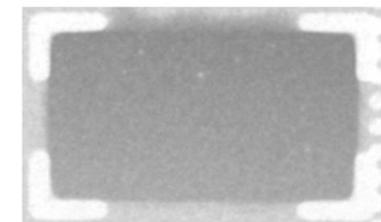
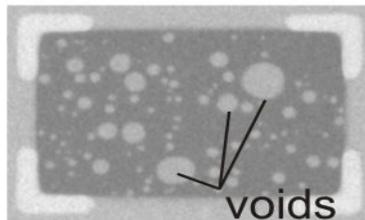


In-line Vakuum-Löten: Warum und wie reduzieren wir Poren in Lötstellen?



Christian Ulzhöfer
CEO, 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

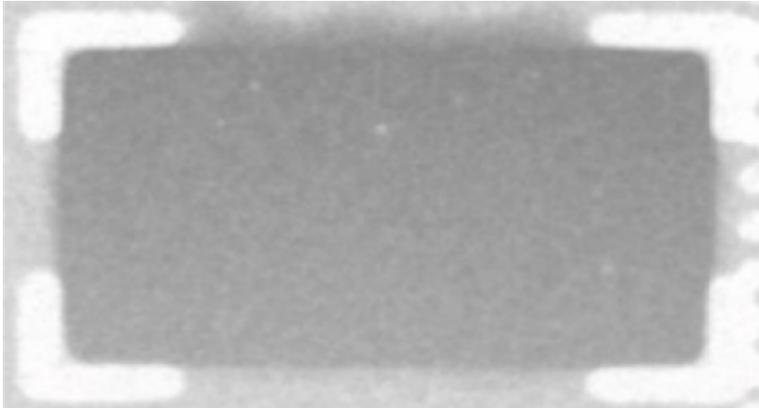


Individuelle Lösungen

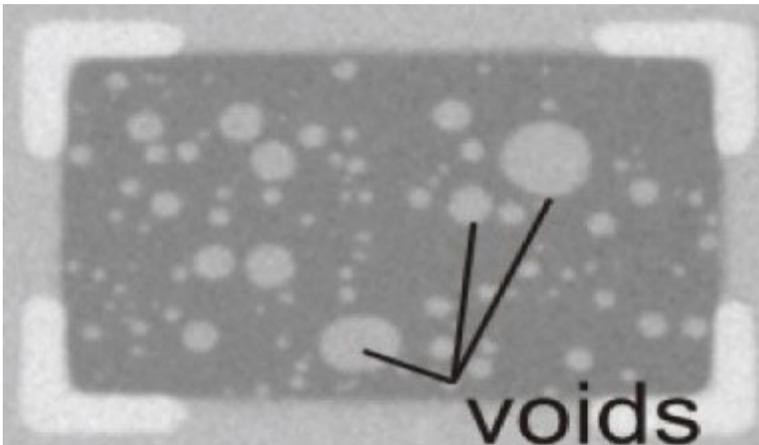


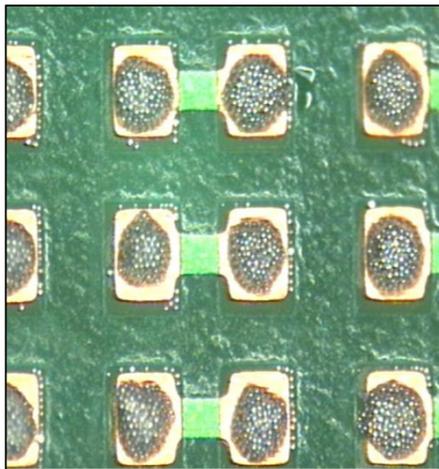
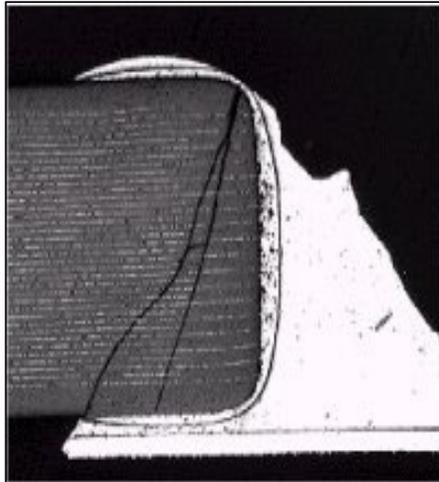
- Energiesparend (Strom wie Stickstoff)
- Hohe Qualität (Langlebigkeit)
- Wartungsarm

Entstehung von Poren



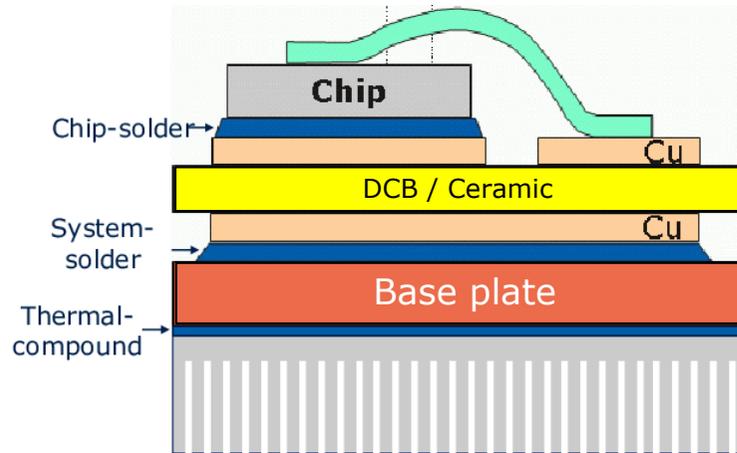
- Einschlüsse in der Lotpaste
 - Ausgasungen aus organischem Basismaterial (organische Säuren, Lösemittel)
 - Erstarren der Lotpaste
 - Metallische Fehlstellen
 - Höhere Prozesstemperaturen und längere Prozesszeiten durch bleifreie Lotpasten
 - Eingelagerte Feuchtigkeit in Leiterplatte oder Bauteilen
- Poren entstehen durch das Zusammenspiel mehrerer Faktoren!





- Schlechtere Wärmeleitfähigkeit
 - Verkipfung von Bauteilen
 - Reduzierte Festigkeit der Lötstellen
 - Einschränkung der Leistungsfähigkeit
 - Inhomogene Verbindung
 - Erhöhte Lötfehlerbildung
- Qualität der Lötstelle (Lunkeranzahl) beeinflusst die Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Endprodukte stark!

Typische Einsatzgebiete



Qualität und Langlebigkeit wird benötigt in:

- Leistungselektronik (IGBTs / E-Auto)
 - Die-Attach
 - DCB-Attach
 - Thermal Compound
- LED's (Industrie / Automotive)
- Sicherheitsrelevante Elektronik (Automotive)
- Langlebige Elektronik (z.B. Off-Shore Windräder)
- Medizin / Luftfahrt / Militär (vereinzelt)



Warum weniger Poren?



...hauptsächlich wegen der Leistungselektronik, z.B. Leistungsmodule, LEDs, Hybridbaugruppen etc.

Poren:

(1) Erhöhung des Wärmewiderstandes

→ Hohe Stromdichte

→ Hohe ohmsche Verlustleistung

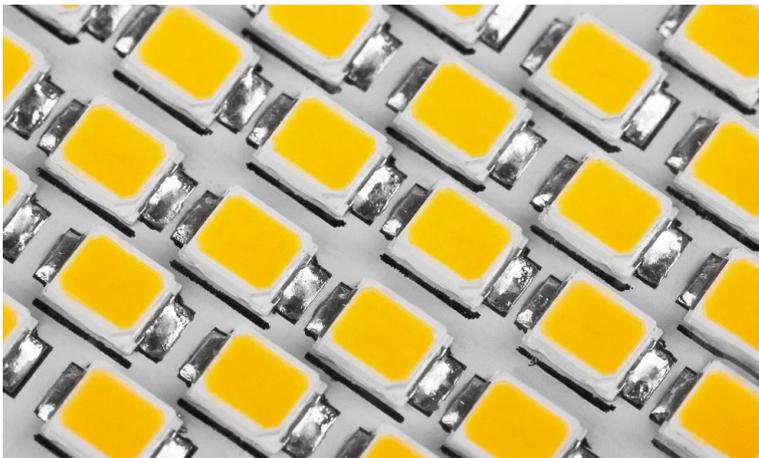
→ Lebensdauer der Lötstellen hängt von der lokalen Temperatur ab

Faustregel:

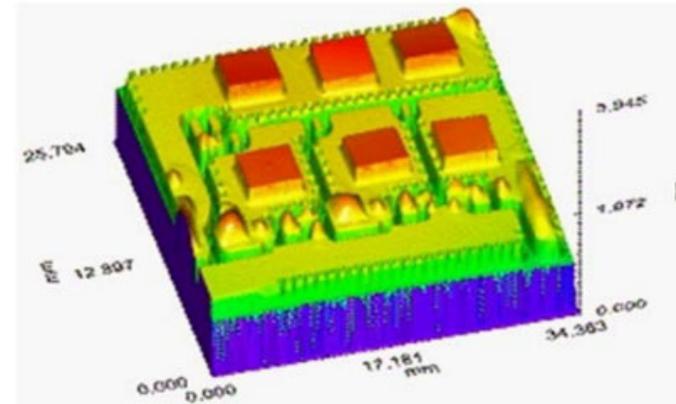
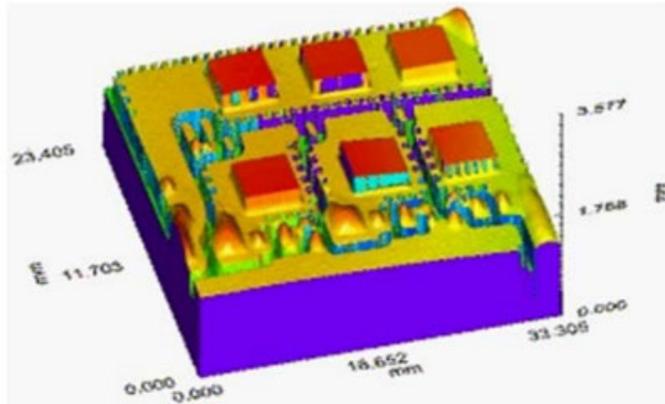
10 °C Temperaturanstieg

→ 50% kürzere Lebensdauer

(2) Mechanisches Kippen



Folgen von Poren: Verkippung



Ohne Vakuum
Verkippung von Bare Dies >5°
→Geringer Planaritätsgrad

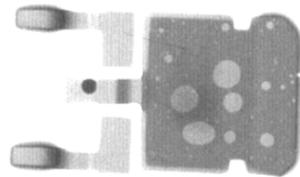
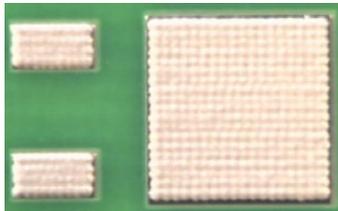


Mit Vakuum:
Planarität der Bare Dies <2°

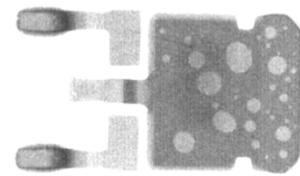
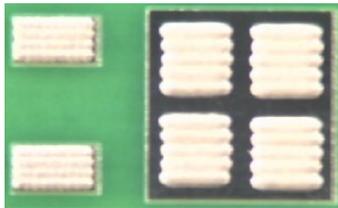
Gelötete Bare Die Verbindungen erfordern einen hohen Grad an Planarität für nachfolgende Prozesse z.B. Bonding, optische Baugruppen von Dioden.

Reduzierung der Lunker

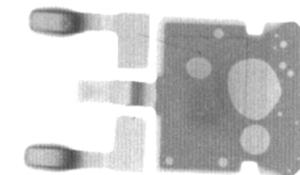
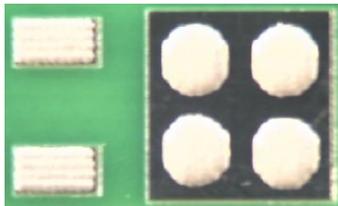
Viereck



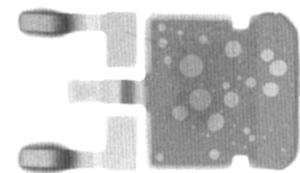
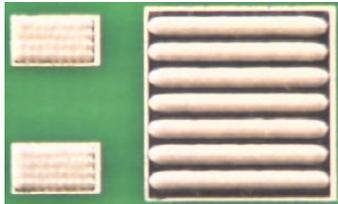
Quadrate



Kreise



Linien



Optimierung der Fertigungsschritte

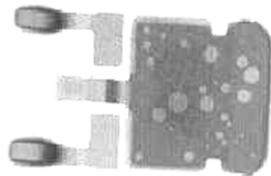
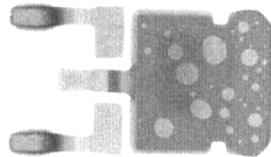
- Lotpastenauftrag und Form

→ Durch Ändern der Druckform werden Lunker beeinflusst...

... aber nicht unterbunden

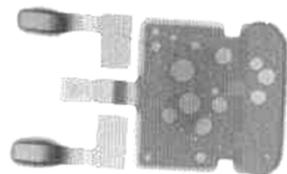
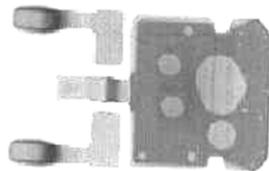
Reduzierung der Lunker

Standardprofil
ca. 20% Voids



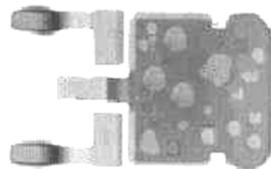
4 min Profil
Kurzer Peak

4 min Profil
Langer Peak



4 min Profil
230°C

4 min Profil
250°C



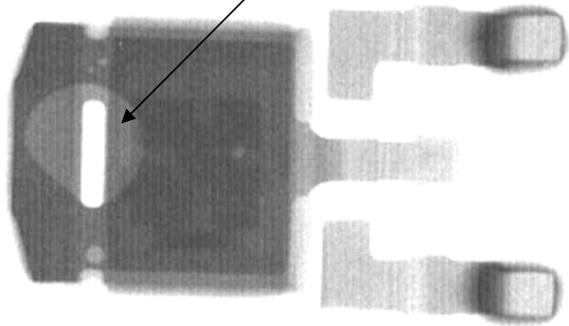
Optimierung der Fertigungsschritte

- Einsatz von Stickstoff
- Optimierung des Reflowprofils

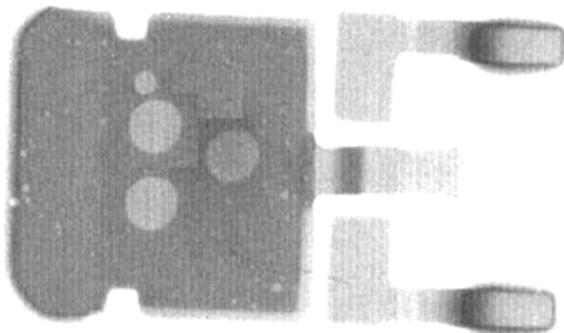
→ Stickstoff verringert die Lunker, wenn der Stickstoff die Benetzbarkeit verbessert

Reduzierung der Lunker

Komponente A
Kleine
Plastikoberfläche



Komponente B



Optimierung der Fertigungsschritte

- Layoutanpassungen

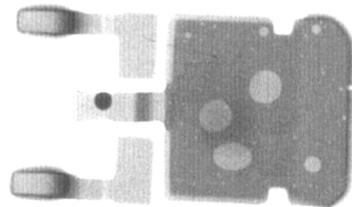
Unterschiedliche Layouts und Oberflächen

Komponente A: Plastikoberfläche führt wegen geringer Benetzbarkeit zu Lunkern

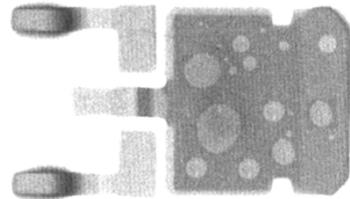
Komponente B: Auch gut benetzbare Oberflächen führen zu Einschlüssen

Reduzierung der Lunker

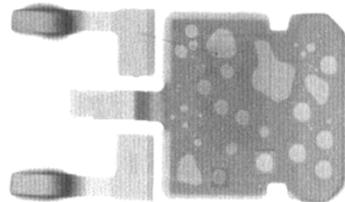
Paste A



Paste B



Paste C

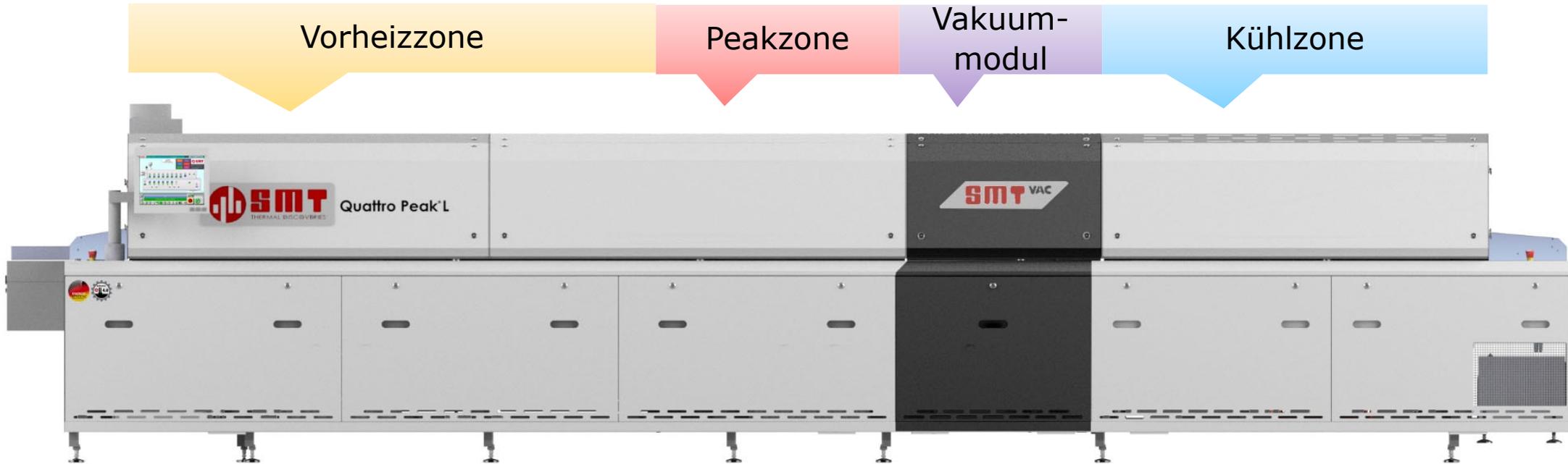


Paste D



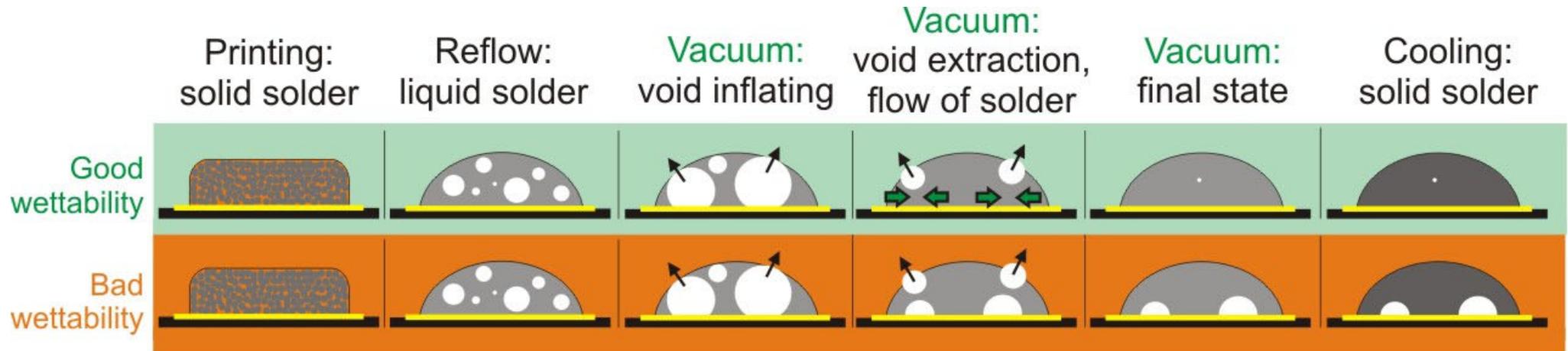
Optimierung der Fertigungsschritte

- Verwendung anderer Lotpasten
- Guter Einfluss auf Lunker, nicht immer machbar
- Einschlüsse sind auch abhängig von der Kombination aus dem Material der Oberfläche und der Lotpaste



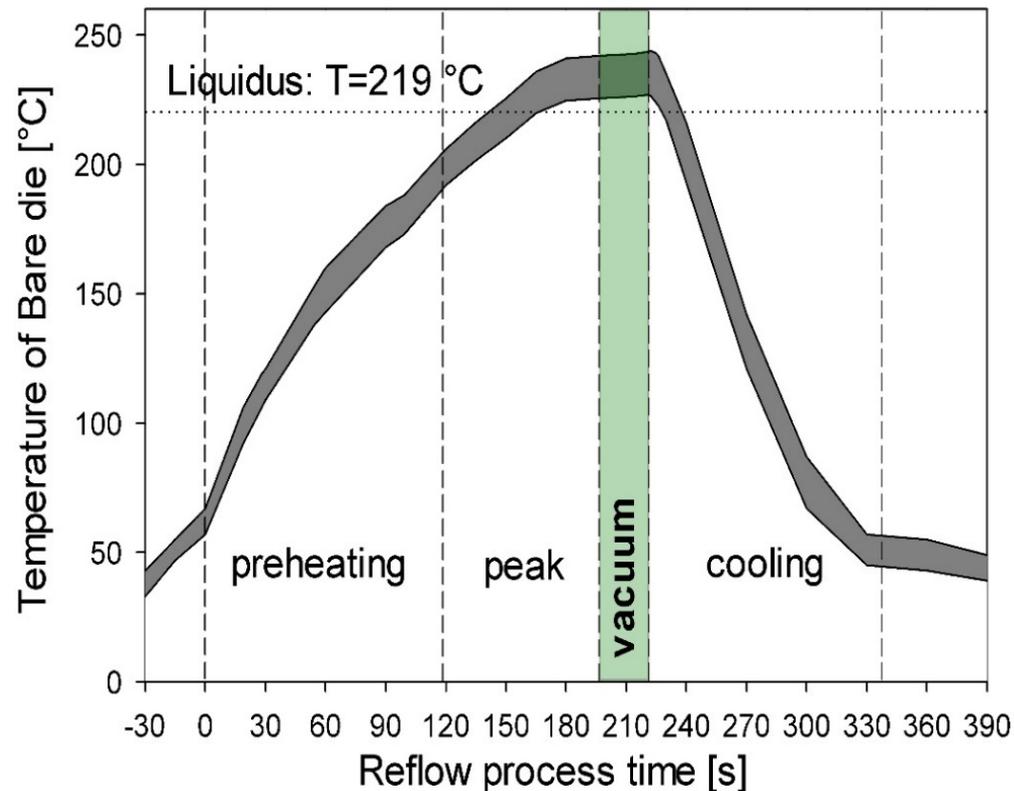
- Vakuummodul zwischen Peak- und Kühlzone
 - Inline-System
 - Stickstoff- und luftfähig
 - Prozess mit und ohne Vakuum
 - Alle Prozessparameter sind einstellbar.
- [Video](#)

Detaillierter Vakuum-Reflow-Prozess



- Porenminimierung erfolgt durch:
 1. Vergrößerung der Poren durch Unterdruck
 2. Kontakt der Poren mit Oberfläche
 3. Aufgrund der Oberflächenspannung wird die 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

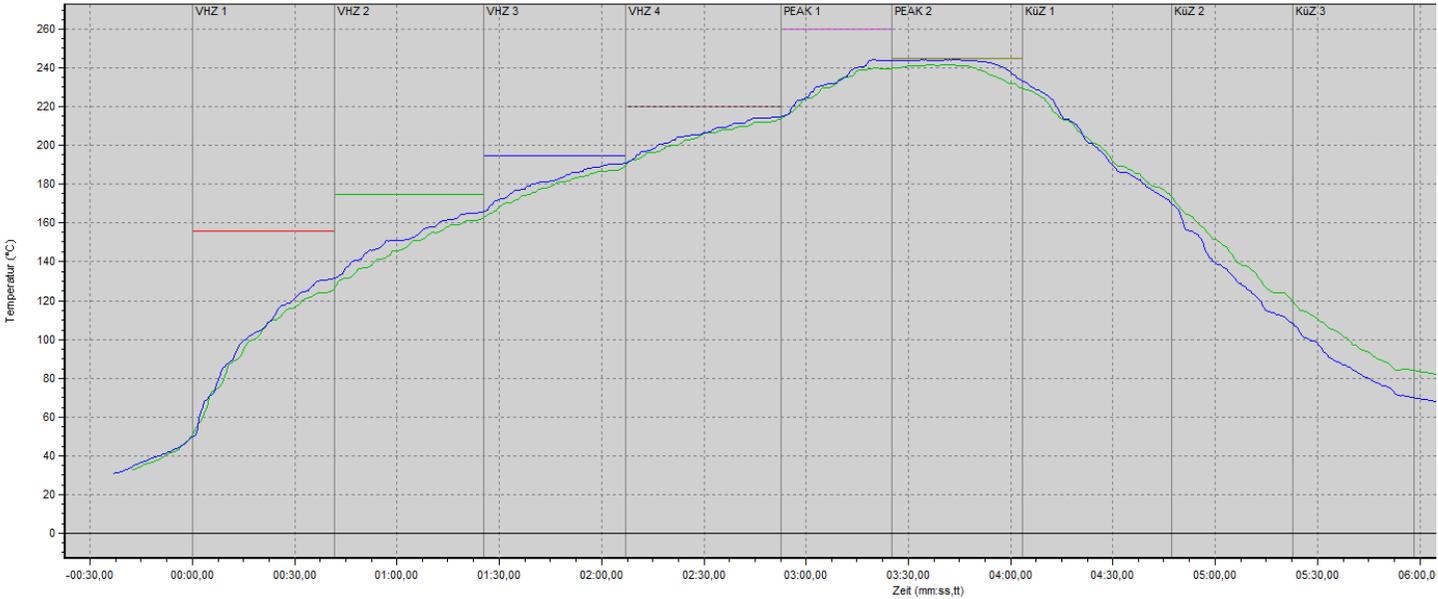
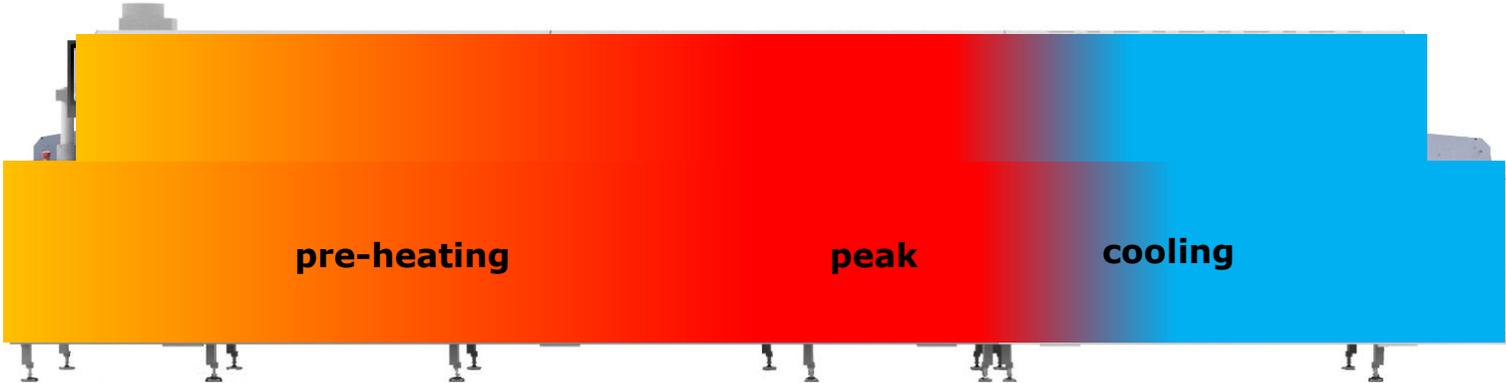


- Exemplarisches Temperaturprofil eines Bare Die auf DBC
- Vakuumprozess ist ein Teil der Zeit über Liquidus (TAL)
- Vakuumkammer aus Edelstahl wird von außen beheizt
- Produkttemperatur ist aufgrund des thermischen Gleichgewichts zwischen Produkt und Kammer konstant
 - Bedingung:
Temperatur der Kammer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

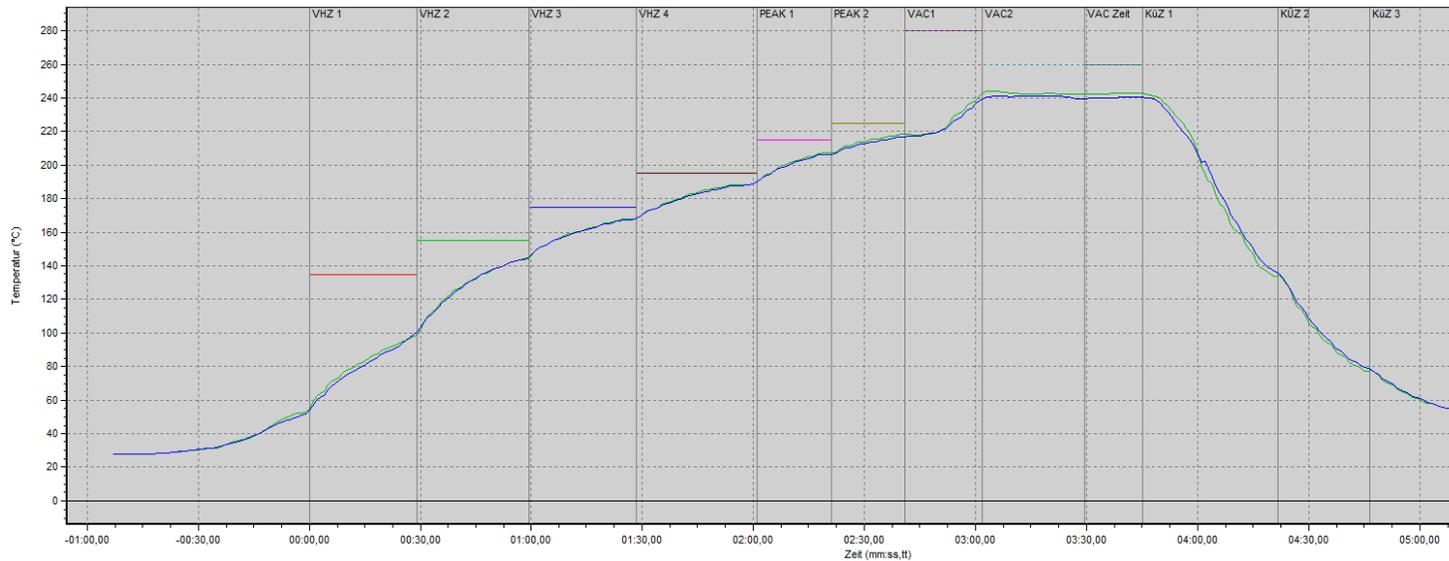
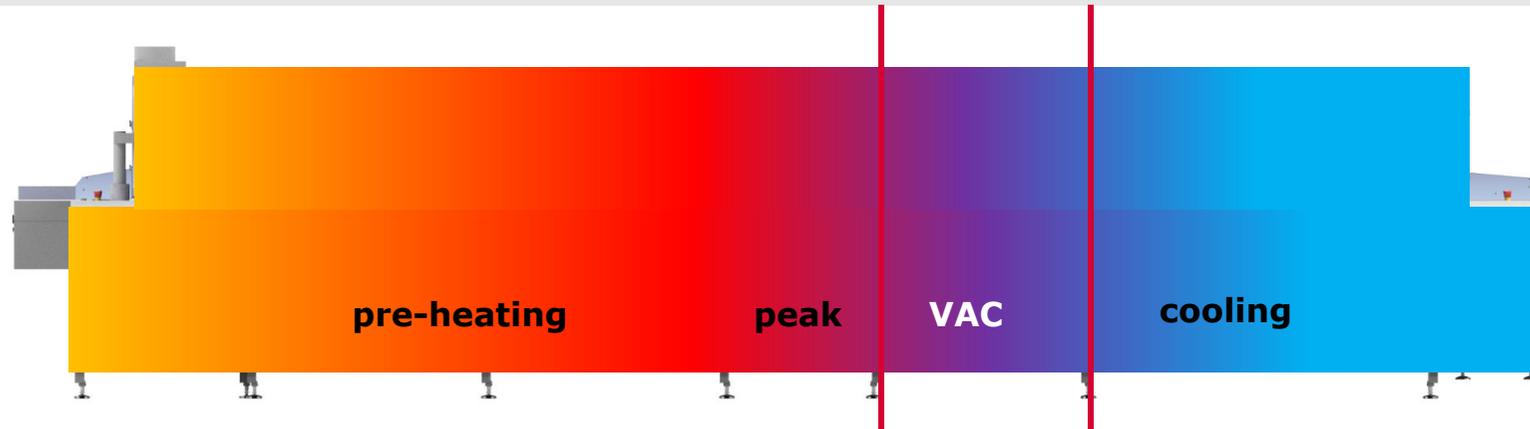
Temperaturprofil aus dem Fachartikel:

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

Reflow profile – standard reflow process



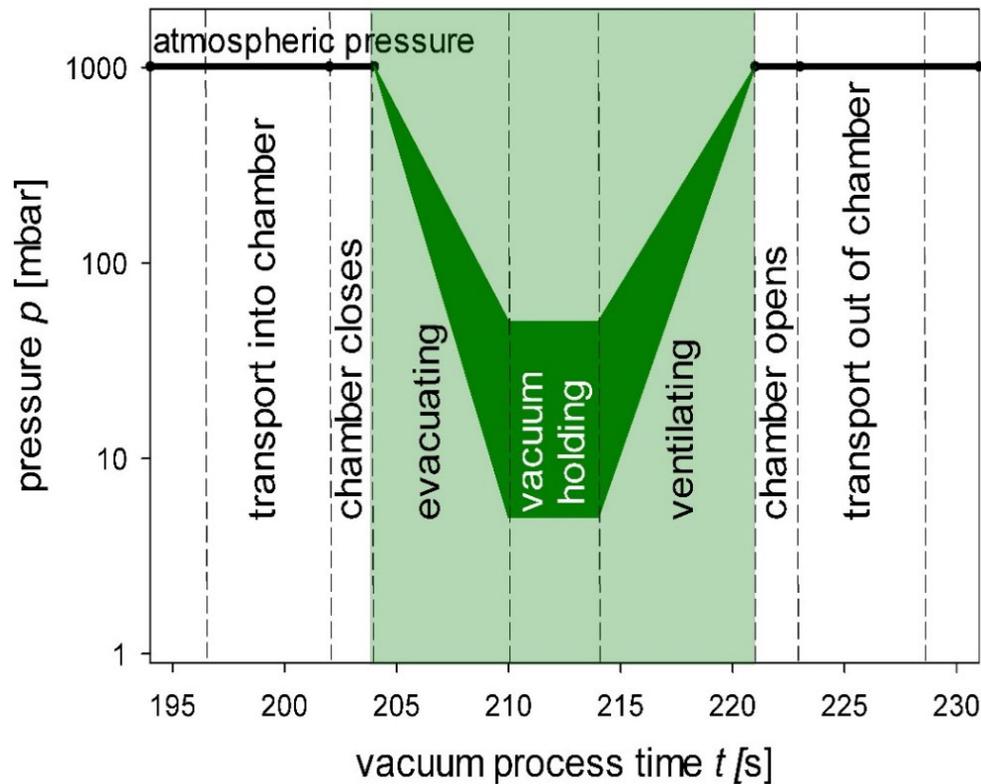
VAC reflow profile – optimized VAC profile



In comparison to reflow profile

- longer time above Liquidus
- faster transport speed

Vakuumpprofil

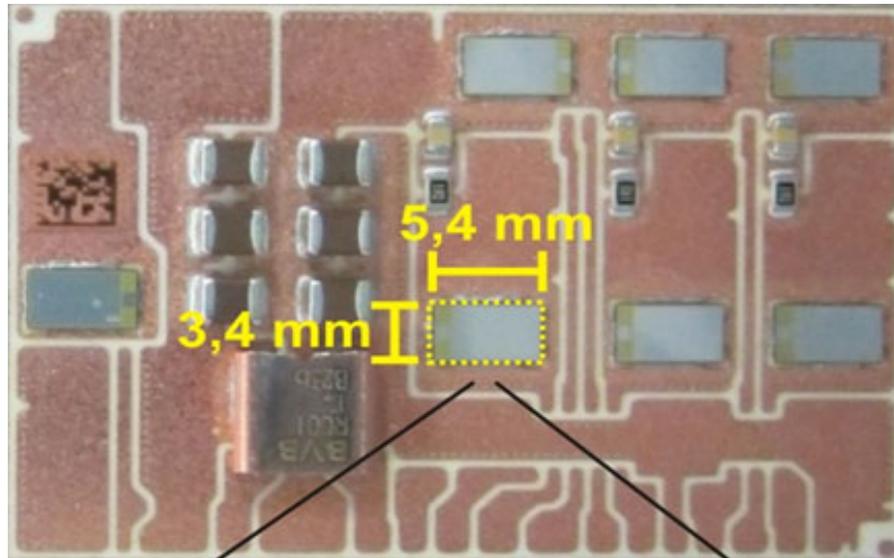


- Alle Vakuumparameter sind frei einstellbar!
- Vac-Profile können individuell eingestellt werden.
- Druckbereich: 2 – 500 mbar
- Evakuierungszeit: 5 - ... s
- Haltezeit: 0 - ... s
- Belüftungszeit: 5 - ... s
- Komplette Vakuumzeit: 40 - ... s

Vorteil:

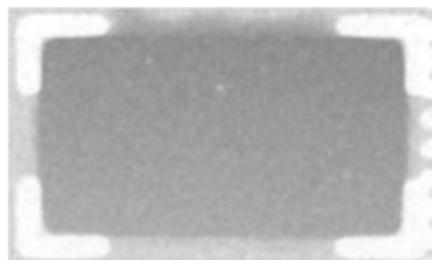
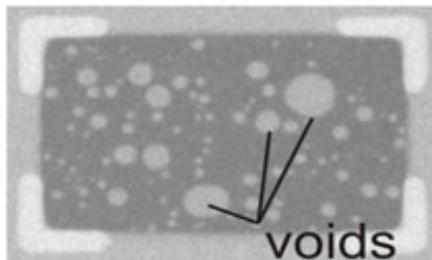
- stabiler Prozess
- gleichbleibender Druck und Zeiten

Vakuumergebnisse: Bare Die auf DCB

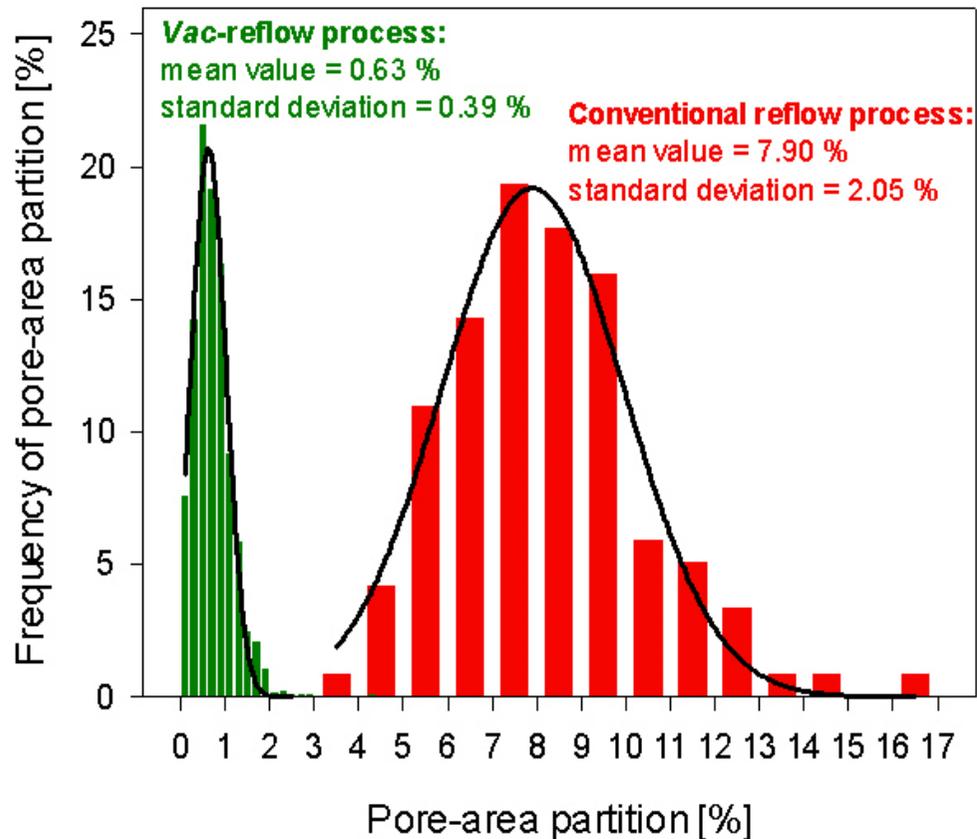


conventional
Reflow

Vacuum-
Reflow

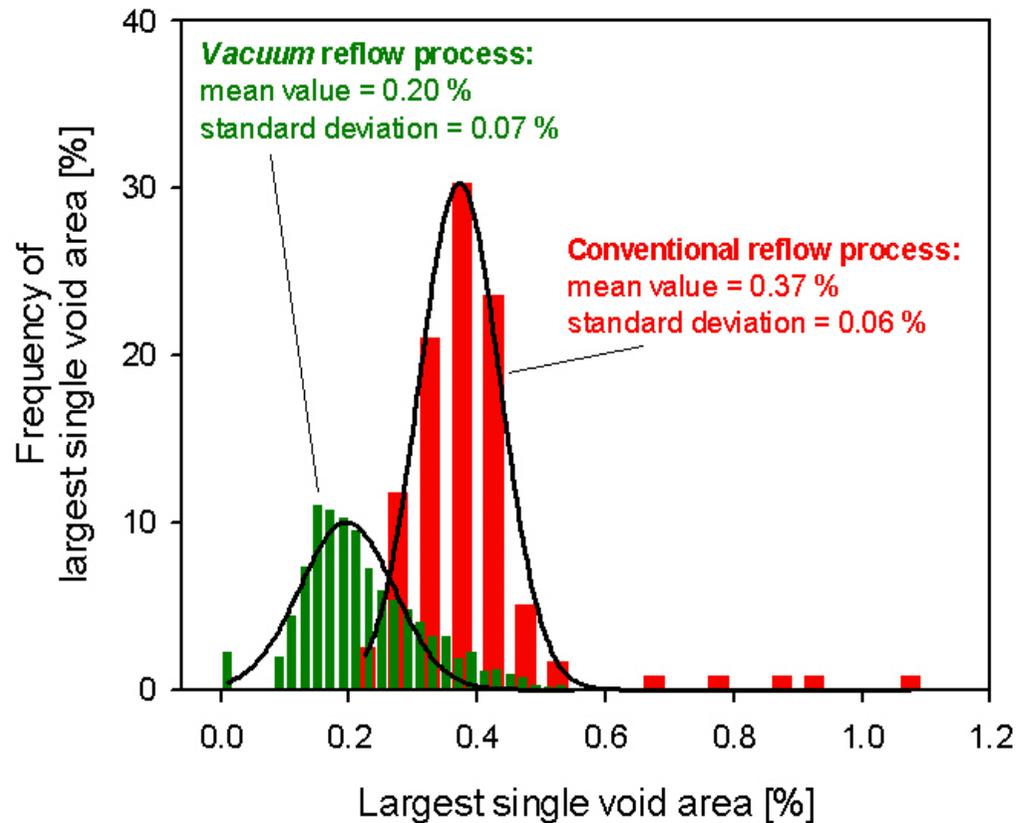


- Vakuumtechnik ist bestimmt für:
 - PCB
 - DBC (Direct Bonded Copper)
 - Lead Frame
 - Alles!
- Bare Die auf DCB:
typische Spezifikation: Voidanteil < 5 %
- PCB Porenanteil in der Automotiveindustrie (üblich!):
 - < 20 %

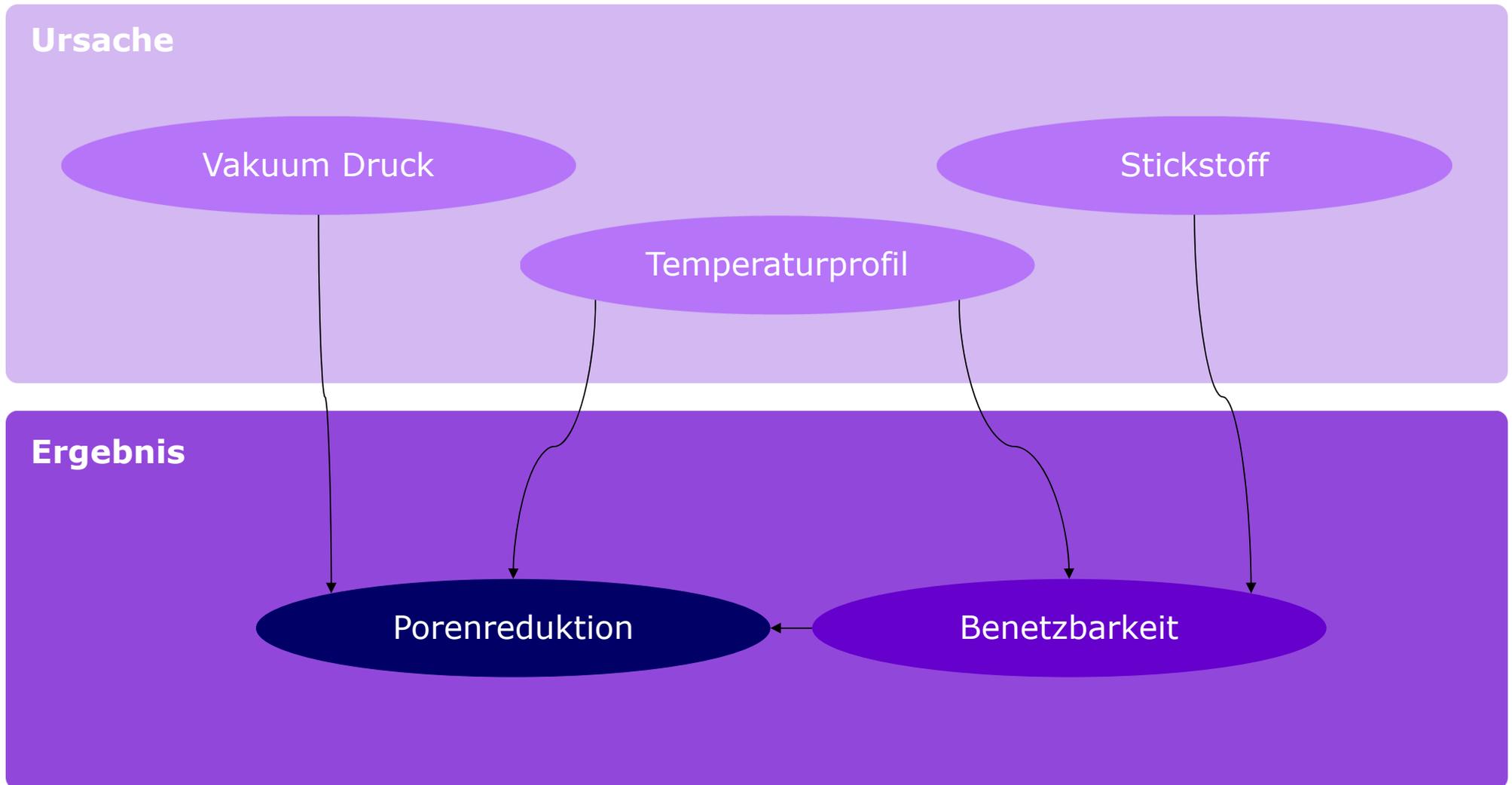


- Daten bestehen aus mehr als 1000 Lötstellenanalysen
- Vakuum vs. Standard
 - Voiding bedeutet Wertverschiebung unter 1%
 - Standardabweichung unter 0.4%
- Voiding Spezifikation < 5 (10) %
- Standard Reflowprozess:
 - ca. 100 (80) % Ausschuss (7 dies auf DCB!)
- Vakuum-Reflowprozess:
 - ca. 0% Ausschuss

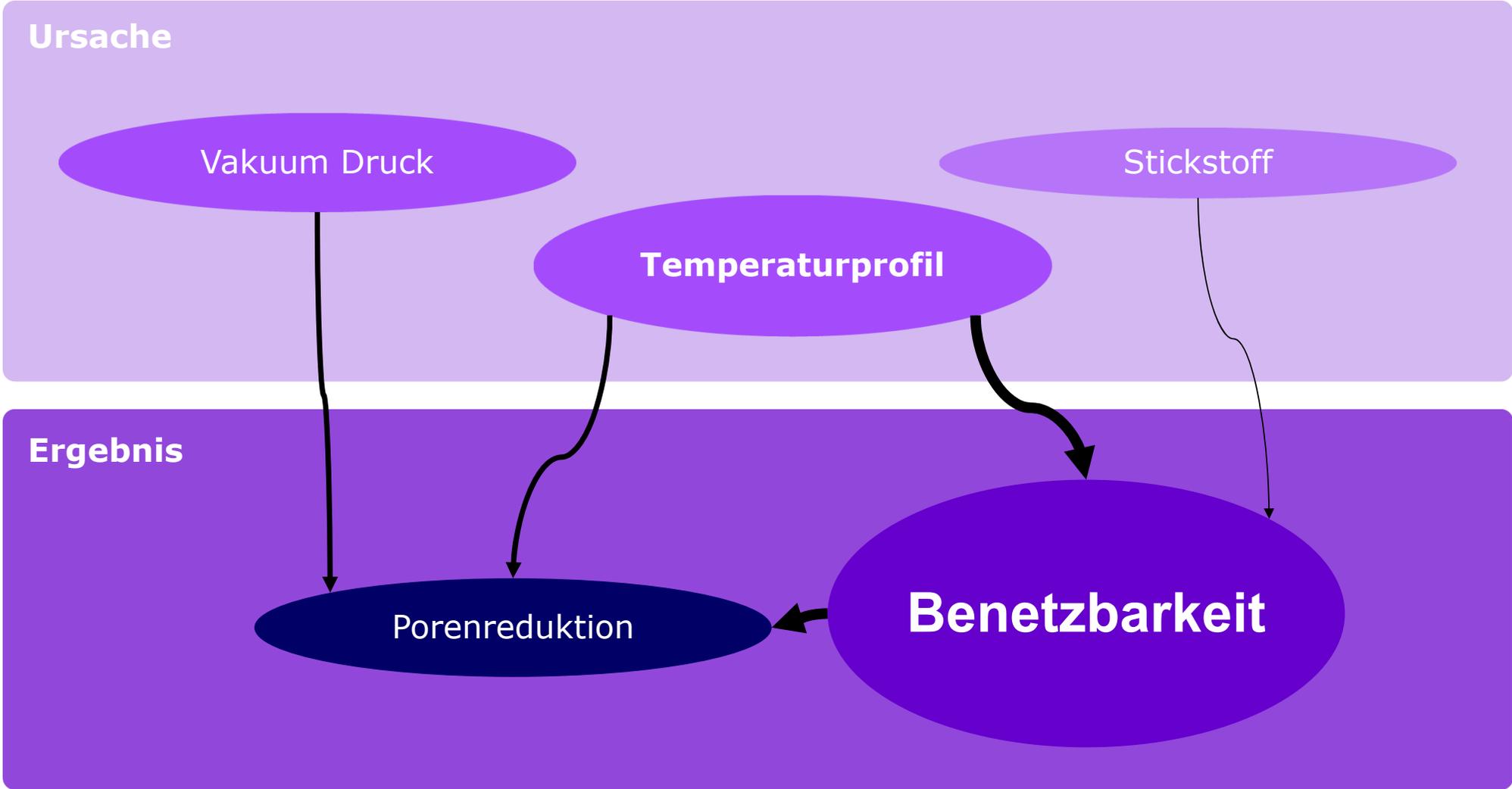
Größe Pore



- Größe einzelner Poren ist kritischer als die gesamte Porenfläche
- Vakuum vs. Standard
 - Einzelvoids mit einer Porenfläche von mehr als 1% sind eliminiert.
 - Hotspots sind eliminiert
 - Hoher Qualitätsgewinn

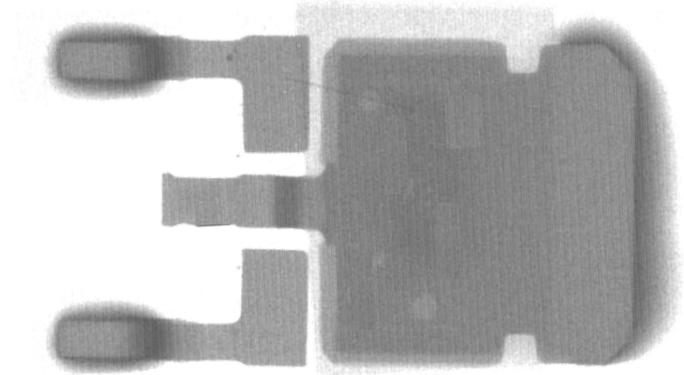


Gewichtete Einflussfaktoren aus Erfahrung

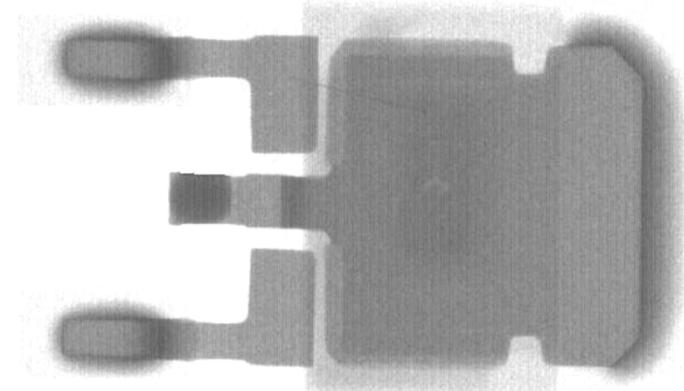


Einfluss von Stickstoff (auf MOS-FET)

Luft + Vakuum



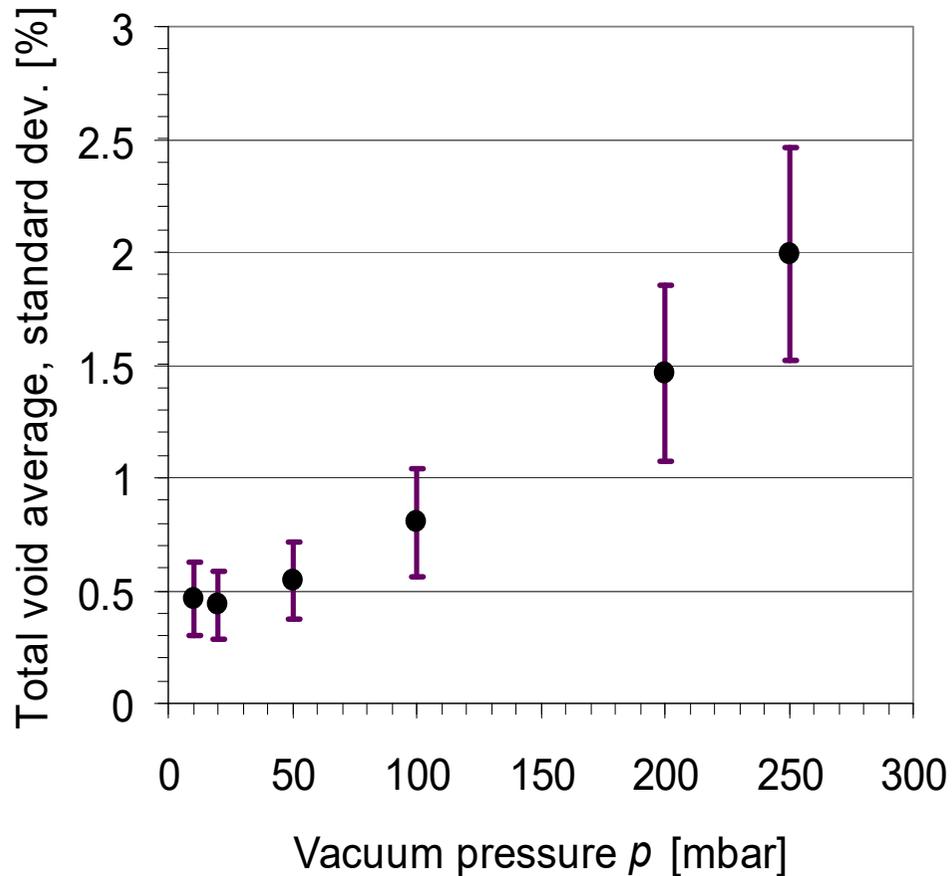
Stickstoff + Vakuum



Stickstoff

- Qualitativer Vergleich:
 - Stickstoff
 - Verbesserung ist marginal
- Unsere Erfahrung:
 - Wenn die Benetzung der Lotpaste nicht durch die Luftatmosphäre beeinträchtigt wird, ist die Porenreduktion durch Vakuum erfolgreich.
- Stickstoff im Vakuum verhindert das Oxidieren der Oberflächen (Bonding)
- Stickstoff verbessert in der Hochleistungselektronik die Qualität der Folgeschritte, z.B. waschen, bonding

Einfluss von Druck

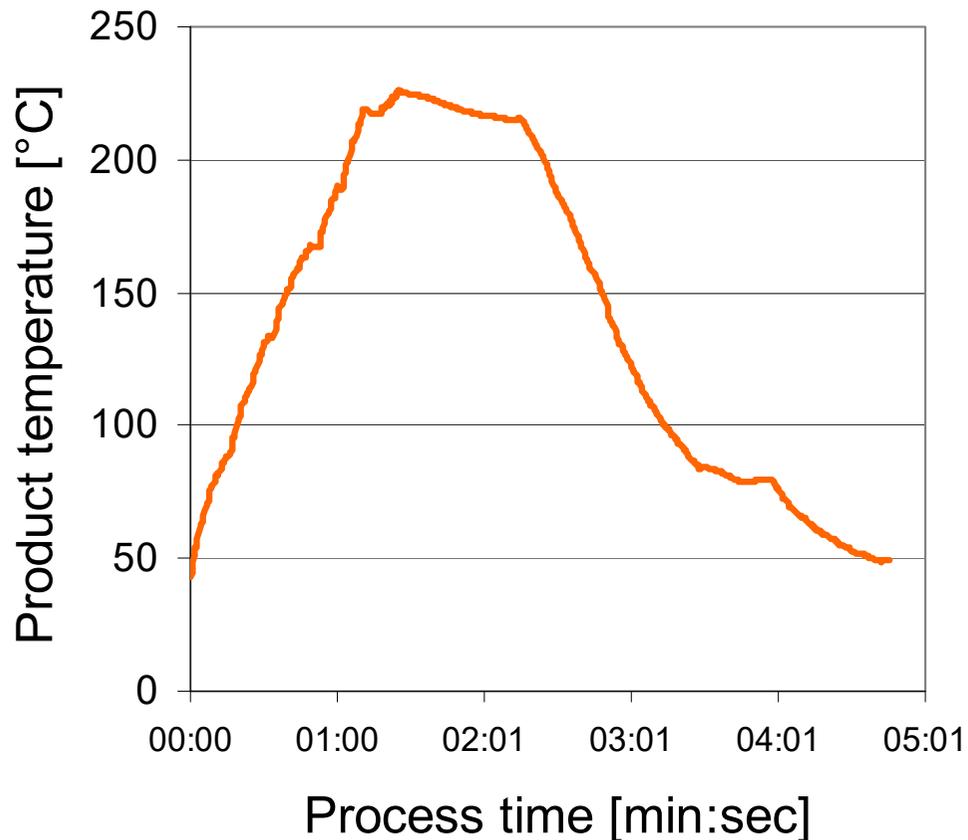


Vakuum Druck

- Untersuchungsgrundlage:
 - Bare Die auf DCB
- Jeder Wert wurde durch 44 Lötstellen gesetzt
- Vakuumdruck hat einen niedrigeren Einfluss auf die Einschlüsse
- Bei einem Druck unter 50 mbar werden die geringsten Voidraten erzielt

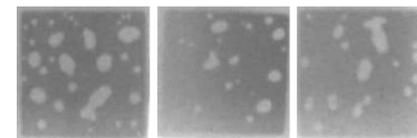
Einfluss eines *ungünstigen* Temperaturprofils

Falsch eingestelltes Temperaturprofil



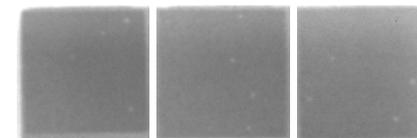
Temperaturprofil

- Profil zu kurz
- Benetzbarkeit unter IGBT wird beeinträchtigt
- Poren können auch unter Vakuum nur schlecht behoben werden
- Röntgenbildanalyse:



Poren > 5 %

- Optimiertes Temperaturprofil, gleiche Vakuumparameter:



Poren < 1 %

Vakuum-Reflow ist eine einfache und mächtige Technologie für:

- anspruchsvolle Inline-SMD-Produktion
- Stickstoff, Luft, Vakuum und Standard Reflow Prozesse
- Lötstellenqualität wird durch Porenreduktion verbessert

Große Vorteile gegenüber anderen Vakuum Lösungen:

- gleichmäßiger Wärmetransfer
- einfache Profile
- Inline Lösung
- für jedes Produkt nutzbar (DCB, PCB, Lead Frame, ... alle!)

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