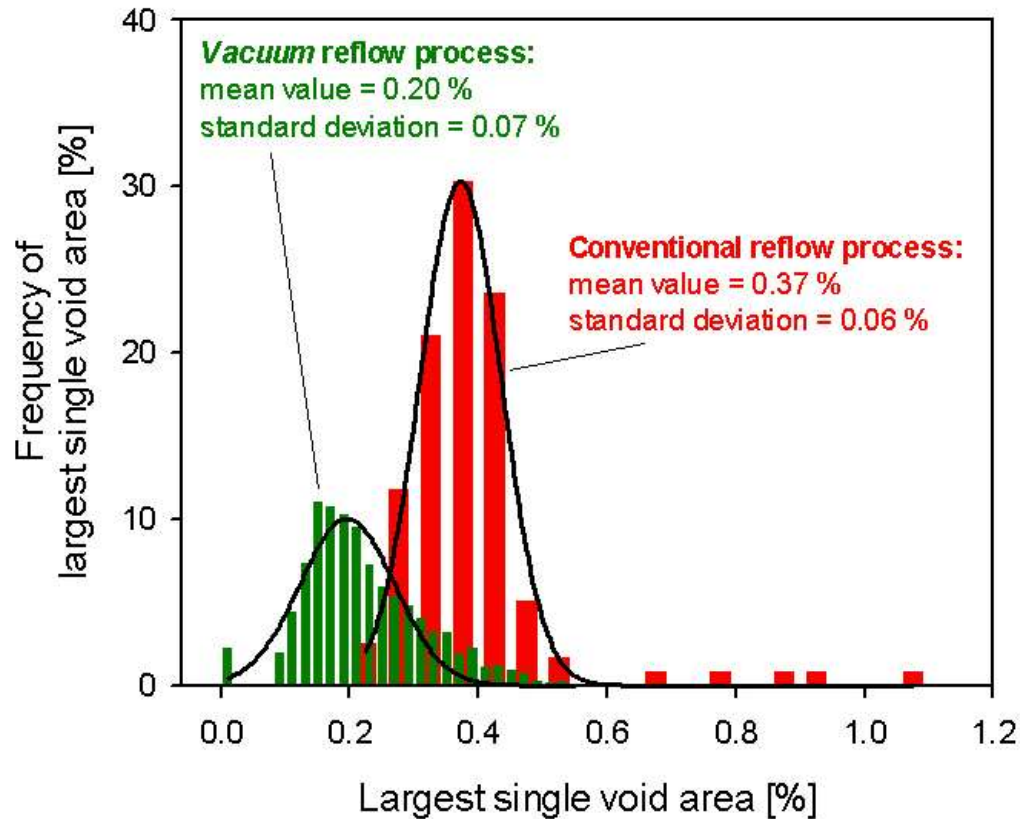
- Vakuumtechnik ist bestimmt für:
 - PCB
 - DBC (Direct Bonded Copper)
 - Lead Frame
 - Alles!
- Bare Die auf DCB:
typische Spezifikation: Porenanteil < 5 %
- PCB Porenanteil in der Automotiveindustrie (üblich!) < 20 %

Ergebnis Vakuum-Reflow-Lötens



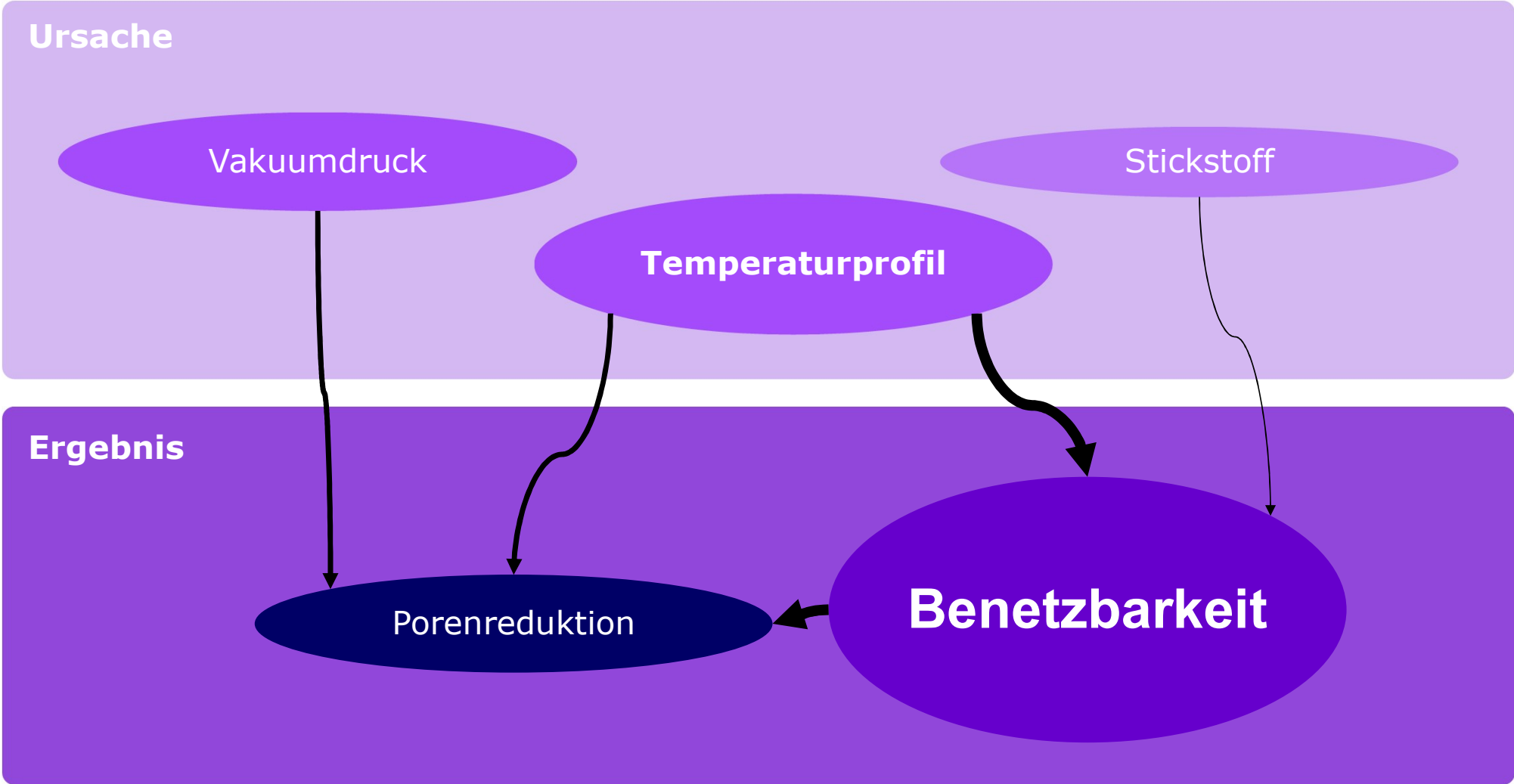
- Daten bestehen aus mehr als 1000 Lötstellenanalysen
- Porenergebnis: Vakuum vs. Konventionell
 - Mittelwert von knapp 8 auf unter 1%
 - Standardabweichung von 2 auf unter 0.4%
- Voiding Spezifikation < 5 (10) %
- Standard Reflowprozess:
 - ca. 100 (80) % Ausschuss (7 dies auf DCB!)
- Vakuum-Reflowprozess:
 - ca. 0% Ausschuss

Größe Pore



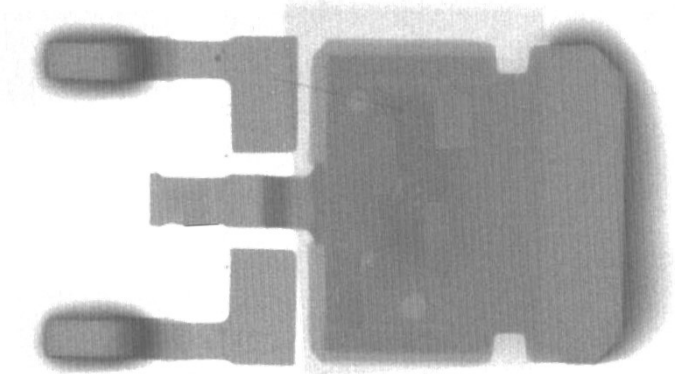
- Größe einzelner Poren ist kritischer als die gesamte Porenfläche
- Vakuum vs. Standard
 - Einzelporen mit einer Fläche von mehr als 1% sind eliminiert.
 - Hotspots sind eliminiert
 - verlängerte Lebensdauer

Gewichtete Einflussfaktoren für Porenreduktion

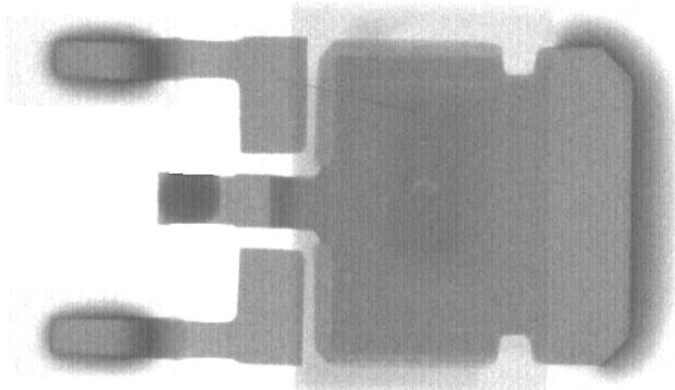


Vakuumlöten: Einfluss von Stickstoff (auf MOS-FETs)

Luft + Vakuum



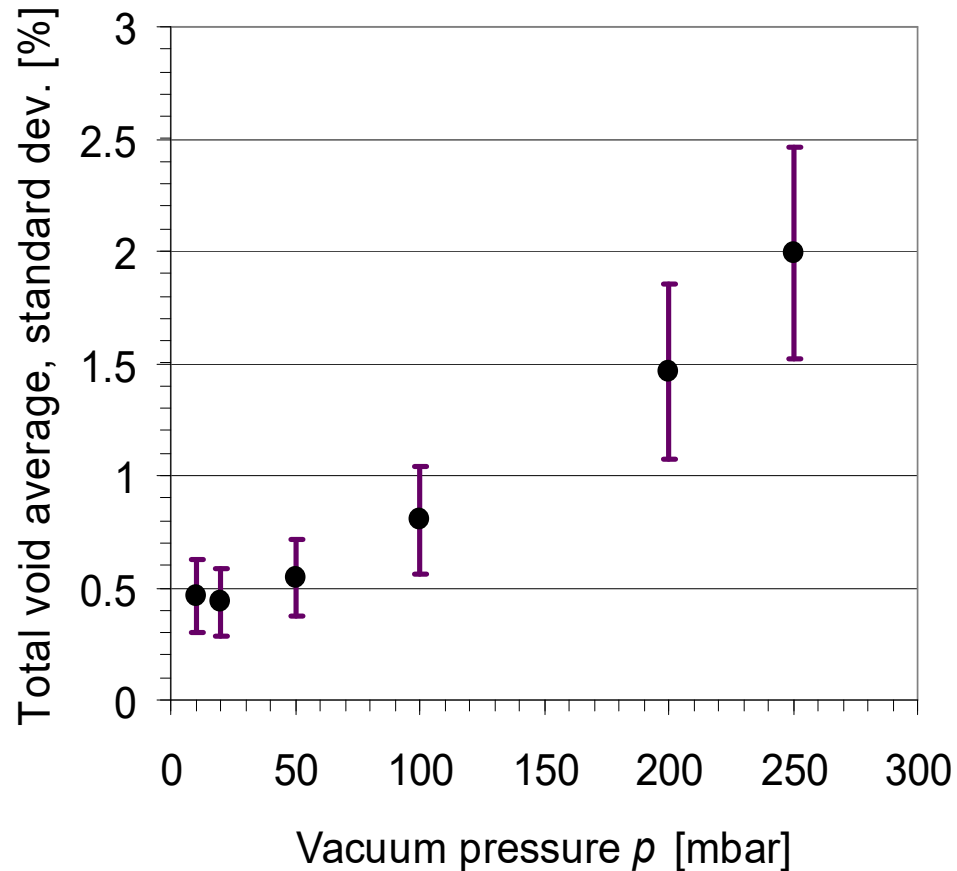
Stickstoff + Vakuum



Stickstoff

- Qualitativer Vergleich:
 - Stickstoff
 - Verbesserung ist „manchmal“ gegeben
- Unsere Erfahrung:
 - Wenn die Benetzung der Lotpaste durch Stickstoff verbessert wird, verbessert sich auch die Porenreduktion beim Vakuumanwendungen.
- Stickstoff im Vakuum verhindert das Oxidieren der Oberflächen (Bonding)
- Stickstoff verbessert in der Hochleistungselektronik die Qualität der Folgeschritte, z.B. Waschen, Bonden.

Vakuumlöten: Einfluss von Druck

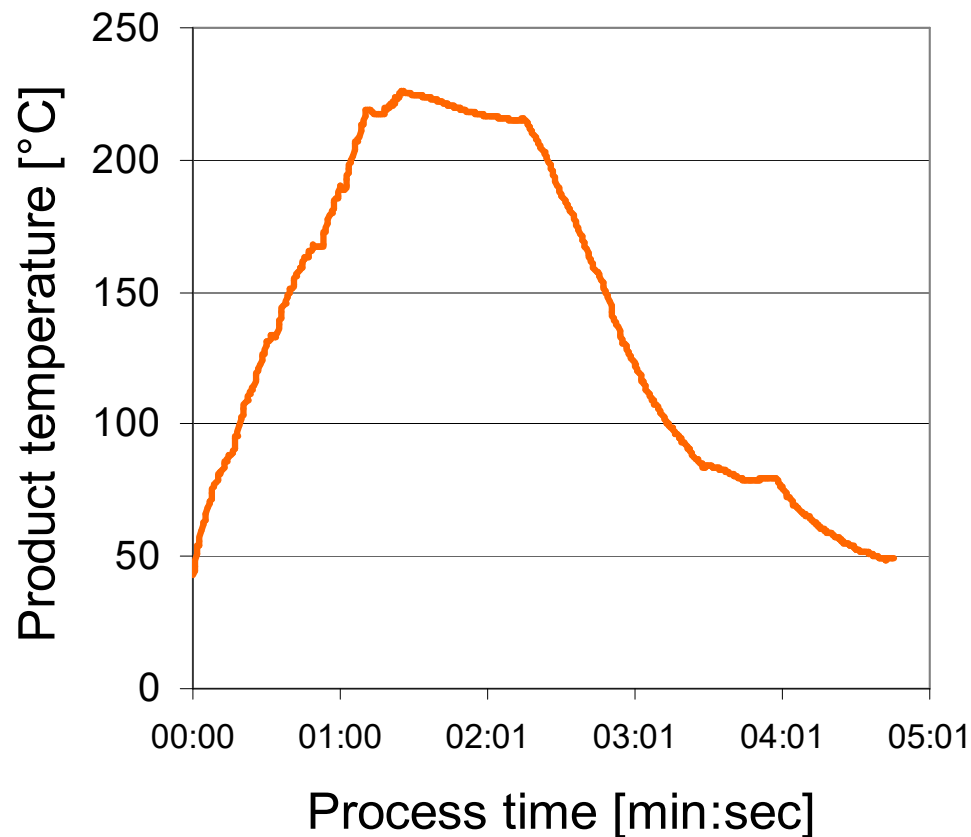


Vakuumpressur

- Untersuchungsgrundlage:
 - Bare Die auf DCB
- Jeder Wert wurde durch 44 Lötstellen ermittelt
- Vakuumpressur hat einen weniger Einfluss
- Bei Drücken unter 50 mbar werden Voids effektiv reduziert
- Anmerkung:
BGAs benötigen Drücke kleiner 10mbar, bei steilen Evakuierungsrampen

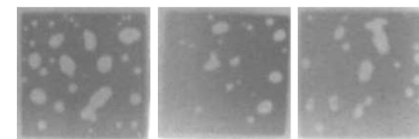
Vakuumlöten: Einfluss eines *schlechten* Temperaturprofils

Falsch eingestelltes Temperaturprofil



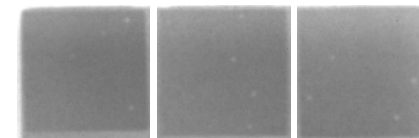
Temperaturprofil

- Profil zu kurz (oder zu lang!)
- Benetzbarkeit unter IGBT wird beeinträchtigt
- Poren können auch unter Vakuum nur schlecht behoben werden
- Röntgenbildanalyse:



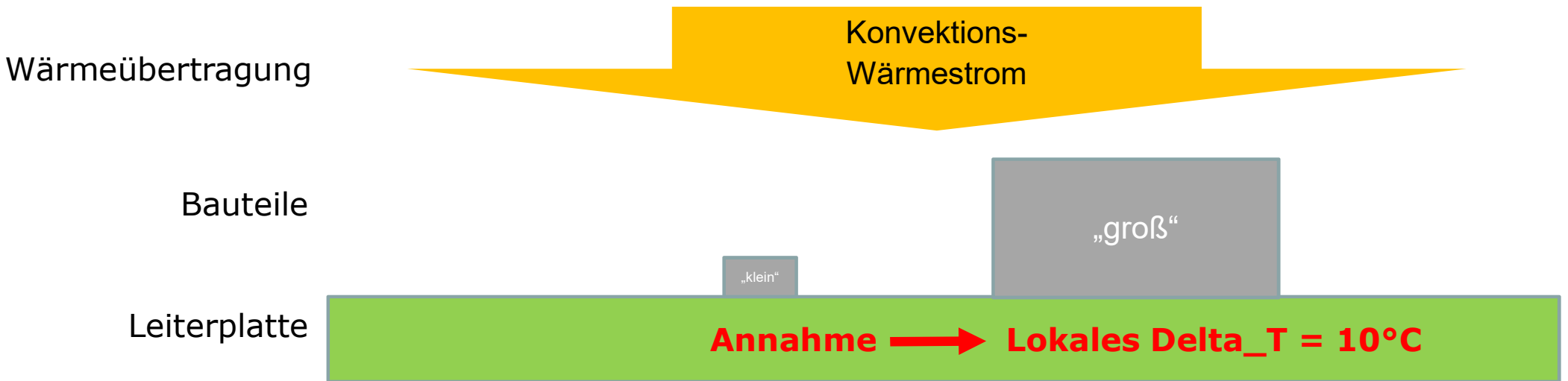
Poren > 5 %

- Optimiertes Temperaturprofil, gleiche Vakuumparameter:



Poren < 1 %

„Delta_T“ in Leiterplatte führt zu Wärmeströmen

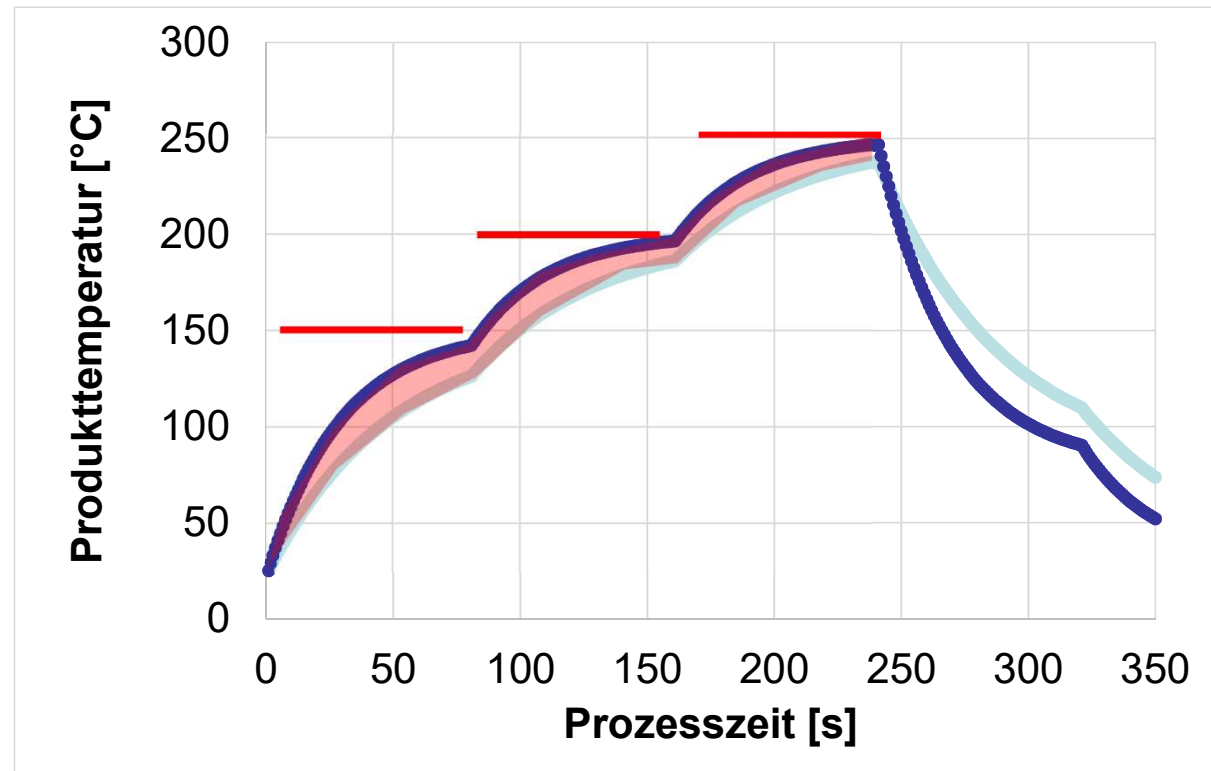


| | | |
|--------------------------------|------|----------|
| Kupferbahnstärke nach IPC-2221 | m | 3,50E-05 |
| Anzahl der Kupferbahnen | | 1,00E+00 |
| Kupferbahnbreite | m | 5,00E-04 |
| Kupferbahnlänge | m | 1,00E-02 |
| angenommenes Delta T | °C | 1,20E+01 |
| Wärmeleitfähigkeit_Kupferbahn | W/mK | 4,00E+02 |
| Wärmestrom | W | 8,40E-03 |

Wärmestrom durch $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ lässt sich in eine virtuelle Wärmestromdifferenz von ca. 35 W/m²K übersetzen.

„Delta_T“ definiert Wärmebudget

- Modellgrundlage ist ein virtueller „Drei-Zonen-Ofen“
- 10°C-Delta_T auf Leiterplattenebene resultiert in:
- 4% Temperaturabweichung, und
- 10% Wärmebudgetabweichung
- → (mögliches) verändertes Benetzungsverhalten
- → Optimierung des Temp.-Profils für Porenreduktion



Annahme ist ein Unterschied von 35W/m²K für die beiden Temperaturprofile bei gleichem Produktparametern

Vakuum-Reflow ist eine einfache und mächtige Technologie für:

- anspruchsvolle Inline-SMD-Produktion,
- Stickstoff, Luft, Vakuum und Standard Reflow Prozesse und
- Hochqualitative Lötstellenqualität in einem engen Toleranzbereich.

Vorteile:

- gleichmäßiger Wärmetransfer
- einfache Profilierung
- Inline Lösung
- für jedes Produkt nutzbar (DCB, PCB, Lead Frame, ... alle!)
- Ausgezeichnete Ergebnisse bei optimierten Reflow-Profilen
- → Kombination aus Profil, Materialien, Lotpaste und Vakuum muss beachtet werden.

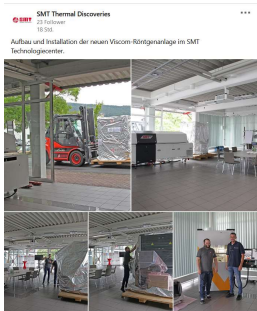
Follow us:



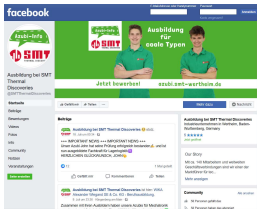
www.smt-wertheim.de



www.linkedin.com/company/smt-thermal-discoveries/



<https://de-de.facebook.com/smtThermalDiscoveries>



SMT Maschinen- und Vertriebs GmbH & Co. KG, Roter Sand 5-7, 97877 Wertheim, Germany, info@smt-wertheim.de, ☎ +49-9342-970-0