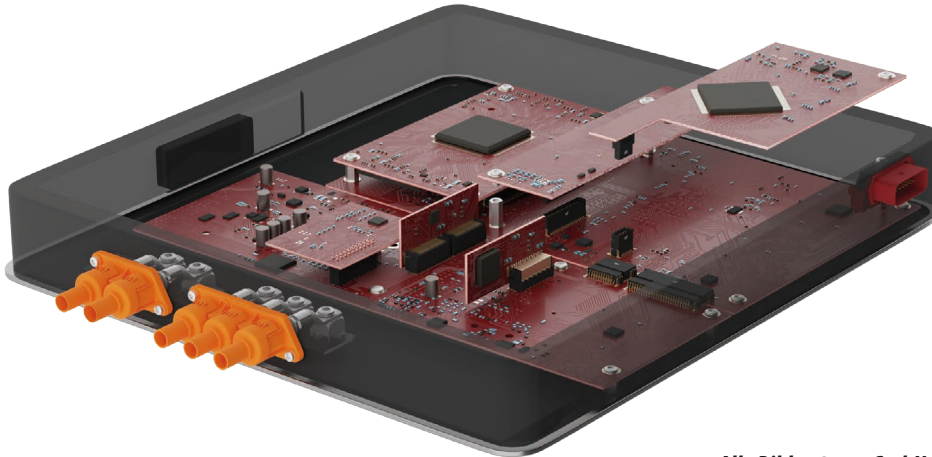


## Powermanagement und intelligente Stromversorgung

Der Inverter in der Elektromobilität und die Anforderungen an Steckverbinder



Alle Bilder © ept GmbH

Batteriemanagementsysteme und die Leistungselektronik spielen für die Elektromobilität eine Schlüsselrolle, denn sie verbinden unterschiedliche Komponenten im E-Automobil miteinander. Die Verbindungsfunktion innerhalb der Inverter kommt den Steckverbindern zu. Diese sind gefordert, die Signale, Daten und die hohen Ströme trotz der anspruchsvollen Einsatzbedingungen zuverlässig, sicher, schnell und ohne Verluste zu steuern und zu übertragen. Hierzu müssen die Steckverbinder in puncto Temperaturbeständigkeit, Kompaktheit und Flexibilität sowie Leistungsfähigkeit und Robustheit einige Anforderungen erfüllen.



Autorin:  
Franziska Lill  
Produktmanager I&C  
ept GmbH  
www.ept.de

### Wandel zur E-Mobilität

Die Automobilindustrie hat in den letzten Jahren eine Verschiebung hin zur E-Mobilität erfahren. Diese Verschiebung zeigt sich anhand einer erhöhten Produktion von Elektrofahrzeugen (EVs) und gestiegenen Verkaufszahlen sowie dem Ausbau der Ladestruktur für EVs. Die Verbrauchernachfrage nach nachhaltigeren Transportoptionen wächst stetig. Ebenso wurden hohe Investitionen in die Batterietechnologie getätigt, um Fortschritte bei den Themen Reichweite, Leistung und Kosten der E-Fahrzeuge zu erzielen. Regierungsanreize für die EV-Adaption, die Verpflichtungen der Automobilhersteller, den Verbrennungsmotor abzuschaffen, sowie verschärfte Emissionsvorschriften verleihen dem Umschwung zur Elektromobilität weiterhin Dynamik. Als Ergebnis steigern die traditionellen Automobilhersteller die Produktion von EVs.

### Inverter im E-Automobil

Inverter sind in E-Fahrzeugen für die intelligente Stromversorgung und das Energiemanagement verantwortlich. Sie verbinden die Batterie des Elektrofahrzeugs mit den elektrischen Verbrauchern im Fahrzeug und beim Ladevorgang auch mit dem öffentlichen Stromnetz. Hierbei werden unterschiedliche Spannungsebenen benötigt.

Es werden hauptsächlich zwei Arten von Invertern in Elektroautos eingesetzt: DC/DC-Inverter und AC/DC-Inverter. DC/DC-Inverter ändern die Spannung eines Gleichstroms. AC/DC-Inverter (Gleich- oder Wechselrichter) ändern Gleich- in Wechselstrom oder umgekehrt. Inverter wandeln

also die elektrische Energie in die jeweils für den Verbraucher nötige Spannungsebene und -form, um eine optimale Leistung sicherzustellen.

### Motor braucht Wechselspannung

Einen Verbraucher im Elektrofahrzeug stellt der Motor dar. Die Synchron- und Asynchronmotoren in Elektrofahrzeugen werden mit Wechselspannung betrieben. Da die Batterie jedoch einen Gleichstrom liefert, müssen Umrichter die gewünschte Eingangsspannung erzeugen. Die Wechselrichter dienen auch dazu, die bei Bremsvorgängen erzeugte Rekuperationsenergie gleichzurichten und ins Hochvoltbordnetz einzuspeisen. Inverter sorgen demnach für eine effiziente Übertragung zwischen Batterie und Elektromotor, um eine möglichst große Reichweite zu gewährleisten. Auch beim Ladevorgang wird ein Wechselrichter eingesetzt, welcher die Eingangsspannung des öffentlichen Netzes gleichrichtet und in der Batterie speichert. In einem Elektrofahrzeug übernimmt ein Gleichstromwandler die Funktion der Lichtmaschine. Der Vorteil an einem Inverter im Vergleich zu einem zusätzlichen Generator zeigt sich durch eine höhere Effizienz, geringeres Gewicht und Wartungsfreiheit.

### Gleichstromwandler

Dieser Gleichstromwandler transformiert die Hochvoltbordnetzspannung auf die niedrigeren Spannungsebenen der Nebenaggregate, z. B. des Radios. Die Batterie speist Gleichstrom ins Hochvoltbordnetz ein. Theoretisch wäre dazu kein zusätzlicher Wandler mehr nötig, da die Hochvoltbordnetzspannung an die Batteriespannung angepasst werden könnte. Jedoch variiert die Zellspannung der Batterie in Abhängigkeit vom Lade- und Belastungszustand. Dies führt dazu,

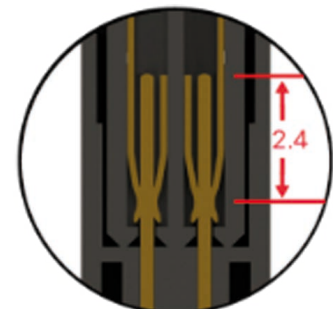


Bild 1: Übersteckbereich des One27

dass die an das Bordnetz angeschlossenen Wechsel- und Gleichrichter hohe Spannungsschwankungen aushalten müssen.

Der Einsatz von Komponenten mit solchen Eigenschaften würde nicht unerhebliche Mehrkosten bedeuten, weshalb zur Spannungsstabilisierung ein zusätzlicher Gleichstromwandler zwischen der Batterie und dem Hochvoltbordnetz eingesetzt wird. Dadurch können Kosten reduziert werden und in Abhängigkeit vom Fahrzyklus auch der Gesamtwirkungsgrad gesteigert werden. Des Weiteren haben Inverter diverse Schutzfunktionen zu erfüllen, um das Elektroauto und seine Komponenten vor Überlastung, Überspannung und Überhitzung zu schützen.

Insgesamt tragen Inverter dazu bei, dass das Elektroauto sicher, effizient und zuverlässig funktioniert und eine hohe Leistung erzielt.

## Anforderungen an Inverter

Inverter müssen vielerlei Anforderungen erfüllen. Hierzu gehört mitunter die Kompatibilität, Integrierbarkeit sowie die Effizienz. Das bedeu-

tet, die Inverter müssen kompatibel mit anderen Systemen im Elektroauto, wie Batterie, Elektromotor und Steuerungseinheit sein. Außerdem müssen Inverter einfach integrierbar sein, um den Aufbau des Elektroautos zu vereinfachen und Zeit und Kosten zu sparen. Zudem ist eine hohe Effizienz unerlässlich, um große Reichweiten zu ermöglichen.

Auch Zuverlässigkeit, Kosteneffektivität und der Überlastungsschutz müssen gegeben sein. Eine zuverlässige Funktionsweise ist erforderlich, um eine stabile Funktion für sicheres und unterbrechungsfreies Fahren garantieren zu können. Inverter müssen erschwinglich für die wirtschaftlichen Anforderungen des Elektroautos sein. Ebenfalls müssen Inverter mit Überlastungsschutz ausgestattet sein, um Überlastung und Überspannung zu vermeiden und das Elektroauto und seine Komponenten zu schützen.

Bzüglich technischer Anforderungen spielen die Temperaturbeständigkeit, die Kompaktheit, die Leistungsfähigkeit sowie die Robustheit eine zentrale Rolle.

## Merkmale

So müssen die Inverter:

- in einem weiten Temperaturbereich funktionieren und stabil sein, um in einem Fahrzeug eingesetzt zu werden
- platzsparend und leicht sein, denn jedes zusätzliche Gewicht mindert die Reichweite eines Elektroautos
- eine hohe Leistung bei der Strom- und Datenübertragung nachweisen, um den Bedürfnissen des Elektromotors und anderer Systeme zu entsprechen
- widerstandsfähig gegenüber Umwelteinflüssen, Schock und Vibrationen sowohl im Installations- und Montageprozess als auch für automatisiertes Fügen und im Betrieb sein.

## Anforderungen an Steckverbindersysteme

Inverter verbinden die unterschiedlichen Komponenten im Fahrzeug, wie den Batteriespeicher mit dem Elektromotor. Hierbei müssen die Inverter die oben aufgeführten Anforderungen erfüllen, um die Daten und Ströme in Echtzeit und zuverlässig zu übertragen.

Die Verbindungsfunktion zwischen den Leiterplatten innerhalb der Inverter kommt den Steckverbindern zu. Die Steckverbinder sollen die Signale, Daten und Ströme trotz der anspruchsvollen Umweltbedingungen zuverlässig, sicher, schnell und ohne Verluste übermitteln. Für die Steckverbindungen gelten daher vergleichbare Anforderungen an die Qualität.

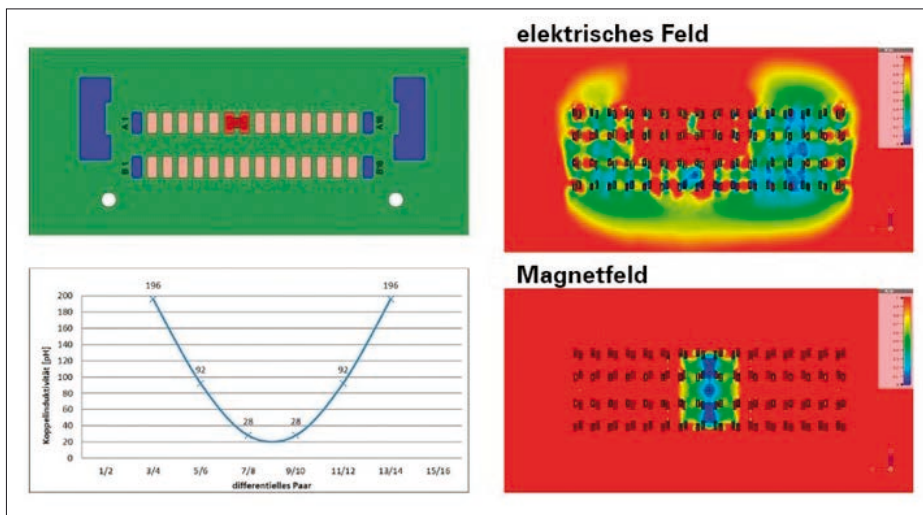
## Temperaturbeständigkeit

Die Materialien der Steckverbinder sollten hohe Temperaturen aushalten, da die Einsatzbedingungen im Auto dies fordern. Bei der Auswahl des richtigen Steckers stehen für den Isolierkörper eine Vielzahl an Kunststoffmaterialien zur Verfügung. Sehr gute Eigenschaften weist hier jedoch das Material LCP (Liquid Crystal Polymer) auf. Ein LCP-Isolierkörper besteht mit einer außerordentlichen Maß- sowie Wärmestabilität, einer hohen Steifigkeit, auch bei dünnwandigen Bauteilen und einem geringen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Aus der Brennbarkeitsklasse UL 94 V-0 resultieren Betriebstemperaturen bei Steckverbindern mit LCP-Isolierkörpern von  $-55\text{ °C}$  bis  $+125\text{ °C}$ .

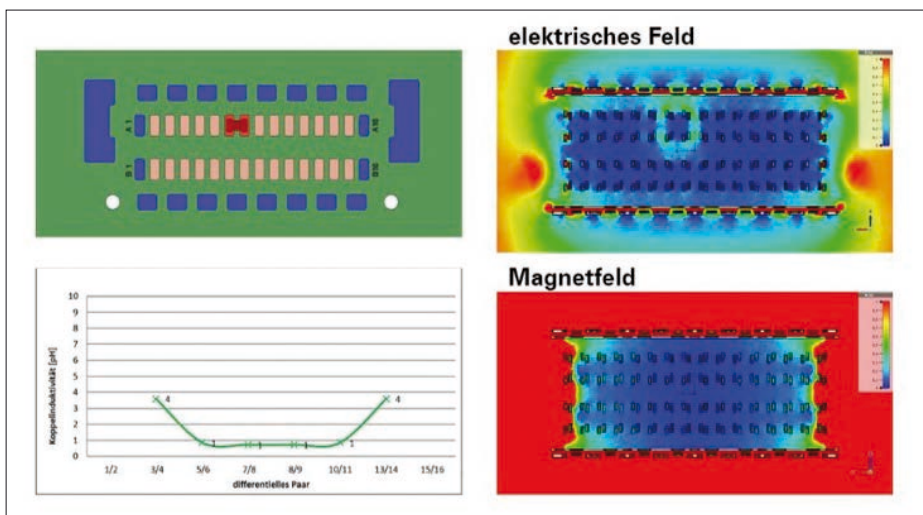
## Kompaktheit und Flexibilität

Steckverbinder mit einem kleinen Rastermaß eignen sich sehr gut für den Einsatz im Inverter, da sie platzsparend sind, nur wenig Bauraum auf der Leiterplatte benötigen und somit dem Anspruch an die Kompaktheit gerecht werden.

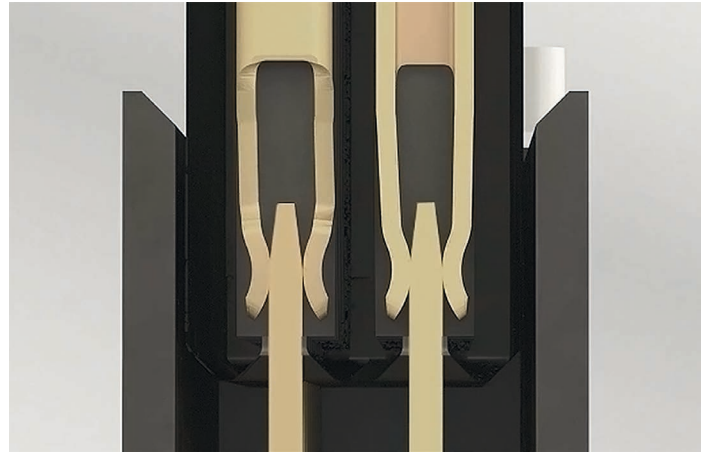
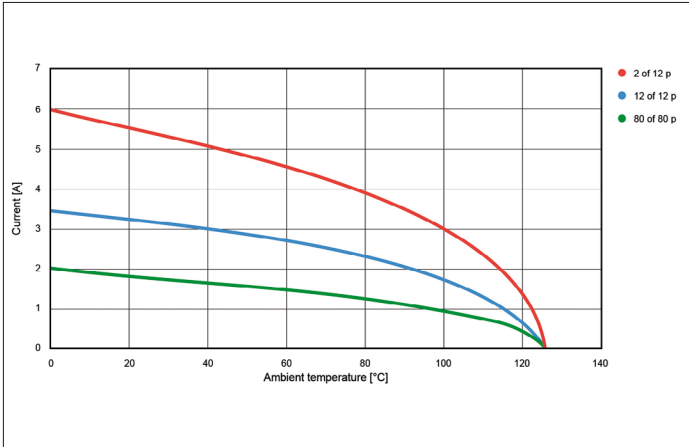
Eingesetzt werden hierfür beispielsweise Systeme mit einem Rastermaß von 1,27 mm,



**Bild 2a: Simulation eines ungeschirmten Steckverbinders**



**Bild 2b: Simulation eines geschirmten Steckverbinders**



**Bild 3: Beispiel Zero8 – Stromtragfähigkeit pro Kontakt in Abhängigkeit von Polzahl und Anzahl stromführender Kontakte.**

**Bild 4: Schematische Darstellung: doppelseitiger Federkontakt des One27.**

0,8 mm oder 0,5 mm. Aber nicht nur klein sollten die Stecker sein, sondern auch anpassungsfähig an die unterschiedlichsten Anforderungen. Dies betrifft beispielsweise die benötigten Bauhöhen, Polzahlen oder Leiterplattenanordnungen. Bei Steckverbindern wie dem One27 von ept, ermöglichen die Vielzahl der Bauformen die Verbindung von Leiterplatten in paralleler, horizontaler oder rechtwinkliger Anordnung sowie den Anschluss von Flachbandkabeln auf die Leiterplatte.



Der One27 ermöglicht eine stufenlose Realisierung horizontaler Leiterplattenabstände von 8 mm bis zu 20 mm. Dies wird ermöglicht durch die Ausführung des Steckgesichts mit einer Kontaktüberdeckung von 2,4 mm. Durch den Einsatz einer Kabelverbindung können je nach Anwendung Toleranzen in alle Richtungen ausgeglichen und individuell erforderliche Leiterplattenabstände realisiert werden.

## Leistungsfähigkeit

Gute Signalintegritätseigenschaften, welche für die Qualität der Datenübertragung von Sender zu Empfänger stehen, sowie der Schutz der Signale sind eine Grundvoraussetzung für den Einsatz in Invertern. Denn die vom Steckverbinder übertragenen Daten dienen dazu, dass der Inverter Daten intelligent und in Echtzeit an die gekoppelten Verbraucher übermitteln kann.

Die Qualität der Datenübertragung hängt von drei Kriterien ab. Das erste Kriterium ist der **Impedanzverlauf** eines Steckverbinders. Sobald sich im Übertragungsweg die Impedanz verändert, wird das Signal reflektiert, was die Qualität der Datenübertragung verschlechtert. Bereits eine Material- oder Geometrieänderung kann bewirken, dass die Impedanz schwankt.

Eine weitere Kennzahl bei der Datenübertragung ist die **Einfügedämpfung**, auch Insertion Loss genannt. Sie ist ein Maß dafür, wie stark ein Steckverbinder ein Signal abschwächt. Die Einfügedämpfung berechnet sich als Verhältnis zwischen am Bauteil einfallender und durchgelassener Signalleistung. Dieser Parameter hilft bei der Bewertung, ob der Empfänger ein Signal über den gesamten Übertragungsweg hinweg eindeutig identifizieren kann. Zieht man als Kriterium für die Datenrate beim Zero8 Steckverbinder von ept (SMT-Steckverbinder im Raster 0,8 mm mit ScaleX-Technologie) einen typischen Wert der Einfügedämpfung von -3 dB heran, ergibt sich bei 8 GHz eine Übertragungsgeschwindigkeit von mindestens 16 Gbit/s.

Als drittes Kriterium kann das **Übersprechen** bei der Signalübertragung herangezogen werden. Übersprechen ist die unerwünschte Beeinflussung eines Signals durch ein Signal auf einer anderen Leitung, wobei je nach Art der Beeinflussung in Nah- und Fernübersprechen unterschieden wird. Die Stärke des Übersprechens hängt maßgeblich von der Signal- und Massebelegung ab.

## EMV-Schutz

Die Signalintegritätseigenschaften eines Steckverbinders können durch einen EMV-Schutz (Elektromagnetische Verträglichkeit) deutlich verbessert werden. Elektromagnetische Verträglichkeit bedeutet die Fähigkeit eines technischen Gerätes, durch gewollte und ungewollte elektrische oder elektromagnetische Effekte nicht gestört zu werden oder andere zu stören. Hochfrequente Signale sind sehr empfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen. Bereits ein kleiner Impuls kann das Nutzsignal verfälschen. Elektromagnetische Störungen lassen sich bei Steckverbindern durch ein Schirmkonzept reduzieren. Die Koppelinduktivität simuliert den Steckverbinder sowohl als Störquelle oder als Störsenke. Anhand der farblichen Verläufe und den Werten der Koppelinduktivität kann man

die Wirkung des Schirmkonzeptes in den Bildern 2a und 2b deutlich erkennen.

Durch den Einsatz des geschirmten Zero8 Steckverbinders können Störquellen und Störsenken auf der Leiterplatte näher zueinander positioniert werden. Auch lassen sich dadurch höhere Leistungsklassen bei den vorgeschriebenen Burst- und Surge-Prüfungen des elektrischen Gerätes erreichen.

## Stromtragfähigkeit

Neben den Signalintegritätseigenschaften stellt auch die Stromtragfähigkeit eines Steckverbinders zur Übertragung der Leistung eine wichtige Kernkompetenz dar. Fließt ein elektrischer Strom durch einen Widerstand, führt dies zu Verlustleistung, welcher sich in Erwärmung des Materials äußert. Je höher dabei der Stromfluss, desto stärker erwärmt sich dabei auch der Leiter. Die Temperatur, die auf ein elektrisches Bauteil einwirkt, ist maßgeblich für dessen ordnungsgemäße Funktionsweise entscheidend, denn elektrische und mechanische Eigenschaften verändern sich in Abhängigkeit von thermischen Einflüssen.

Mithilfe von Strombelastbarkeits-Kurven kann man ermitteln, wie viel Strom bei einer gegebenen Umgebungstemperatur durch einen Kontakt geführt werden darf, um die maximale zulässige Grenztemperatur des Bauteils nicht zu überschreiten. Die folgende Derating-Kurve zeigt beispielhaft, wie sich beim Steckverbinder Zero8 in Abhängigkeit der Polzahl und Anzahl stromführender Kontakte unterschiedliche Stromangaben pro Kontakt ergeben.

Wie in Bild 3 zu sehen ist, erreicht ein Steckverbinder mit 12 Pins (blaue Kurve) eine bessere Stromtragfähigkeit im Vergleich zu einem Steckverbinder mit 80 Pins (grüne Kurve). Grund hierfür ist eine geringere Hotspot-Bildung im Inneren von Steckverbindern mit kleiner Polzahl: Hier entsteht weniger Wärme und diese kann besser verteilt werden. Noch besser wird die Wärme abgeleitet, wenn der Strom nur über einen kleinen Anteil der Kontakte geführt wird (rote Kurve).

## Isolierkörper

Um dauerhaft hohe Ströme führen zu können, muss der Isolierkörper eines Steckverbinders aus hitzebeständigem Material sein. Hierzu eignet sich ein wärmebeständiges LCP- oder PBT-Material. Ein konstanter Kontaktquerschnitt ermöglicht darüber hinaus, dass hohe Ströme über den Kontakt geführt werden, ohne eine partielle Überhitzung des Kontaktes zu riskieren. Die Vermeidung von Querschnittsänderungen wirkt sich außerdem positiv auf den Impedanzverlauf und damit auf die HF-Eigenschaften eines Steckers aus.

## Robustheit

Der Einsatz im Automobil fordert auch die Robustheit eines Steckverbinders heraus, sowohl im Betrieb als auch in der Montage. Die Widerstandsfähigkeit von Steckverbindern kann nicht pauschal in einem Wert ausgedrückt werden, sondern sie kann sich auf gänzlich unterschiedliche Aspekte der Verbindungstechnik beziehen.

Bei SMT-Steckverbindern zeigt sich die Robustheit eines Steckverbinders beispielsweise in der Ausführung des Kontaktprinzips zwischen Messer- und Federleiste mit einer doppelten Kontaktierung (Bild 4), der Qualität der Kontaktbeschichtung für einen geringen Oberflächenabrieb oder den Lötfüßen, welche für eine optimale Meniskusbildung ausgelegt werden müssen. Auch bei der Verarbeitung und Handhabung von SMT-Steckverbindern kann es darauf ankommen, dass diese möglichst robust sind. Beim Stecken selbst ermöglichen Einführschrägen und ein großzügig ausgelegter Fangbereich einen hohen Toleranzausgleich und dienen dazu, die Handhabung von Steckverbindern möglichst einfach zu gestalten.

## Einpresstechnik

Steckverbinder sind in einem Inverter hohen Schock und Vibrationen ausgesetzt, da diese in der Regel motornah angebracht werden. Schock und Vibrationen gefährden den konstanten und störungsfreien Kontakt zwischen Leiterplatte und

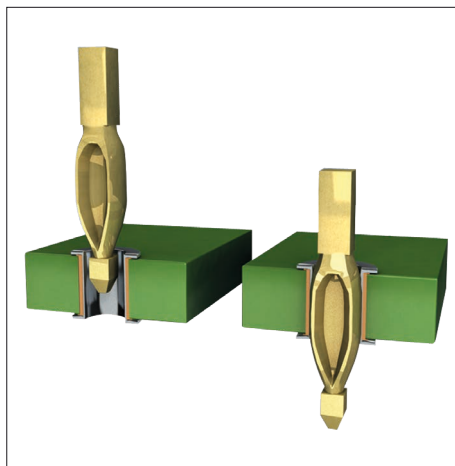
Steckverbinder sowie auch zwischen Steckverbindungen untereinander. Eine zuverlässige und haltbare Kontaktierung zwischen einem Steckverbinder und der Leiterplatte erreicht man z. B. durch Einpresstechnik (Bild 5). Mit der Einpresstechnik wird das Ziel verfolgt, möglichst hohe Haltekräfte zwischen Steckverbinder und Leiterplatte zu realisieren. Denn die Haltekräfte entscheiden über die mechanische Verbindung, die wiederum Schock und Vibration trotzen muss. Diese Anschlusstechnik ist ein bewährtes Verfahren, bei dem ein Einpressstift in ein Leiterplattenloch gepresst wird und durch mechanische Verformung des Stiftes eine gasdichte, korrosionsfreie, niederohmige und elektrisch sicher leitende mechanische Verbindung entsteht, welche sich auch für den Verguss eignet. Die ept GmbH bietet Katalogprodukte sowie auch kundenspezifische Lösungen mit dieser Verarbeitungstechnik an.

## Mechanische stabile Verbindung

Bei diesem Verfahren hat der Einpressstift eine größere Diagonale als der Lochdurchmesser der Leiterplatte. Der Steckverbinderstift ist in der Einpresszone flexibel, damit die Leiterplatte durch die physikalischen Kräfte beim Einpressvorgang nicht verformt oder beschädigt wird. Die Verformung beschränkt sich also auf die Einpresszone. Während dem Einpressvorgang entsteht eine Kaltverschweißung zwischen dem Kontaktstift und dem metallisierten Leiterplattenloch, welche die Verbindung mechanisch stark belastbar macht, ohne die Leiterplatte thermisch mit einem Lötvorgang zu belasten. Sie wird darüber hinaus in der DIN EN 60352-5 spezifiziert und bleibt auch bei sehr hohen mechanischen und thermischen Belastungen, wie Vibration, Biegung und starken Temperaturwechseln kontaktsicher und hält Schockbelastungen von bis zu 200g stand.

Durch die Einpresstechnik zeichnet sich der Flexilink Steckverbinder von ept mit besonderen Qualitätsmerkmalen aus:

- Geringer Düseneffekt (d.h. Verformung der Leiterbahn)
- Vermeidung kalter Lötstellen und Kurzschlüsse durch Lötbrücken
- Hohe Festigkeit und Robustheit bei gleichzeitig hervorragenden Federeigenschaften
- Prozesssichere Verarbeitbarkeit durch optimale Abstimmung auf die Verarbeitungstechnik
- Zuverlässige Reproduzierbarkeit in der Herstellung durch geprägte Formgebung
- Erfüllt höchste Anforderungen von führenden Herstellern in der Automobilelektronik
- Höchste Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit milliardenfach bewährt. ◀



**Bild 5: Der Einpressvorgang**