

# Steckverbinderkriterien im automatisierten Fahren

VERFASST VON



**Dominik Dotzer**  
ist Produktmanager  
bei ept in Peiting.

Die Analyse von Daten für das automatisierte Fahren setzt deren unterbrechungsfreie Übertragung in Echtzeit voraus: von der Sensorik über Board-to-Board-Steckverbinder bis zu den Steuersystemen im Fahrzeug. Die stabile Datenkette gewährleistet sämtliche Funktionen in einem automatisiert agierenden System. ept verdeutlicht die Komplexität einer zuverlässigen und effizienten Datenübertragung anhand der wichtigsten Kriterien für die Steckverbinder.

**Sicher, zuverlässig, funktional** – die zentralen Forderungen des automatisierten Fahrens gelten bereits für die kleinsten Bauteile. Voraussetzung ist das Zusammenspiel verschiedener Sensoren und Steuergeräte; Board-to-Board-Steckverbindern kommt dabei die Aufgabe der zuverlässigen Übertragung von Leistung und Daten zu. Ob Spurhalteassistent, adaptive Geschwindigkeitsregelung oder Einparkhilfe – all diese Fahrerassistenzfunktionen nutzen eine Vielzahl von Sensoren sowie Computer, die deren Daten auswerten und Steuerbefehle für das Fahrzeug erstellen.

Für automatisierte Fahrfunktionen kommen Ultraschall-, Radar- und Lidar-

sensoren sowie Kameras zum Einsatz. Die Zahl der benötigten Messaufnehmer richtet sich dabei immer nach dem Niveau der Automatisierung. So benötigt man für SAE-Level 2 im Schnitt lediglich 16 Sensoren (fünf Kameras, acht Ultraschall- und drei Radarsensoren), während Level 3 bereits 26 Sensoren (acht Kameras, zwölf Ultraschall-, fünf Radarsensoren und einen Lidarsensor) erfordert. Bei Level 4 ist die Anzahl der benötigten Sensoren bisher schwer abzuschätzen, da es bisher nur Pilotprojekte und wenige gesetzliche Vorschriften gibt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass für dieses Niveau mindestens 38 Sensoren nötig sind, wobei

vor allem die Zahl der Lidarsensoren stark ansteigt. Vermutlich werden in derartigen Systemen zwölf Kameras, ebensoviele Ultraschall-, sechs Radar- und acht Lidarsensoren verbaut sein.

Die Zahl der Sensoren nimmt also exponentiell mit dem Automatisierungslevel des Fahrens zu. Mit steigendem Automatisierungsgrad spielen dann auch kostenintensive Technologien wie 4-D-Radar und Lidar eine immer größere Rolle. Jeder Sensor hat dabei seine eigenen Stärken und Schwächen. Daher erzielt man die besten Ergebnisse, wenn alle vier Typen kombiniert werden, um die jeweiligen Stärken nutzen und die Schwächen mittels Überlagern der Sicht-

felder kompensieren zu können. Für diesen Ansatz hat sich der Begriff der Sensorfusion etabliert.

In verschiedenen Fahrzeugen sind die Sensoren und Steuergeräte auf unterschiedliche Art und Weise miteinander verkabelt. Zurzeit erfährt diese Verdrahtungsstruktur, die E/E-Architektur, grundlegende Veränderungen. Der Trend geht weg von dezentralen, durch viele einzelne Steuergeräte geprägte, hin zu zonalen Architekturen, in denen wenige Hochleistungsrechner die Aufgaben mehrerer Steuergeräte übernehmen. Dabei kommen verschiedene Übertragungstechnologien zum Einsatz, beispielsweise LIN, CAN, Flexray, Automotive Ethernet und SerDes. Sie unterscheiden sich unter anderem in der unterstützten Bandbreite. In Zukunft werden vor allem CAN, LIN und Automotive Ethernet vorherrschend sein.

### HIGHSPEED-DATENÜBERTRAGUNG

Die Geschwindigkeiten der Datenübertragung variieren in Systemen für automatisiertes Fahren stark. Beispielsweise gibt es bei Automotive Ethernet Standards wie 1000Base-T1 (1 Gbit/s), aber auch 10GBase-T1 (10 Gbit/s), die für große Datenmengen bei Sensoren und Kameras gebraucht werden. Auch bei Flexray wird für sicherheitskritische Anwendungen bereits mit bis zu 10 Mbit/s übertragen.

Ein wichtiger Faktor bei der Gestaltung schneller digitaler Signalübertragungssysteme ist die Impedanz eines Steckverbinders. Schwankt diese, so können Resonanzen in Verlusten bei der Signalübertragung resultieren. Dabei stellt ein Steckverbinder aufgrund seiner Geometrie immer ein potenzielles Risiko für Impedanzschwankungen dar, die unter anderem von Material- oder Geometrieänderungen hervorgerufen werden. Im besten Fall sollte ein Steckverbinder eine auf die jeweilige Applikation abgestimmte Impedanz besitzen – in der Regel 85 oder 100  $\Omega$ .

Die Impedanz wird durch induktive und kapazitive Eigenschaften bestimmt, die von Größe, Anordnung und Design des Pins abhängen. Vor allem Querschnittsveränderungen wirken sich negativ aus, weshalb sie so weit wie möglich minimiert werden müssen. Des Weiteren können auch Dielektrika – elektrisch schwach oder nicht leitende Substanzen – in der Nähe

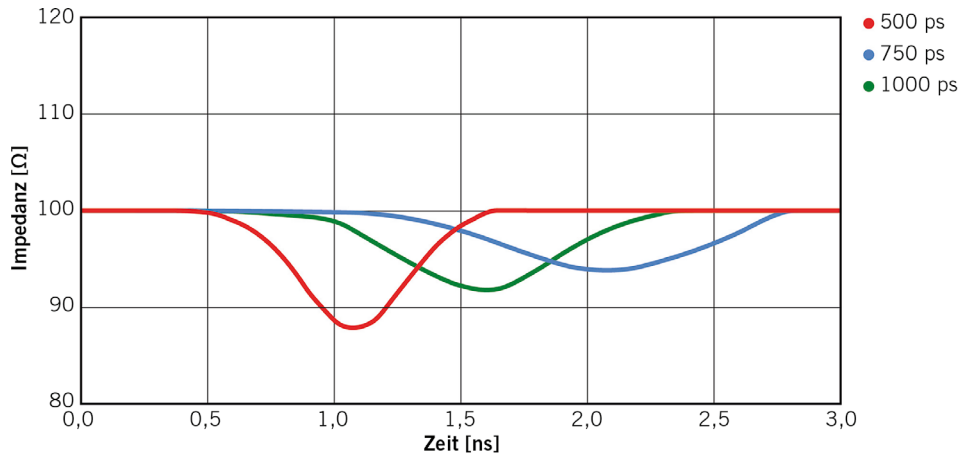


BILD 1 Impedanzverlauf des Steckverbinders Zero8 in Abhängigkeit von der Rise Time (© ept)

des Signalpfads negative Auswirkungen haben. Daher ist die Auswahl des richtigen Isolierkörpermaterials ebenso wichtig. Darüber hinaus gibt es Beeinflussungen durch Kopplungsverluste am Kontaktpunkt von Messer und Feder. Zuletzt können Impedanzschwankungen durch überstehende Leitungselemente, die als Antenne wirken, hervorgerufen werden. All diese Effekte werden unter dem Begriff der Einfügedämpfung (Insertion Loss, Verhältnis von ausgehendem zu eingehendem Signal) zusammengefasst. Ergänzend dazu gibt es die Rückflussdämpfung (Return Loss), die den Anteil des zurückgeworfenen am zu übertragenden Signal beschreibt.

Doch nicht nur die Kontaktgeometrie des Steckverbinders, sondern auch die sogenannte Rise Time nimmt direkten Einfluss auf den Impedanzverlauf und

somit auf die Qualität der Signalübertragung, BILD 1. Digitale Systeme operieren zwar idealisiert auf rechteckförmigen Signalen, die ihren Zustand unmittelbar wechseln können. In der Realität benötigt der Zustandswechsel jedoch Zeit. Die Rise Time ist die Zeit, in der das Signal zwischen zwei definierten Amplitudenwerten, in der Regel zwischen 10 und 90 %, liegt. Je geringer die Rise Time, desto größer die Bandbreite.

Signalreflexionen infolge von Impedanzabweichungen sind Verluste, die mittels Insertion-Loss-Diagramm sichtbar werden, BILD 2. Die Einfügedämpfung gibt die Abschwächung des Signals durch den Steckverbinder als Verhältnis von durchgelassenem zu einfallendem Signal wieder. Hierzu ein Beispiel: Zieht man als Kriterium für die Datenrate des Steckverbinders Zero8 einen typischen

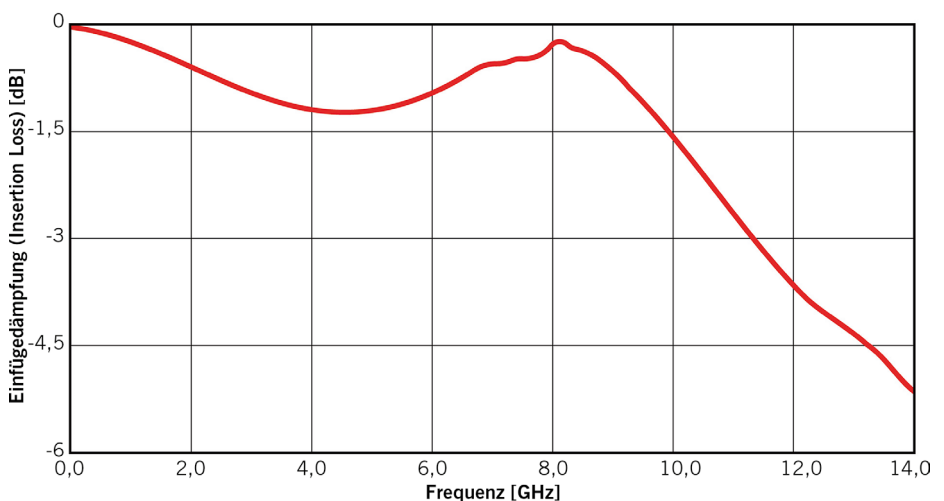


BILD 2 Insertion Loss in Abhängigkeit von der Frequenz am Beispiel des Zero8 (© ept)

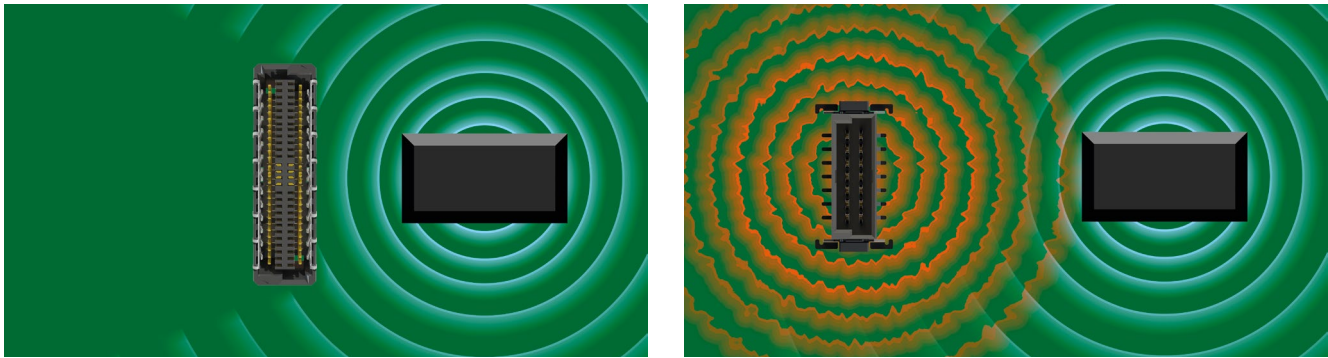


BILD 3 Elektromagnetische Belastung eines geschirmten (links) und eines ungeschirmten Steckverbinders (rechts), Prinzipdarstellung (© ept)

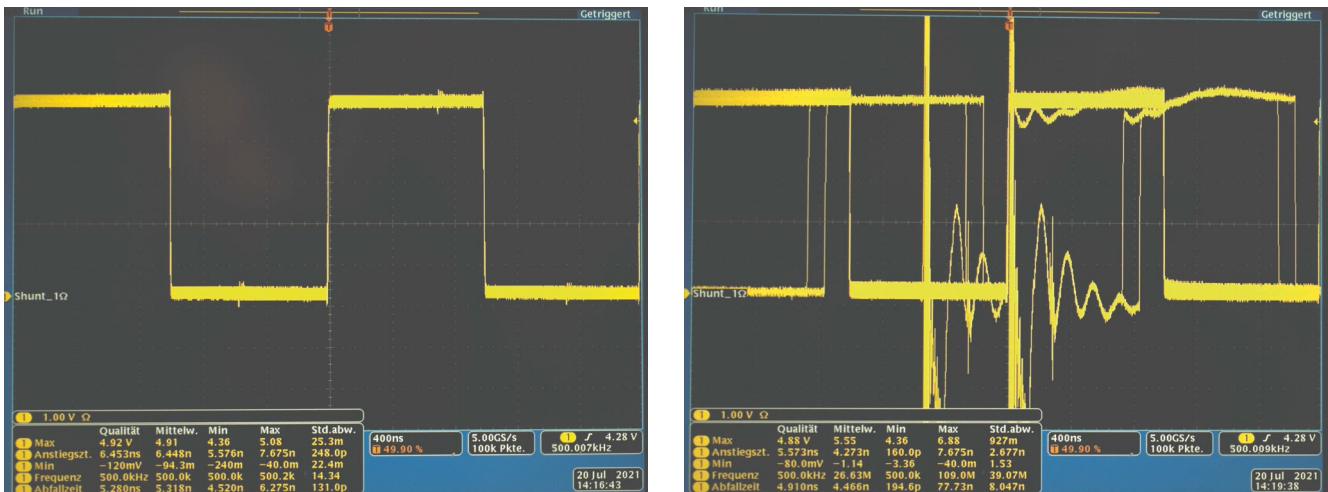


BILD 4 Beispielhafte Störungen auf einem Signal bei geschirmtem (links) und ungeschirmtem Steckverbinder (rechts) (© ept)

Wert der Einfügedämpfung von -3 dB heran, ergibt sich bei 11 GHz eine Datenrate von 22 Gbit/s. Eine Einfügedämpfung von -3 dB entspricht einem Signalverlust von 30 % beziehungsweise einem Leistungsverlust von 50 %.

**EFFIZIENTER EMV-SCHUTZ**

Aufgrund einer fortschreitenden Miniaturisierung der Baugruppen ist bei der Übertragung großer Datenmengen der EMV-Schutz wichtig: Denn die hochfrequenten Signale sind besonders anfällig für eine Störung durch ungewollte elektromagnetische Beeinflussungen. Schon kleinste Störquellen reichen aus, um die Datenübertragung weitreichend zu verfälschen. Im automatisierten Fahren kann dies dazu führen, dass Messsignale der Sensoren falsch bewertet und somit unpassende Steuerbefehle erzeugt werden – ein bezüglich der Sicherheit absolut unzulässiges Szenario.

Abhilfe schaffen geschirmte Steckverbinder, **BILD 3** und **BILD 4**. Ein Steckverbinder kann als Störsenke, aber auch als Störquelle wirken. Er kann also zum einen durch andere Komponenten der Baugruppe beeinflusst werden, zum anderen aber auch selbst elektromagnetisch auf andere Komponenten einwirken. Eine Schirmung reduziert beide Effekte auf ein Hundertstel und weniger.

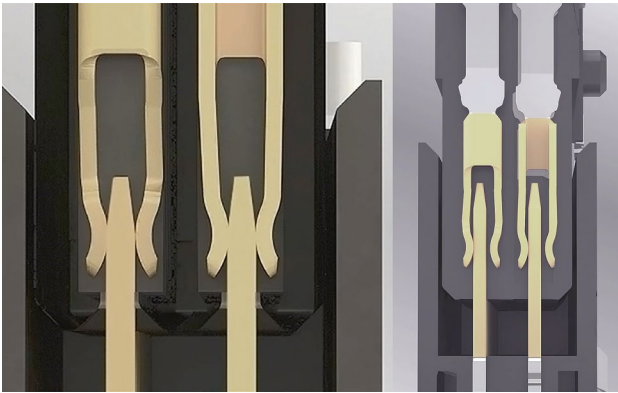
Die Koppelinduktivität  $L_K$  (Einheit: Henry, H) ist eine geeignete Größe, um das EMV-Verhalten eines Steckverbinders in Bezug sowohl auf die Störfestigkeit – als Senke – als auch auf die Störaussendung – als Quelle – zu charakterisieren. Anhand eines einfachen Messaufbaus kann die Koppelinduktivität leicht ermittelt werden. Sie ist jedoch kein Maß, das für den gesamten Steckverbinder gleichermaßen gilt, denn sowohl die Signalbelegung am Steckverbinder als auch dessen Geometrie beeinflussen den Wert.

**ROBUSTHEIT DER VERBINDUNG**

Mechanische Einwirkungen wie Stöße und Vibrationen gefährden die Stabilität der Datenübertragung ebenso wie chemische und thermische Umwelteinflüsse durch Extremtemperaturen, starke Temperaturschwankungen, Schadgas, Feuchtigkeit und Schmutz. Die Kontaktfläche hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Lebensdauer des Steckverbinders, denn im Betrieb treten Mikrobewegungen zwischen den Teilen der Komponente auf, die auf Dauer zu einem Oberflächenabrieb führen – und so zu einem erhöhten Übergangswiderstand, der wiederum die Effektivität der Signalübertragung beeinträchtigt. Eine hochwertige und haltbare Kontaktbeschichtung hilft, diesen Abrieb auf ein Minimum zu reduzieren.

Ein weiterer Einflussfaktor ist das Kontaktsystem: Anstelle nur eines Kontakts von Messer und Feder leistet eine

**BILD 5** Doppelseitiger Federkontakt ohne (links) und mit Schockeinwirkung (rechts) (© ept)



doppelseitige Federleiste gute Dienste beim autonomen Fahren, da zu jedem Zeitpunkt, unabhängig von äußeren Einflüssen, immer mindestens ein Kontaktpunkt garantiert ist, **BILD 5**. Noch robuster wird es mit einem genderneutralen Kontaktsystem, bei dem beide Steckerhälften über eine identische Kontaktgeometrie bestehend aus einer Feder und einem Messer verfügen, **BILD 6**. Die Kontakte verschränken sich beim Stecken ineinander und sorgen so für größtmögliche Kontaktsicherheit.

Noch robuster ist ein einteiliger Steckverbinder: Der Verzicht auf einen vulnerablen Kontaktbereich ermöglicht dabei nicht nur die höchste Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse, sondern auch Komponentenschutzverfahren wie Vergießen. Per Einpresstechnik erfolgt der Anschluss, bei dem ein Einpressstift in ein durchkontaktiertes Loch in der Leiterplatte gepresst wird. Dabei kommt es zu Kaltverschweißungen zwischen der Kupferhülse und der Einpresszone.

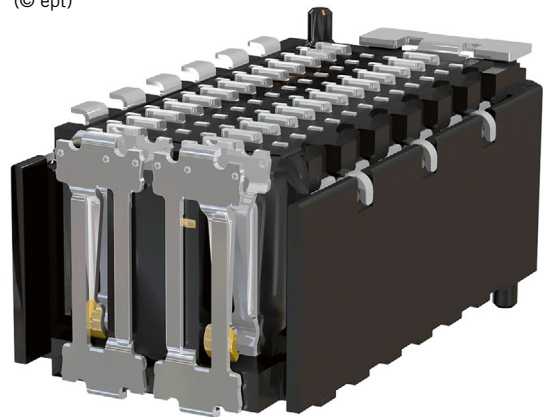
So entsteht eine gasdichte, vergießbare Verbindung mit der Leiterplatte, die im Vergleich zu automatisiert gelöteten Steckverbindern eine zehnmal bessere Ausfallrate bietet.

#### FORTSCHREITENDE MINIATURISIERUNG

Im begrenzten Bauraum eines Automobils ist wenig Platz für Sensoren und Steuergeräte. Für die Hersteller von Steckverbindern folgt daraus die Forderung, die Maße ihrer Produkte bei gleicher oder gar höherer Leistung noch mehr zu reduzieren, **BILD 7**. Vorteilhaft ist dabei die Surface-Mount-Technologie (SMT), denn sie ermöglicht im Gegensatz zur Einpresstechnik ein deutlich kleineres Raster sowie eine beidseitige Bestückung der Leiterplatte.

Die Tendenz, in den Baugruppen immer mehr und immer kleinere Steckverbinder zu verbauen, hat zur Konsequenz, dass die Toleranzketten länger

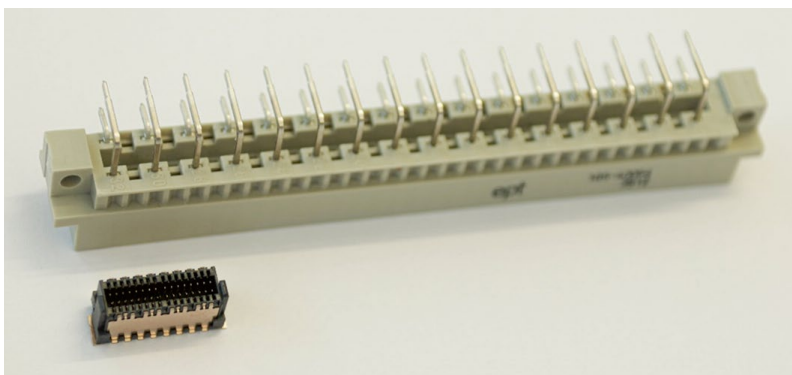
**BILD 6** Das genderneutrale Kontaktsystem des Zero8-Steckverbinders (© ept)



werden und die Steckverbinder sowohl bei der Montage als auch im Betrieb immer größere Toleranzen ausgleichen müssen. Hier kommen Floating-Steckverbinder ins Spiel, die mit einem mehrteiligen Isolierkörper und ausgeklügeltem Kontaktdesign eine ausgleichende Bewegung innerhalb des Steckverbinders ermöglichen. Sie hat auch zur Folge, dass Stöße und Vibrationen besser absorbiert werden, womit das Risiko von Kontaktunterbrechungen oder elektrischen Fehlfunktionen sinkt.

#### AUSBLICK

Künftig wird das automatisierte Fahren eng mit der Weiterentwicklung von Datentransfer-, Wireless- und Kommunikationstechnologien verbunden sein. Schlüsselaspekte wie 5G-Konnektivität, Cybersicherheit, V2X-Kommunikation sowie Edge Computing und Blockchain-Technologie werden die Datenübertragung maßgeblich prägen. Diese Tendenzen werden zunehmend von der Integration auf Chipebene (System-on-Chip, SoC) wie auch modularen Sensor-Arrays beeinflusst. Verbesserte Steckverbinder-Materialien und optimierte Designs mit höherer Packungsdichte und verbesserter Signalintegrität sind die Basis für weitere Innovationen, die mit den physikalischen Eigenschaften, wie Wärmeentwicklung und elektromagnetischen Interferenzen, in Einklang zu bringen sind.



**BILD 7** Ein alter DIN-Stecker der Reihe D im Raster 5,08 mm und darunter der neue Zero8 im Raster 0,8 mm (© ept)



**READ THE ENGLISH E-MAGAZINE**

Test now for 30 days free of charge:  
[www.ATZelectronics-worldwide.com](http://www.ATZelectronics-worldwide.com)