



# HIGH PERFORMANCE LEITERPLATTENSYSYSTEM

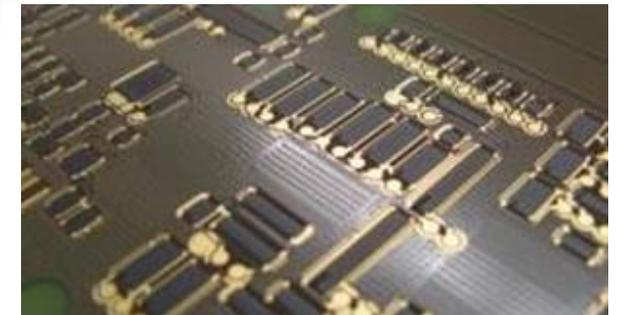
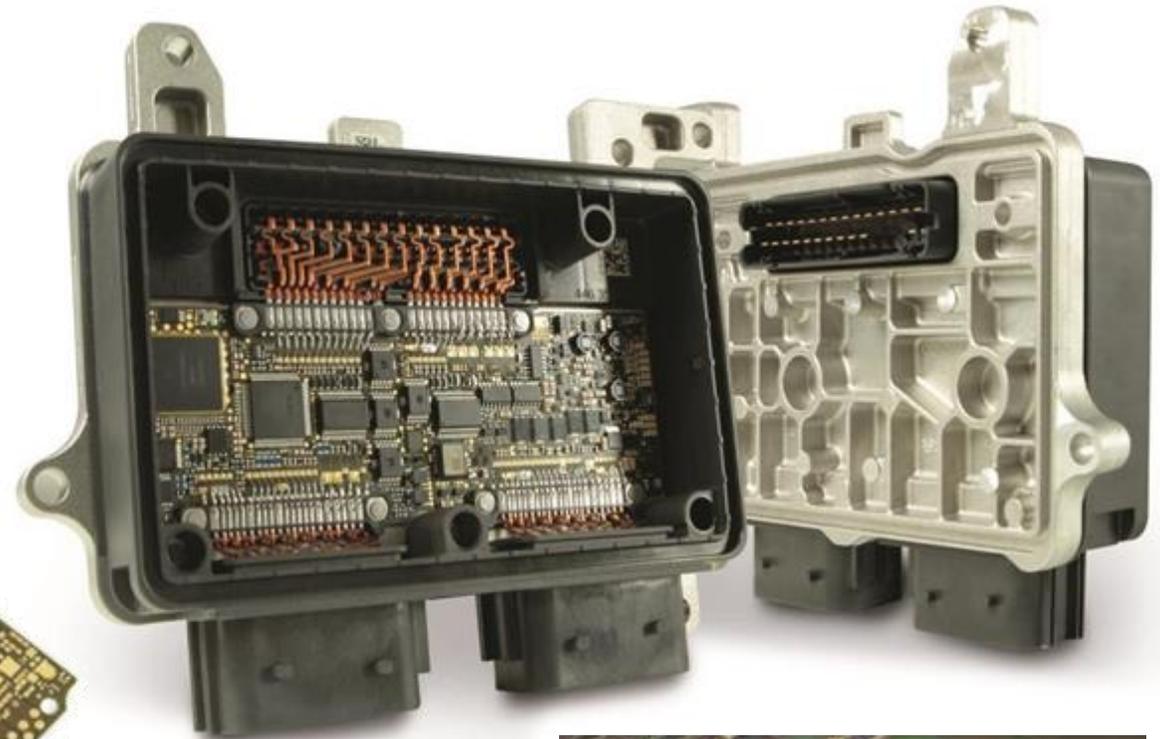
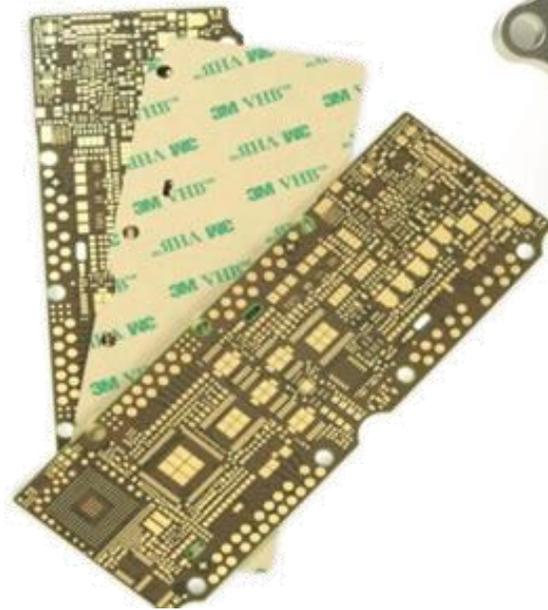
Miniaturisierung: HDI & Wärmemanagement & **Printed Polymer**

**WÜRTH ELEKTRONIK** MORE THAN YOU EXPECT

# HOCH ZUVERLÄSSIGE LEITERPLATTEN UND BAUGRUPPEN IN DER AUTOMOBILELEKTRONIK

Am Beispiel eines High Performance Leiterplattensystems

1. Miniaturisierung
  - HDI Technologie
  - Zuverlässigkeit und Nachweis durch IST
2. EmbR – gedruckte eingebettete Widerstände
  - Performance – Toleranzen
  - Zuverlässigkeit
3. Wärmemanagement
  - Thermovias
  - Kühlkörper / Heat Sink
  - Thermische Simulation
4. Kosten
  - PCB ersetzt Keramik



# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

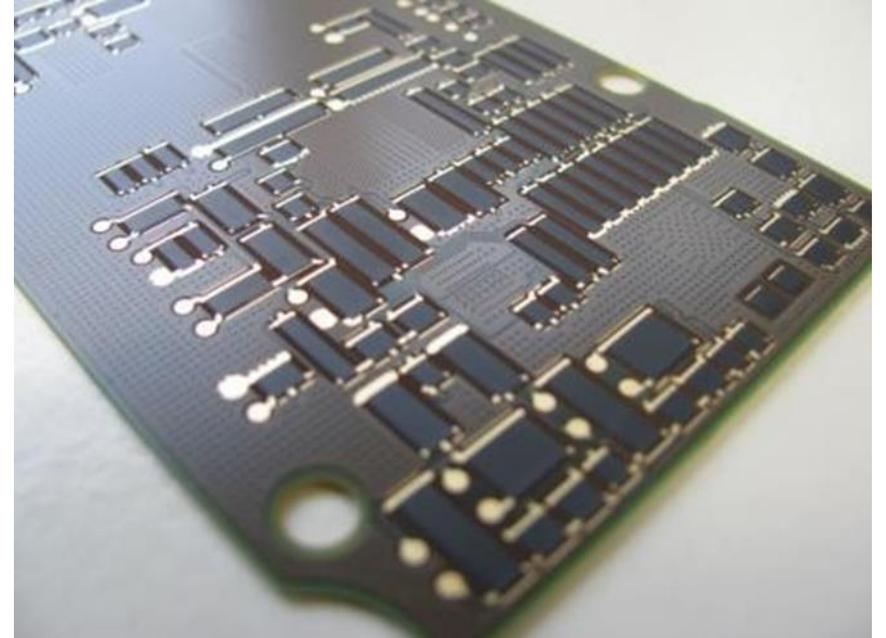
Printed Polymer allgemein

## Anwendungen:

- Pull-up und Pull-down Widerstände
- Spannungsteiler
- Allgemeine Schaltungswiderstände
- Hohe Zuverlässigkeitsanforderungen

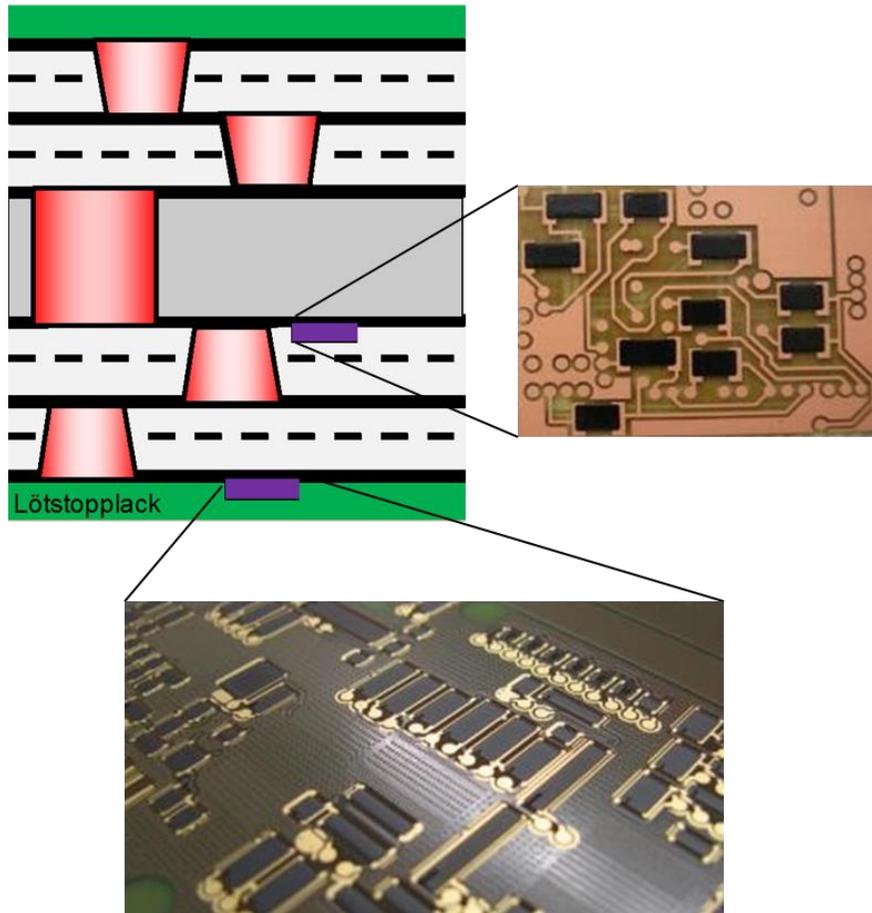
## Fakten:

- Pasten mit verschiedenen Widerstandswerten
- Toleranz durch Druckprozess  $R \pm 30\%$  (Standard)
- Toleranz nach Laserabgleich  $R \pm 5\%$  über die ganze Lebensdauer
- Widerstandswerte von  $50\ \Omega$  bis  $1\ M\Omega$  (Standard)
- Leistung einfach anpassbar
- Geringer Temperaturkoeffizient ( $\Delta$  Widerstandsänderung)  $\pm 300\ \text{ppm/K}$
- Standardgröße mindestens  $1,75\ \text{mm} \times 1,25\ \text{mm}$
- Dicke des Widerstandes ca.  $20\ \mu\text{m}$
- [Design Guide](#) verfügbar



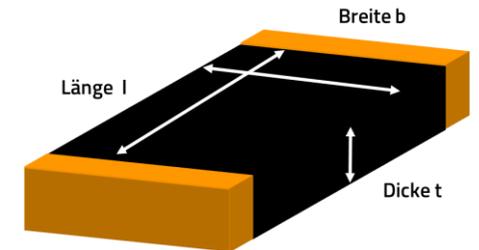
# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

Printed Polymer allgemein



- Würth Elektronik verfügt über viele Jahre an Erfahrung mit gedruckten Widerständen durch Polymerpasten (umgangssprachlich auch „Carbon“ genannt).
- EmbR: Miniaturisierungspotential durch eingebettete Widerstände
- Zuverlässigkeitsvorteile
- Dimensionierung der Widerstände

$$R = \frac{\text{Länge } l}{\text{Breite } b} \times \text{Pastenwert } \rho$$



Der Pastenwert  $\rho$  berücksichtigt den Square-Wert der Paste und die Widerstandsdicke

# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

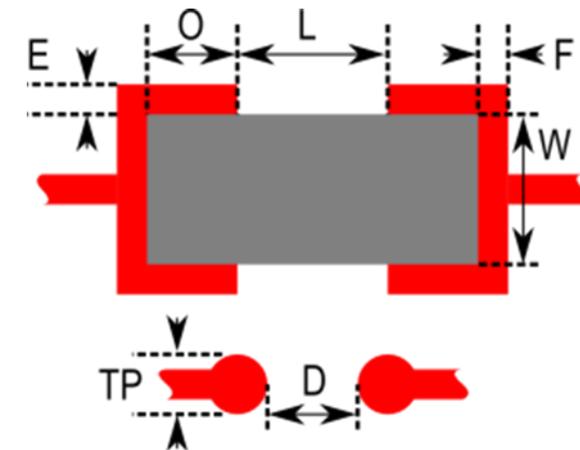
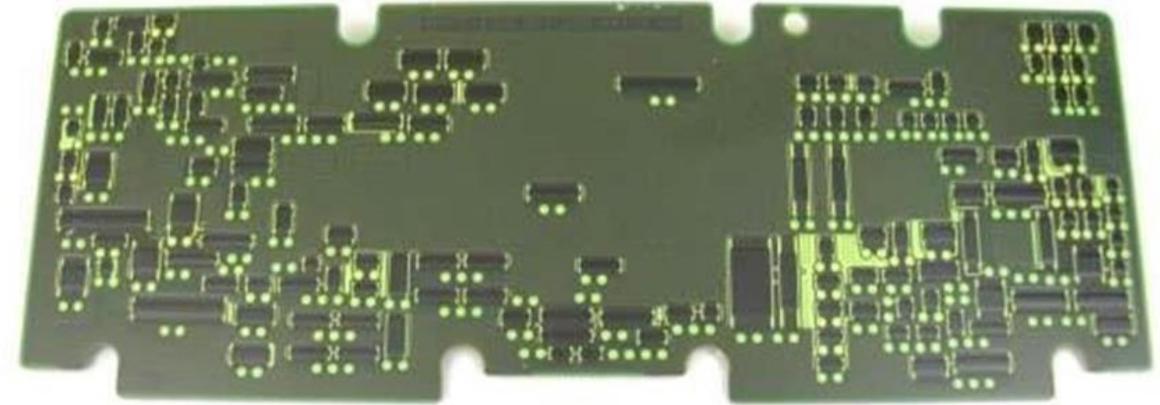
## Laserabgleich

### Toleranz Widerstandswerte

- Ohne Laserabgleich maximal  $\pm 30\%$
- Mit Laserabgleich (Trimming):
  - Bis maximal  $\pm 1\%$  nach der Bearbeitung
  - Über die ganze Lebensdauer:  $\pm 5\%$

### Traceability

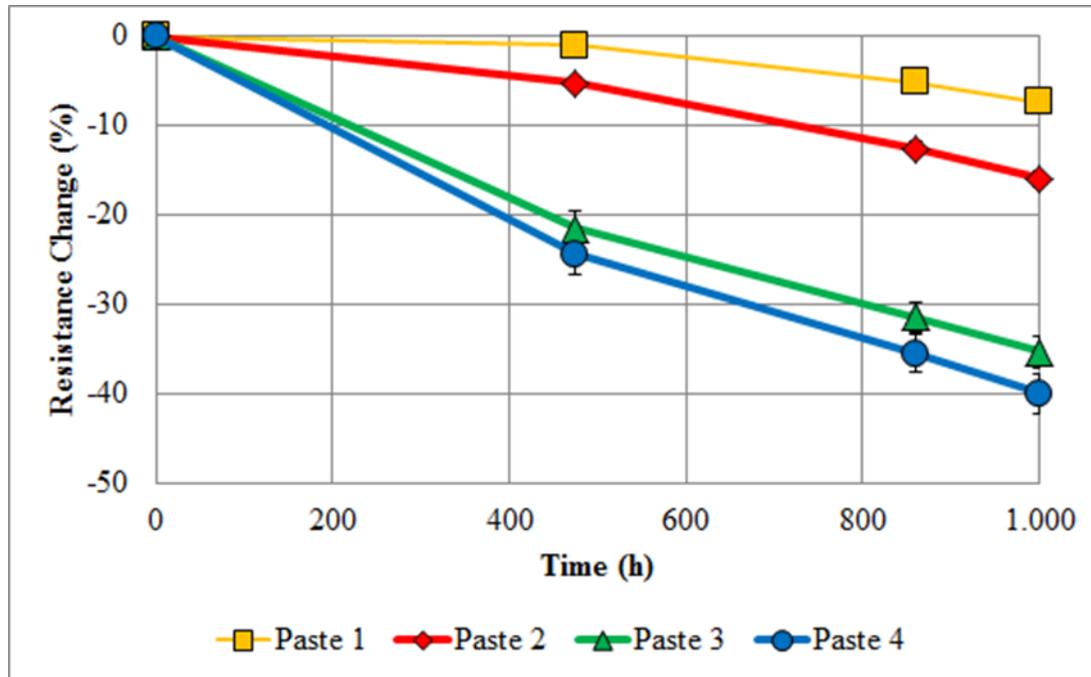
- Der Laserabgleich ermöglicht durch binäre Kodierung von zusätzlich eidesigneten Widerständen eine perfekte Rückverfolgbarkeit.



# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

## Auswahl der Widerstandspasten

- Widerstandsänderung von 4 Pasten bei 155 °C, betrieben mit maximaler Leistung:



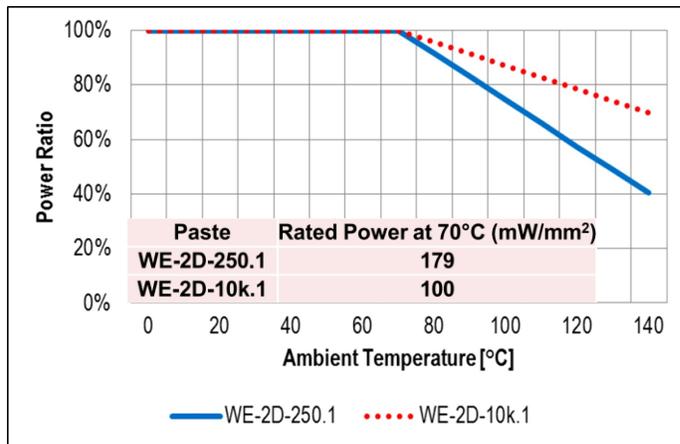
Im ersten Schritt waren umfangreiche Untersuchungen erforderlich, um zu ermitteln, welche Pasten die an das Komplettsystem gestellten hohen Anforderungen erfüllen können.

Insbesondere die Stabilität der Widerstandswerte unter Temperatureinfluss stellt für viele Pastensysteme eine Herausforderungen dar.

# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

## Tests

- Power Derating  
Ziel des Power-Derating Tests ist es, bei konstanter Stromstärke die maximale elektrische Belastung des Widerstandes zu ermitteln, ohne dabei den Widerstand irreversibel zu beschädigen.



- Ergebnis: Bei 140°C liegt die Verlustleistung noch weit über den angestrebten 50 mW/mm<sup>2</sup>

- TWT Temperaturwechseltests
  - -40°C / +155°C, 1000 Zyklen
  - Transferzeit max. 20 s, Haltezeit 15 Minuten
  - Widerstandsänderung max. 2 %

## Ergebnisse

- Bei +125 °C 4000 Zyklen bestanden ohne Ausfall
  - Die thermische Ausdehnung ist vergleichbar mit dem Basismaterial
- Die Performance der gedruckten Widerständen ist mindestens genau so gut wie bei vergleichbaren SMD-Widerständen und EmbR anderer Embedded Technologien.

# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

## Qualifizierung des Systems „Widerstände und Spannungsteiler“

- Auszug aus dem Qualifizierungsprogramm:

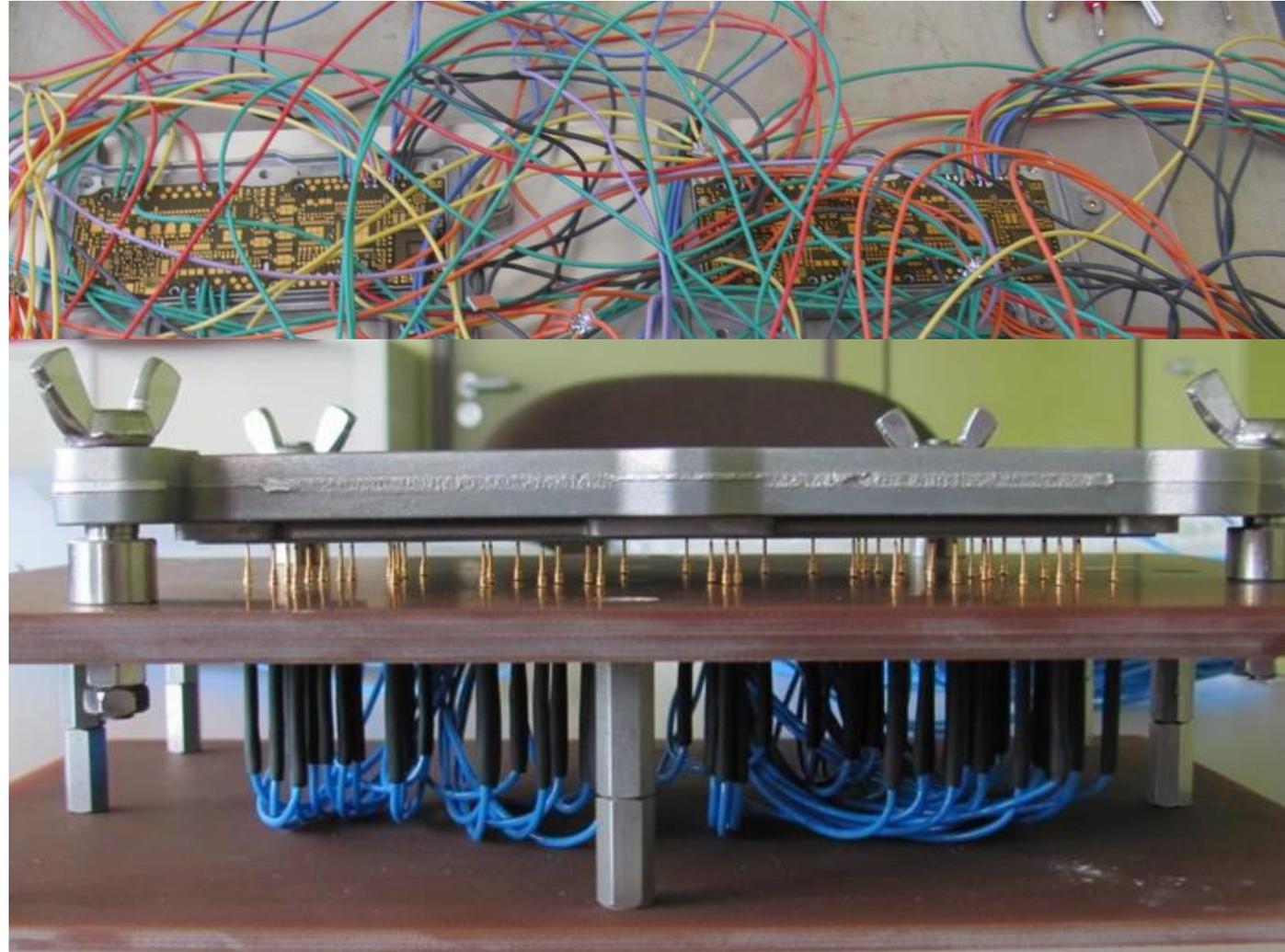
| Test  | Testmethode                 | Prozedur   | Max. Abweichung Einzelwiderstand |
|---|-----------------------------|--|----------------------------------|
| Temperature Coefficient of Resistance (TCR)                             | DIN EN 60115-1:2012-04, 4.8 | +20 / -40°C ...+20°C / +140°C  | - 700 ...– 300 ppm/K             |
| <i>Hochtemperaturlagerung</i><br><b>High Temperature Exposure (HTE)</b> | MIL-STD-202 Methode 108     | <b>1000 h @ T<sub>A</sub> = 150° C unbelastet</b>                              | +/- 3%                           |
| <i>Feuchtebeständigkeit</i><br>Moisture Resistance                      | MIL-STD-202 Methode 106     | 25°/65°, 95% rF, 3 Zyklen in 24h, 10 Tage, unbelastet                          | +/- 2%                           |
| <i>Feuchtediffusion</i><br>Biased Humidity                              | MIL-STD-202 Methode 103     | 1000 h, 85°C, 85% rF, 10 % der Nennleistung (50 mW/mm <sup>2</sup> )           | +/- 3%                           |
| <b>High Temperatur Operating Life (HTOL)</b>                            | MIL-STD-202 Methode 108     | 1000h HTE, danach <b>1000 h HTOL @ T<sub>A</sub> = 140° C mit Nennleistung</b> | +/- 20%                          |
| <i>Lötbeständigkeit</i><br>Resistance to Soldering Heat                 | IPC-TM650                   | 5 mal 260 +/- 5 ° C, 10 +/- 1 s  | +/- 2 %                          |

- Dieselben Prüfungen wurden durch den Kunden mit den komplett bestückten Baugruppen ebenfalls durchgeführt.

# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

## Qualifizierung des Systems

- Vorbereitung, Messaufbau  
High Temperature Operating Live Test (HTOL)



# GEDRUCKTE WIDERSTÄNDE

Jährliche Re-Qualifizierung des Systems „Widerstände und Spannungsteiler“

|   |                 | Requalifizierung: Auswertung HTOL und TWT  |                 |           |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
|---|-----------------|--|-----------------|--|------|---|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|------|---|--|
| <b>Kopfdaten:</b>   |                 | Prüfdatum: 27.07.2015  |                 | PDSS- Spezifikation: PDSS Stand: 10.03.2014  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| Kunde: WABCO      geprüft von: A. Reeb<br>Typ: TCNG            Labor SH   |                 | <u>High Temperature Operational Life (HTOL)</u><br>1000h bestromt bei 140°C  |                 | <u>Thermal Shock (TWT)</u><br>1000 Zyklen bei -40°C/+155°C                                   |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| <u>Leiterplatte</u><br>WE- Nr.: 396638<br>FA-Nr.: 577887<br>LK-Nr.: 3013316402  |                 | <u>Aluminiumbauteil</u><br>Teil-Nr.: 4463533134<br>Charge / KW: 25 / 30<br>LS-Nr.: 82513361  |                 | Toleranz (Max. Änderung)<br>Einzelwiderstände: + 20 %<br>Spannungsteilerverhältnis: +- 0,5 % |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| Toleranz (Max. Änderung)<br>Einzelwiderstände: +- 2 %<br>Spannungsteilerverhältnis: +- 0,5 %  |                 | <b>Prüfergebnis HTOL</b>   |                 | <b>Prüfergebnis TWT</b>  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| Getestete Baugruppen: 5<br>(Panel-ID/PCB-ID)  |                 | Fehlerliste:<br>Widerstände außerhalb der Toleranz   |                 | Getestete Baugruppen: 5<br>(Panel-ID/PCB-ID)   |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| 11 / 9<br>5 / 17<br>9 / 10<br>14 / 5<br>3 / 13  |                 | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>GUT</th> <th>FEHLER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Einzelwiderstände:</td> <td>855</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Spannungsteiler:</td> <td>80</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> |                 |  | GUT  | FEHLER  | Einzelwiderstände: | 855               | 0               | Spannungsteiler: | 80   | 0 | 10 / 12<br>8 / 18<br>10 / 6<br>12 / 9<br>9 / 7 |
|   | GUT             | FEHLER   |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| Einzelwiderstände:  | 855             | 0  |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| Spannungsteiler:  | 80              | 0  |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Einzelwiderstände</th> <th>Spannungsteiler</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: green; text-align: center;">i.O.</td> <td style="background-color: green; text-align: center;">i.O.</td> </tr> </tbody> </table> |                 | Einzelwiderstände  | Spannungsteiler | i.O.   | i.O. | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Einzelwiderstände</th> <th>Spannungsteiler</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: green; text-align: center;">i.O.</td> <td style="background-color: green; text-align: center;">i.O.</td> </tr> </tbody> </table> |                    | Einzelwiderstände | Spannungsteiler | i.O.             | i.O. |   |  |
| Einzelwiderstände   | Spannungsteiler |  |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| i.O.  | i.O.            |  |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| Einzelwiderstände   | Spannungsteiler |  |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |
| i.O.  | i.O.            |  |                 |  |      |   |                    |                   |                 |                  |      |   |  |

# KOSTENVERGLEICH

Hoch zuverlässige Leiterplatten und Baugruppen in der Automobilelektronik

Keramik



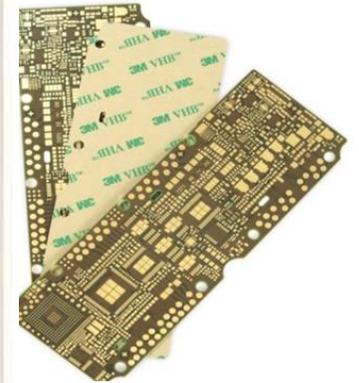
- Hohe Temperaturbeständigkeit



FR4



- Hohe Funktionalität
- Höchste Packungsdichte
- Kostengünstig



## KOSTEN – LEITERPLATTE ALLGEMEIN

Hoch zuverlässige Leiterplatten und Baugruppen in der Automobilelektronik

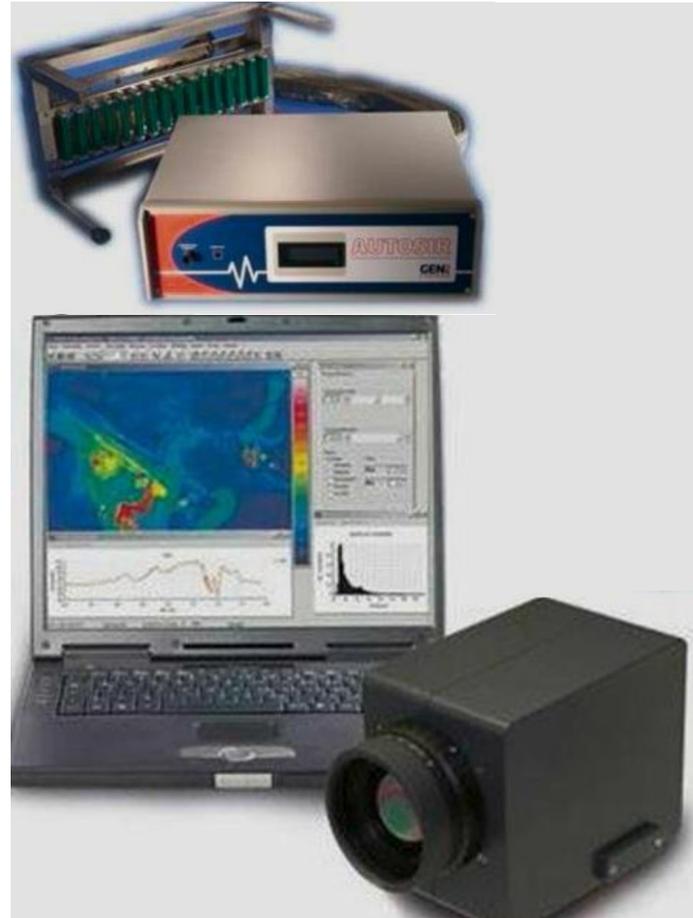
- Hauptvorteil FR4 Leiterplatte: Fertigung im „großen“ Fertigungspanel

| <b>Kostentreiber Leiterplatte</b> |    | <b>FR4-System</b>                    |
|-----------------------------------|----|--------------------------------------|
| Leiterplattengröße                | +  | Relativ klein                        |
| Ungünstiger Liefervorteil / X-Out | ++ | Einzel-Leiterplatte                  |
| Komplexer Lagenaufbau             | ≈  | Zweifachverpressung                  |
| Materialkosten                    | ++ | Nur ein Kern, vier Prepregs Tg 170°C |
| Mechanisch gebohrte Vias          | ++ | Nur Buried Vias im dünnen Kern       |
| Anzahl Galvanikschritte           | ≈  | Nur drei „einfache“ DK-Prozesse      |
| Aufwändige Konturbearbeitung      | +  | Einfache Fräskontur                  |

# ANFORDERUNG AN LEITERPLATTENHERSTELLER

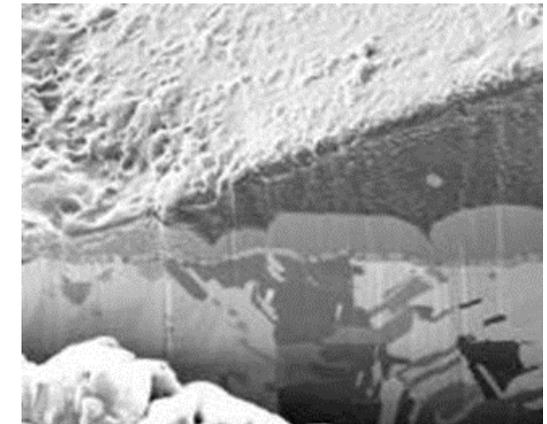
Hoch zuverlässige Leiterplatten und Baugruppen in der Automobilelektronik

- Metallurgische Schlifferstellung
- Prüfung nach IPC-6012 Klasse 3
- Stereo/Lichtmikroskopie (VIS/UV)
- IR Kamera
- Ionograph, CAF Messung
- Klimaschrank
- Temperaturwechseltest TWT
- Stromstoßtest
- Pressure Cooker Test
- XRF
- IST
- Thermosimulation
- Testequipment für
  - HTOL
  - Power Derating



Zusammenarbeit mit Instituten

- REM/EDX (Uni Basel, EMPA Zürich)
- XPS (IGB Stuttgart)
- Benetzungstests (ISIT Itzehoe)
- Ultraschallmikroskopie (ISIT Itzehoe)
- FIB (Uni Basel, EMPA Zürich)



# ZUSAMMENFASSUNG

Hoch zuverlässige Leiterplatten und Baugruppen in der Automobilelektronik

- Miniaturisierung durch
  - HDI Technologie
  - Gedruckte Widerstände (Printed Polymer)
- Höchste Zuverlässigkeit durch dünnen HDI Lagenaufbau ohne PTH Vias
- Eine Technologiekombination aus
  - HDI
  - Gedruckten Widerständen
  - Optimiertem Wärmemanagement

kann die kosteneffektive Substitution einer Keramik Lösung durch eine FR4 Leiterplatte ermöglichen.

- Ein kompetenter, breit aufgestellter Leiterplattenhersteller kann eine solche Aufgabenstellung umsetzen.
- Systemlösungen werden zukünftig ein wesentlicher Teil der Zusammenarbeit / des Leistungsspektrums sein.

# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

High Performance Leiterplattensystem  
Miniaturisierung: HDI & Wärmemanagement & Printed Polymer