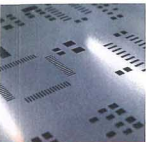
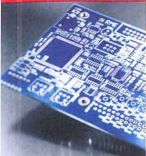


**Leitende Ideen – führende Experten**

20. und 21. Oktober 2011 in Berlin



Olympisches Stadion  
Olympiastadion Berlin

Jetzt anmelden [www.conday.de](http://www.conday.de)

**CON  
DAY**  
DAS TECHNOLOGIE-FORUM

ORGAN DER FACHVERBÄNDE

FED



ZVEI:



DVS



**9**

SEPTEMBER 2011  
SEITEN 1921-2176  
BAND 13

ISSN 1436-7505  
B 49475

**P**RODUKTION VON

**L**EITERPLATTEN

**U**ND

**S**YSTEMEN

- + **BAUELEMENTE**
- + **DESIGN**
- + **BESTÜCKUNG**
- + **PACKAGING**
- + **FORSCHUNG & TECHNOLOGIE**

**Fachzeitschrift für Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik**

## Hochtemperaturleiterplatten beziehungsweise Thermomanagement und Leiterplatte

Sascha Kreuer, Isola; Thomas Gottwald, Schweizer Electronic; Eberhard Petri, EC-PE; Andreas Schiessl, Continental; Volker Strubel, Innovationgreen

Neue Applikationsfelder der Leistungselektronik (Elektromobilität, Aerospace, HGÜ, LEDs) setzen neue Maßstäbe insbesondere durch die thermische Belastung der Baugruppen. In diesem Kontext steht auch das Projekt HELP, das mit Förderung der BMBF Programmlinien WING ein neues, temperaturbeständiges System von Leiterplatten, Vergussmassen und Lötstopplacken auf Basis eines neuen Harzsystems entwickeln soll.

New Areas of Application for Power Electronics (Mobility Applications, Aerospace, High Voltage DC, LEDs) pose an increasing challenge, especially in terms of thermal loading of assemblies. Overcoming such challenges is the aim of the HELP project, funded by the BMBF WING programme. This seeks to develop improved temperature-resistant printed circuit boards, potting resins and solder-stop masks, based on newly developed resins.

### 1 Einleitung

Die Bundesregierung hat das Ziel, die Einführung von 1 Mio. Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2020 zu realisieren. Für eine Akzeptanz und damit Marktdurchdringung der Elektromobilität ist die Verfügbarkeit von zuverlässiger Elektronik zu einem angemessenen konkurrenzfähigen Zielpreis ein zentraler Erfolgsfaktor.

Neben der Batterie und der elektrischen Maschine kommt den Leistungselektronikkomponenten von E-Fahrzeugen eine zentrale Bedeutung zu: Antriebsumrichter (Inverter), Batterieladegerät (Onboard Charger), Leistungsteil des Batterie-Management-

Systems (BMS), DC/DC Wandler für das Bordnetzsystem, elektrische Bremsen und Lenkung aber auch elektrischen Nebenaggregate wie Klimakompressor, Wasserpumpen und vieles mehr (Abb. 1).

Im Gegensatz zur Informationselektronik treten bei der Leistungselektronik bei hohen Strömen erhebliche Verlustleistungen auf, die punktuell zu hohen thermischen Belastungen führen. Leistungshalbleiter wie MOSFETS beziehungsweise IGBTs erreichen aktuell bis zu 150 °C, für neuere Bauelemente (Wideband Halbleiter) werden Spitzenwerte bis zu 225 °C erwartet. Hinzu kommen thermische Lasten aus der Umgebung in der die Leistungselektronik eingesetzt

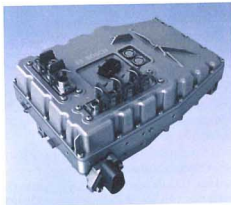
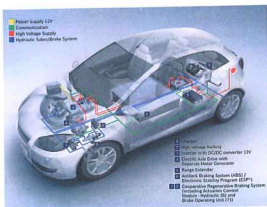


Abb. 1: links: Elektrischer Antriebsstrang im E-Fahrzeug, rechts: Beispiel Leistungselektronikkomponente Antriebsumrichter (Quelle Bosch)

wird: Wärmeeinträge von benachbarten Aggregaten (z. B. Verbrennungsmaschine / Range Extender, Bremse, Getriebe) Umgebungstemperaturen besonders im Sommer aber auch in anderen Klimazonen der Erde. Die größte Belastung für die Leistungselektronik stellen die häufigen Temperaturwechsel über einen weiten Temperaturbereich dar, die insbesondere durch den thermischen Mismatch, das heißt die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen Materialien, zu mechanischem Stress und damit Schadensmechanismen wie Spannungsrissen führen.

Von daher gibt es in der Leistungselektronik starke Bemühungen, die Betriebsfestigkeit bei höheren Temperaturen und häufigen starken Temperaturwechseln für typische Belastungsprofile zu verbessern: Entwicklung neuer Halbleiterbauelemente (SiC, GaN), passive Bauelemente (Kondensatoren), neue Verbindungstechniken (Sintern statt Löten), neue Schaltungsträger, Gehäuse und Vergussmassen.

## 2 Basismaterial für zukünftige Hochtemperaturleiterplatten

Der Gesamtmarkt für Leiterplatten in Europa betrug im Jahr 2010 etwa 6,6 Mio. m<sup>2</sup>, davon entfielen zirka ein Drittel auf temperaturbeständige Laminat mit einem T<sub>g</sub> von ≥ 150 °C (High TG, high Performance). Der Marktanteil für temperaturbeständige Leiterplattenlaminat wächst und die Umsatzsatzentwicklung dieser High-Performance-Produkte ist in den letzten drei Jahren um 75 % gestiegen. Die Treiber für die steigenden thermischen Anforderungen sind:

- Temperaturbelastung durch höhere Leistungen
- Höherintegration
- Verarbeitungstemperaturen, z. B. beim bleifreien Löten
- Einbauort – Umgebungsbedingungen
- Lebensdauer/Garantie in der Automobilindustrie

Die hohe Strombelastungen mit erheblichen Verlustleistungen in der Leistungselektronik und den somit punktuellen auftretenden hohen thermischen Belastungen beeinflussen die mechanischen und dielektrischen Eigenschaftenwerte eines Leiterplattenlaminates kann. Deshalb werden an das Leiterplattensubstrat zukünftig noch höhere Anforderungen an die Thermostabilität durch die erhöhten Dauereinsatztemperaturen gestellt.

## 2.1 Duroplastische Leiterplattenmaterialien

Duroplastische Leiterplattenlaminat werden heute weltweit als Stand der Technik in großem industriellen Maßstab hergestellt und in einer Vielzahl von elektronischen Anwendungen eingesetzt. Der überwiegende Teil der derzeit verwendeten Leiterplattenmaterialien basiert auf Epoxyharz-Glasfasergewebe Basismaterialien (FR4-Laminaten). Die wesentliche Herausforderung für Epoxyharz basierten Leiterplatten ist die limitierte Temperaturstabilität bis zu maximal 150 °C. Einige Epoxyharz-Hochleistungssubstrate erreichen bis 170 °C. Hohe Temperaturbelastungen und insbesondere Temperaturwechselbelastungen im Temperaturgrenzbereich führen zu Problemen bei der Zuverlässigkeit, die sich in Lötstellendefekten, Hülsenabrissen, Delaminierungen der Leiterbahnen manifestieren und zur Schädigung bis hin zum Ausfall der elektronischen Komponente führen können.

Trotz geeigneter Auswahl der Harzkomponenten mit dem entsprechenden Härtungsmechanismus sowie Füllstoffe werden die schon heute im Einsatz befindlichen duroplastischen wärmostabilen Laminat auf Basis von klassischen Epoxidharzsystemen an ihre Grenzen stoßen (Abb. 2).

Bezeichnung	Situ. T <sub>g</sub> 130-140°C	Mittel T <sub>g</sub> 150°C	Hoch T <sub>g</sub> 170°C	wärmostabil, bevorzugt für bleifreie Technologie anwendungsgesiegt	T <sub>g</sub> CTE <70 ppm/K	T <sub>g</sub> CTE <50 ppm/K	T <sub>g</sub> CTE <40 ppm/K	getühtes Harzsystem
Halogenfrei	DE156							
Thermisch beständige	IS400							
Epoxy-Laminat	IS410							
	185HR							
	PCL370HR							
	IS420							

Abb. 2: Übersicht thermisch beständiger Basismaterialien (Quelle Isola)

Bislang war der Temperaturbereich jenseits von 150 °C Umgebungstemperatur keramischer Schaltungsträgern oder aber auf duroplastischen Sondermaterialien wie Bismaleimid-Triazin (BT) oder Polyimid (PI) basierenden Leiterplatten vorbehalten. Diese sind aber wesentlich teurer (Faktor 5-10 im Ver-

gleich zu FR4), zeigen typischerweise ein Versprödungsverhalten und sind schwierig zu verarbeiten.

Derzeit steht kein duroplastisches Leiterplattensubstrat am Markt zur Verfügung, das sowohl die Anforderungen bezüglich Temperaturbelastungen und Temperaturwechselbelastungen erfüllt, und gleichzeitig eine wirtschaftliche Lösung im großindustriellen Fertigungsmaßstab ermöglicht.

Laminathersteller wie Isola beschäftigt sich seit einiger Zeit mit der Erforschung und Produktion neuer Hochtemperaturlamine, um auch für diese zukünftigen hohen Anforderungen ein entsprechendes Basismaterial anbieten zu können.

## 2.2 Keramische Substraten

Aus diesem Grund werden heute in derzeitigen Invertern im Leistungselektronikteil, wo bereits eine hohe Zuverlässigkeit gefordert wird, keramische Substrate eingesetzt. Diese zeigen eine hervorragende Temperaturstabilität und Wärmeleitfähigkeit, haben aber spürbare Nachteile hinsichtlich:

- eines aufwendigen und somit kostenintensiven Herstellungsprozesses (z. B. Metallisierung, Bestückung)
- Einsatz nur von Nacktchips (statt SMD-Bauteile), die aufwendig mit Dickdraht gebondet werden müssen
- keine optimale Bauraumausnutzung möglich, da nur 2D verfügbar
- hoher Energieaufwand bei Herstellung des keramischen Substrats
- hohe Gesamtkosten

## 2.3 Elektrik/Elektronikarchitektur einer Leistungselektronikkomponente auf unterschiedlichen Basismaterialien

Aufgrund der oben geschilderten Kostensituation werden die Baugruppen von Leistungselektronikkomponenten, das heißt Steuer-, Treiber- und Leistungselektronik, mit den zur Zeit verfügbaren Produkten aus unterschiedlichen Basismaterialien wie Keramik, hochgefüllten hochtemperaturbeständigen Epoxy-Materialien und Standard-Epoxy FR4 hergestellt (Abb. 3). Hier werden Lamine für eine hohe

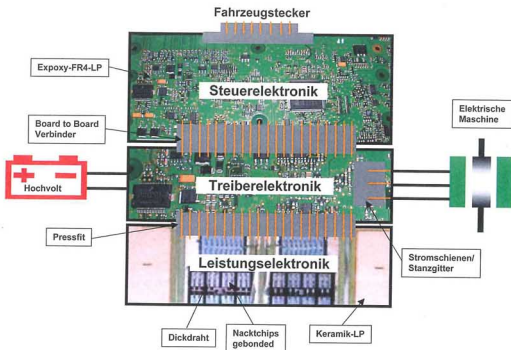


Abb. 3: Schema Elektrik/Elektronikarchitektur einer Leistungselektronikkomponente (Beispiel Antriebsumrichter, vereinfachte Darstellung). Stand der Technik: Aufbau auf unterschiedlichen Leiterplatten-Basismaterialien (Quelle Conti)

Dauereinsatztemperatur mit höheren Zersetzungstemperaturen benötigt, die gegebenenfalls nicht mehr gemäß UL als FR4 gelistet werden können, da UL für FR4 einen maximalen Temperaturindex von 130 °C zulässt.

Für die Kontaktierung dieser Leiterplatten ist eine aufwendige und kostenintensive Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) mittels Stromschienen, Gitternetzen, Steckverbindungen und gegebenenfalls Pressfits notwendig.

Die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit leistungselektronischer Systeme und Baugruppen wird jedoch nicht nur von den Leiterplatten und dem verwendeten Basismaterials sowie Leistungshalbleitern oder Schaltungskonzepten beeinflusst, sondern auch von der Regelung, Ansteuerung, EMV, Aufbau- und Verbindungstechnik, den Bauelementen und den resultierenden thermischen Umgebungsbelastungen. Deren hohe Kosten und die Vielzahl der eingesetzten Schaltungsträger im Automobil der Zukunft stehen einer raschen Verbreitung der Elektromobilität entgegen.

### 3 Thermisches Management auf der Leiterplatte

Höhere Einsatztemperaturen stellen auch an das thermische Management, das sehr häufig mit dem Design der Leiterplatte realisiert wird, sehr hohe Anforderungen. Bei Umgebungstemperaturen von 150 °C ist man schon dicht an der Sicherheitsgrenze für Materialien mit einer Glasübergangstemperatur ( $T_g$ ) von 170 °C. Das wiederum bedeutet, dass die Erwärmung des Basismaterials durch die verwendeten Komponenten minimiert werden muss, weil sonst eine Materialerweichung und geänderte Materialeigenschaften in Kauf genommen werden müssen.

Für leistungselektronische Komponenten bedeutet dies, dass der Aufwand zur Erzielung eines geringen thermischen Widerstands erheblich steigt. Die Verwendung von einigen Thermal Vias, die die Wärme durch die Leiterplatte abführen, reicht hier definitiv nicht mehr aus. Hier müssen Maßnahmen, wie beispielsweise der Einsatz von Inlay-Technologien, ergriffen werden, um die geforderten Grenzwerte für die Eigen Erwärmung einhalten zu können. Weitere Komponenten, die ebenfalls Teil des thermischen Managements sind, wie thermische Interface Materialien (TIM) und Kühlkörper müssen ebenfalls entsprechend aufwän-

dig ausgelegt werden, um die Erwärmung der Leiterplatte unterhalb der kritischen Temperaturen zu halten.

In diesen Fällen trägt ein hochtemperaturstabiles Basismaterial dazu bei, den Aufwand für das thermische Management zu verringern und birgt daher auch ein Potenzial zur Kostenreduktion im Gesamtsystem. Wenn die Maßnahmen zur Kühlung der Elektronik reduziert werden, können nicht nur Herstellkosten sondern auch Bauraum und Gewicht gespart werden, was wiederum Einfluss auf den Verbrauch und somit auf die Reichweite von Elektrofahrzeugen hat.

Grundvoraussetzung ist natürlich, dass auch die verwendeten Bauelemente sowie die Aufbau- und Verbindungstechnologie höhere Betriebstemperaturen zulassen.

### Zielapplikationen innovative Leiterplattentechnologien

Als europäischer Leiterplattenhersteller reicht es heute nicht mehr aus, Standardprodukte zu liefern. Zu schnell könnten Leiterplatten mit einem neuen Basismaterial auch aus einem Niedriglohland nachgebaut werden. So wird beispielsweise bei Schweizer speziell den Einsatz der Hochtemperatur-Lamine für Anwendungen aus dem Bereich der Leistungselektronik, wie zum Beispiel Inlay Board, Combi Board beziehungsweise Wirelaid prüfen. Darüber hinaus wird die Eignung dieser Materialien für Einbetttechnologien von Logik-Halbleitern und leistungselektronischen Bauelementen wie MOSFET oder IGBT untersucht werden. Die Technologien hierfür sind i<sup>2</sup>-Board® und p<sup>2</sup>-Pack® für Einsatztemperaturen von 150 °C und darüber. Da solche innovativen Lösungen für den Einsatz in der Elektromobilität besonders geeignet sind, soll geklärt werden, ob auch die neuen Basismaterialien für diese Technologien eingesetzt werden können.

### 4 BMBF Förderprojekt HELP gestartet

In diesem Kontext steht auch das Verbundforschungsprojekt *HELP – Zuverlässige und kostengünstige Hochtemperaturelektronik für die Elektromobilität auf Basis von Leiterplatten aus hochtemperaturbeständigen Harzsystemen* das mit Unterstützung des BMBF in der Programmlinien *WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft* nunmehr am 1.8.2011 seine Arbeit aufgenommen hat. Das Konsortium umfasst 13 Verbundpartner unter der Leitung

**HUNTSMAN**  
Enriching lives through innovation

**isola** **SIEMENS** **BOSCH** **Continental**

**DAIMLER**

**PETERS**  
Speziallacke für die Elektronik

**Linner**

**LÜBERG**  
**ELEKTRONIK**  
GmbH & Co. Professions AG

**SCHWEIZER**  
ELECTRONIC

**HOFMANN**  
LEITERPLATTEN

**Fraunhofer**  
IZM

**ELPE**

**UNIVERSITÄT**  
BAYREUTH

Abb. 4: BMBF Verbundforschungsprojekt HELP-Konsortialpartner

der Schweizer Elektronik. Es umfasst die Hersteller von chemischen Vorprodukten, von Leiterplatten-Laminaten, von elektronischen Baugruppen bis zu Komponenten- und Fahrzeugherstellern einschließlich führender, wissenschaftlicher Institute umfassen zusammen. (Abb. 4)

Ziel des Vorhabens ist die Erforschung von zuverlässiger und kostengünstiger Elektronik für die Elektromobilität. Auf Basis neuer Harzsysteme werden hochtemperaturbeständige Kunststoffleiterplatten und Vergussmassen entwickelt.

Für die Leistungselektronikkomponenten von E-Fahrzeugen sollen neue Elektrik- und Elektronik-Architekturen ermöglicht werden, indem die kom-

plette Elektronik, das heißt Leistungselektronik plus Steuer- und Treiberelektronik inklusive der Stromschienen, auf einer hochtemperaturbeständigen HT-Leiterplatte realisiert werden. Diese sollen in herkömmlichen (Massen)-Fertigungsprozessen der Elektronikindustrie prozessiert werden können (Abb. 5).

Aufgrund einer vereinfachten Aufbau- und Verbindungstechnologie (AVT) und der höheren Temperaturwechselbelastungen soll eine höhere Zuverlässigkeit der Leistungselektronik erzielt werden..

Die Verbundpartner erwarten so einen deutlichen Kostenvorteil im Vergleich zur bisherigen Leistungselektronik. Aufgrund einer vereinfachten Aufbau-

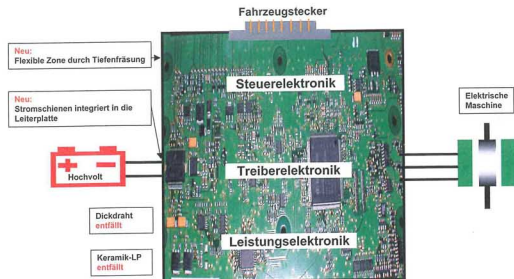


Abb. 5: Angestrebte Lösung auf Basis Hochtemperaturleiterplatten und Vergussmassen

(Quelle Conti)

und Verbindungstechnologie (AVT) und der höheren Temperaturwechselbelastungen soll eine höhere Zuverlässigkeit der Elektrofahrzeuge erzielt werden. Bei Verfügbarkeit von hochtemperaturbeständigen Bauteilen kann perspektivisch das Temperaturniveau von 175 °C auf >220 °C gesteigert werden. Der Kühlaufwand könnte somit reduziert und der Antriebsumrichter kleiner, leichter und kostengünstiger gestaltet und die Gesamteffizienz gesteigert werden, woraus eine erhöhte Reichweite der zukünftigen E-Fahrzeuge resultiert.

Hochtemperaturbeanspruchte Elektronik gewinnt auch in anderen Zukunftstechnologien zunehmende Bedeutung wie beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt, bei neuen energiesparenden Beleuchtungssystemen zum Beispiel mit Leuchtdioden, bei der regenerativen Energieversorgung mit Windkraft und Sonnenenergie. Somit können die neuen HT-Leiterplatten in vielen weiteren Anwendungen zukünftig eingesetzt werden.

#### 4.1 Anforderungen an die Hochtemperatur-Leiterplatten und Vergussmassen

Im Projekt *HELP* werden die folgenden technischen Zielstellungen auf Ebene der Leiterplattenmaterialien und Vergussmassen abgeleitet:

- Dauergebrauchstemperatur der Leiterplatte von 175 °C, punktuell bis 220 °C und gleichzeitig Erhöhung der Temperaturwechselfestigkeit in dem erweiterten Temperaturbereich
- Aufbau von ein- und zweiseitigen organischen, hochtemperaturbeständigen Leiterplatten mit Durchkontaktierungen
- Multilayerfähigkeit, um somit den Aufbau komplexer, elektronischer Baugruppen zu ermöglichen
- Ermöglichen des Einbettens von Bauelementen in Multilayerstrukturen
- Verbesserte Bauraumintegration von Leiterplatten durch die geometrische Anpassung, z. B. gebogene Leiterplatte (Starrflex), 3D-Leiterplatte
- Prozessierung von neuen Leiterplattenmaterialien in herkömmlichen Fertigungsprozessen ähnlich Epoxidharzen. Dies setzt voraus, dass die neuen Harzsysteme in Prepreg-Verfahren verarbeitet werden können
- Intrinsischer Flammenschutz vergleichbar zu Phenolharz, um wenn möglich auf umweltbelastende, halogenierte Flammenschutzmittel zu verzichten

- Vergießbare Harze für spezifische Anwendungen in Verkapselungen, Vergussmassen, Inlays, mit einer niedrigen Viskosität, einer Gelzeit von mind. 120 s und das Potential für schnelle Aushärteprozesse

Ziel des Teilvorhabens der Schweizer Electronic ist es, eine Leiterplattentechnologie bereitzustellen, die für den Temperaturbereich 170 °C bis 220 °C Umgebungstemperatur geeignet ist. Das neuartige Basismaterial soll kostengünstig beschafft und mit Standard-Anlagen und weitestgehend mit Standard-Prozessen prozessiert werden und soll unter Einsatzbedingungen eine hohe Zuverlässigkeit aufweist.

Schweizer Electronic will aufzeigen, wie diese Hochtemperaturlamine mit den gängigen Prozessen der Leiterplattenindustrie verarbeitet werden können beziehungsweise welche Anpassungen der Prozesse erforderlich sind. Bei neuen Basismaterialien sind in der Regel Anpassungen vieler Prozessparameter erforderlich, um die jeweiligen Anforderungen an die Zuverlässigkeit zu erfüllen und um die Herstellkosten für die daraus entstehenden Produkte möglichst gering zu halten. Der Einsatz solcher Hochtemperaturleiterplatten darf keinen negativen Einfluss auf die Gesamtzuverlässigkeit des Systems haben, im Gegenteil: es besteht die Erwartung, dass die Zuverlässigkeit trotz höherer Einsatztemperaturen weiter steigt.

Dafür sollen die neu entwickelten Lamine vergleichend gegen bekannte Materialien geprüft werden, sowohl aus dem weit verbreiteten Epoxidharz-Spektrum als auch gegen bekannte High TG-Materialien wie PI oder teflonbasierte Systeme.

#### 4.2 Anwendung der neuen Hochtemperaturleiterplatten am Beispiel einer elektrischen Wasserpumpe

Bei konventionellen Kühlkreisläufen von Verbrennungsmotoren kommt eine mechanische Pumpe zum Einsatz, die durch einen Zahnriemen angetrieben wird. Im Zuge der Elektromobilität müssen diese mechanisch angetriebenen Pumpen durch elektrische Wasserpumpen ersetzt werden (Abb. 6).

Durch die Möglichkeit der elektrischen Ansteuerung können diese Pumpen je nach Bedarf des gewünschten Betriebszustandes des zu kühlenden Systems betrieben werden. Das stellt den Hauptvorteil gegenüber einer mechanischen Pumpe dar. Zusätzlich ist eine flexible Positionierung, die Option des Pum-



Abb. 6: Elektrifizierte Wasserpumpe  
(Quelle Conti)

pennachlaufs und eine kleinere Auslegung der Pumpe möglich wodurch sich weitere Vorteile ergeben.

Typischerweise wird die Elektronik die zur Ansteuerung benötigt wird direkt in der Pumpe integriert. Durch die sich daraus ergebenden erhöhten Temperaturanforderungen an die Schaltung muss ein keramischer Schaltungsträger für den Logikteil verwendet werden. Als Ausgangsstufe kommt typischerweise

eine Platine auf Dickschichtbasis zum Einsatz. Die Leiterplatten werden untereinander mittels Aluminiumdrahtbond verbunden. Zusätzlich zur Stromverteilung ist ein Stanzgitter notwendig. Die verwendeten Schaltungsträger in Verbindung mit dem notwendigen Technologiemitmix erzeugen hohe Material und Fertigungskosten was zu hohen Pumpenkosten führt.

Durch die Entwicklung von hochtemperaturbeständigen Leiterplatten, Vergussmassen und Baugruppen mit eingebetteten Bauelementen auf Basis von neuartigen Hochtemperaturharzsystemen können neue Elektrik- und Elektronikarchitekturen ermöglicht werden.

Conti plant am Beispiel der elektrischen Wasserpumpe die Schaltung auf einer Hochtemperaturleiterplatte aufgebaut werden, wodurch eine Reduzierung der Komplexität der verwendeten Materialien und Technologien erreicht wird. Mit diesem Ansatz können Kosten reduziert werden um damit den Eintritt der Elektromobilität in den Massenmarkt zu beschleunigen.

## Erfassung von Lötprofilen

Methodik, Fehlerquellen, Messtoleranzen

Von Prof. Dr. Armin Rahn. Erste Auflage 2008. 112 Seiten.

ISBN 978-3-87480-250-5. Preis € 64,- inkl. MwSt. und Versand in Deutschland.

Der Übergang von der bleihaltigen zur bleifreien Löttechnik in der Elektronik hat eine Reihe von Fragen aufgeworfen, mit denen sich alle in die Prozesskette involvierten Stellen auseinandersetzen müssen. Das beginnt beim Bauteilhersteller und dem Leiterplattendesigner, betrifft den Produzenten von Lot, Paste und Flussmittel, beeinflusst Design und Qualität der Lötanlage, erfordert angepasste Temperaturmessmethoden zur Prozesssicherung und Optimierung des Temperaturprofils der Lötanlage und hat Auswirkungen auf die Reparatur- bzw. Nachlötplätze.

Diesen komplexen Themenkreis behandelt Prof. Dr. Armin Rahn in seinem neuen Buch, in dem er wissenschaftlich fundierte und sehr konkrete Hinweise und Ratschläge für die Arbeit in der Produktion gibt. Großer Platz wird den versteckten Fehlerquellen und den praktisch anwendbaren Temperaturmessmethoden eingeräumt.

Dieses Werk dürfte sich schon dann vielfach bezahlt machen, wenn nur eine einzige zusätzliche fehlerfreie Baugruppenserie die Lötanlage verlässt.

**Eugen G. Leuze Verlag KG**

Karlstraße 4 · D-88348 Bad Saulgau · Tel. 07581/4801-0 · Fax 07581/4801-10  
buchbestellung@leuze-verlag.de · www.leuze-verlag.de