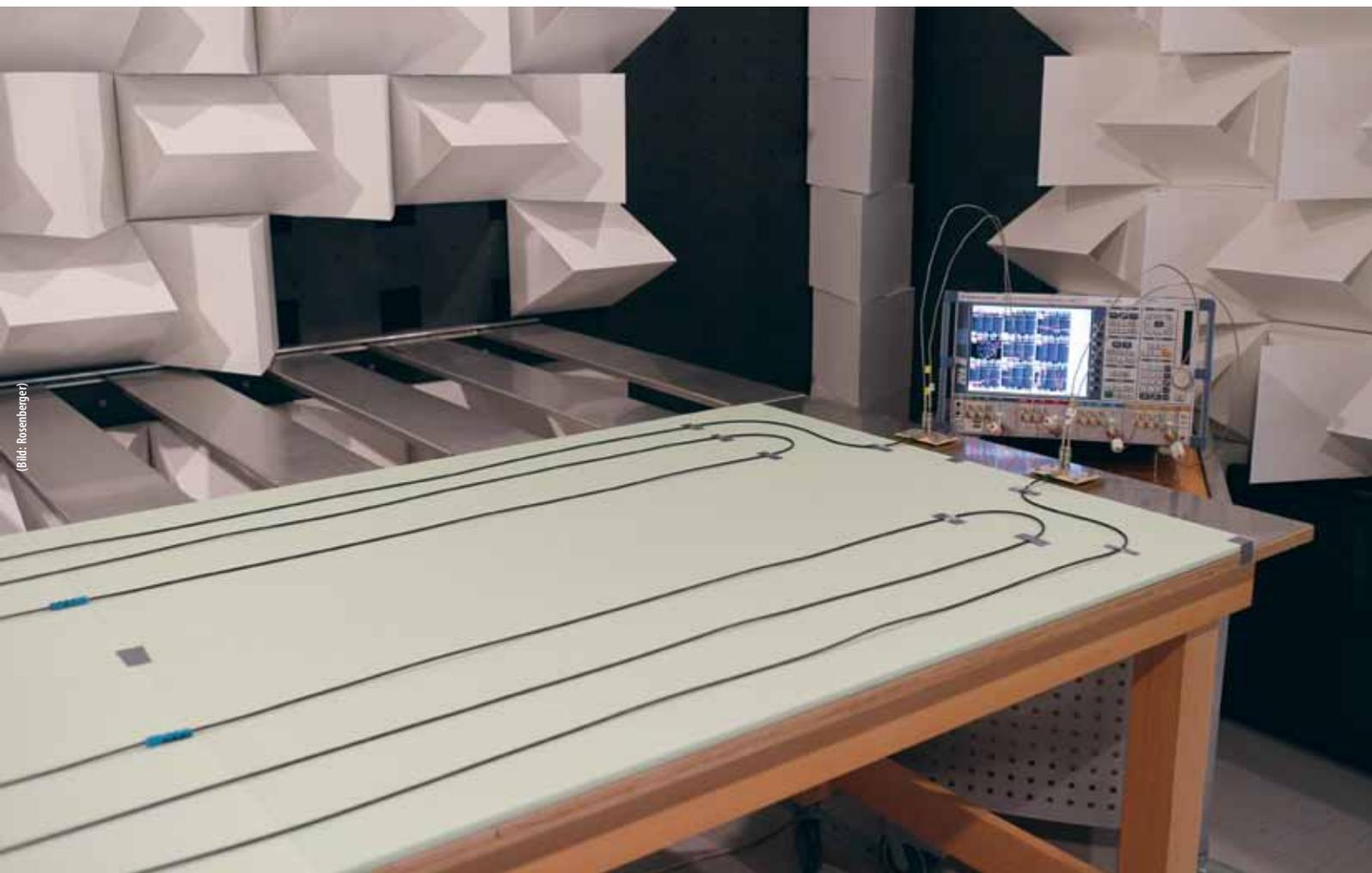


ethernet

Fachmedium für professionelle Automobilelektronik



Steckverbinder und Kabel für Ethernet:

Geprüfte Performance

Auch wenn sich die Einführung von Ethernet-Systemen im großen Maßstab gegenüber den ersten Prognosen etwas verzögert, sind sich OEMs und Analysten einig: Ethernet-Systeme werden in den kommenden Fahrzeuggenerationen in wachsendem Maße verbaut. Nur durch die Vernetzung von Steuergeräten und Sensoren lassen sich weitere Innovationen in

Bei einem neu entwickelten Kontaktsystem galt es, strenge Anforderungen sowohl hinsichtlich elektrischer und mechanischer Eigenschaften als auch bezüglich der Konfektion zu berücksichtigen und in einem Ethernet-Übertragungssystem für 100BASE-T1 (OABR) und 1000BASE-T1 umzusetzen. Wie gut diese Ziele erreicht wurden, zeigen umfangreiche Tests.

Von Thomas Müller, Dr. Gunnar Armbrrecht und Martin Zebhauser

den Bereichen Fahrerassistenzsysteme sowie Infotainment realisieren. Entsprechend interessant ist der Markt für Automotive-Ethernet-Lösungen, dem sich auch Konfektionäre, Steckverbinder- und Kabelhersteller mit vollem Engagement widmen.

Stand der Normung

Die im Rahmen der OPEN Alliance geleisteten Vorarbeiten, um den Automotive-Anforderungen an Ethernet-Systeme gerecht zu werden, resultieren nun in den zwei offiziellen IEEE-Standards 100BASE-T1 (100 Mbit/s basierend auf BroadR-Reach-Technologie) sowie 1000BASE-T1 (1 Gbit/s).

erhältlichen 1000BASE-T1-PHYs zu testen und so das Zusammenspiel der unterschiedlichen Systeme sicherzustellen.

Wachsender Bandbreitenbedarf

Neben den Vorteilen, die die Vernetzung des Fahrzeuges auf Basis des Ethernet-Protokolls bietet, ist es das Ziel, ungeschirmte Twisted-Pair-Leitungen (UTP) für beide Datenraten zu verwenden, um gegenüber etablierten geschirmten Systemen wie HSD und FAK-RA einen Bauraum-, Gewichts- und ggf. auch Kostenvorteil zu erlangen. Da sowohl 100BASE-T1 als auch 1000BASE-T1 auf mehrwertiger PAM-3-Übertragung

und der verwendeten Komponenten wie Steckverbinder und Kabel bestimmt.

Vom Einzelkontakt zur Systemlösung

In der Industrie besteht bereits jetzt weitgehend Einigkeit darüber, dass Systeme basierend auf Einzelkontakten in Verbindung mit verdrehten Adern den Qualitätsanforderungen an ein Übertragungssystem bis 600 MHz nicht gerecht werden. Daher wurde von Rosenberger das Kontaktsystem MTD (Modular Twisted-Pair Data) für die ungeschirmte Übertragung von Ethernet entwickelt, das für den Einsatz sowohl mit 100 Mbit/s als auch mit 1 Gbit/s geeignet ist und den Übertragungskanal inkl. Steckverbindern, Kabel und Übergang auf die Leiterplatte abdeckt.

In enger Zusammenarbeit mit OEMs, führenden Kabelherstellern und Konfektionären wurden Anforderungen hinsichtlich elektrischer und mechanischer Eigenschaften sowie Konfektion erfasst und in MTD umgesetzt. Dabei zu berücksichtigende Aspekte umfassen die Bereiche elektrische und mechanische Eigenschaften sowie Konfektion (Bild 1).

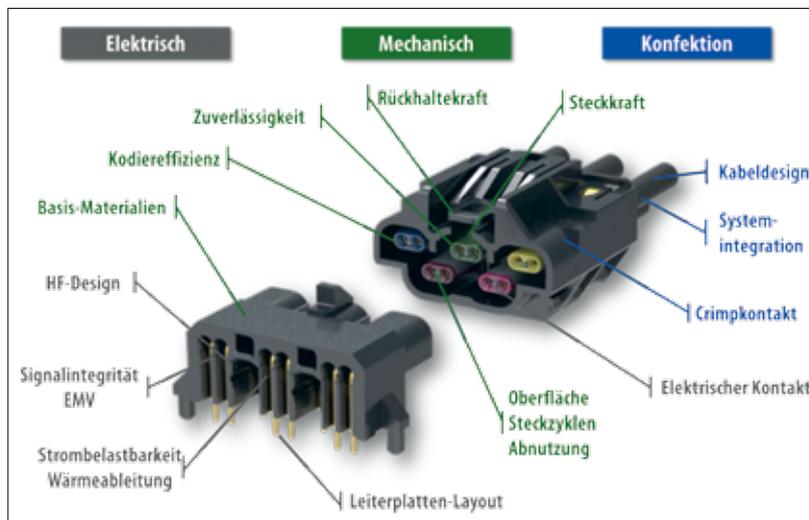


Bild 1. Beim MTD-System wurden Anforderungen aus verschiedenen Bereichen berücksichtigt.

(Bild: Rosenberger)

Nachdem für 100-Mbit/s-Ethernet bereits Anforderungen an den Gesamtkanal sowie einzelne Komponenten definiert wurden, folgt dieser Schritt für 1000BASE-T1 nun im Rahmen des OPEN Alliance TC9. Grundsätzlich geht es darum, aus den Anforderungen an den Gesamtkanal, der in der IEEE-Norm definiert wurde, Grenzwerte für die Komponenten Steckverbinder und Kabel sowie damit einhergehende Messverfahren zu definieren. Rosenberger beteiligt sich aktiv an der Standardisierung in beiden Gremien und bringt sich dort mit Fachkenntnis aus den Bereichen Automotive-Steckverbinder-Design, Signalintegrität und EMV ein. Ausgehend von den Labormessungen schließt sich eine Evaluierungsphase an, in der es gilt, die Komponenten in der realen Verbausituation auf Fahrzeugebene und in Verbindung mit dann

basieren, verzehnfacht sich für 1000BASE-T1 die benötigte Bandbreite auf ca. 600 MHz – also in dem Maße, wie sich die Datenrate erhöht.

Dies führt dazu, dass sich Frequenzbereiche, die für die Ethernet-Datenübertragung genutzt werden, in zunehmendem Maße mit den Empfangs- und Sendefrequenzbereichen anderer Funkdienste im Fahrzeug überlagern. Ein Beispiel hierfür ist der Frequenzbereich für FM-Radioempfang, der ebenfalls durch Gigabit-Ethernet genutzt wird. Das EMV-Verhalten ist dabei das Schlüsselement, das darüber entscheidet, ob ungeschirmte Systeme im Fahrzeug eingesetzt werden können. Dieses wird im Wesentlichen durch die elektrischen Eigenschaften des Übertragungskanal-

Mechanische Eigenschaften

MTD ist ein Stecksystem für ungeschirmte Twisted-Pair-Leitungen (UTP), das die elektrischen Kanalanforderungen sowohl für 100 Mbit/s als auch Gigabit-Ethernet erfüllt. Es ist platzsparend, leicht und robust und erfüllt die geltenden mechanischen und umweltbezogenen Anforderungen an Automotive-Stecksysteme (z.B. US-CAR oder LV-214). Des Weiteren bietet es eine skalierbare Anzahl an Steckplätzen, die sowohl mechanisch als auch farblich kodiert sein können.

Das MTD-Stecksystem ist für 0,14-mm²-Mantelleitungen optimiert und erforder-

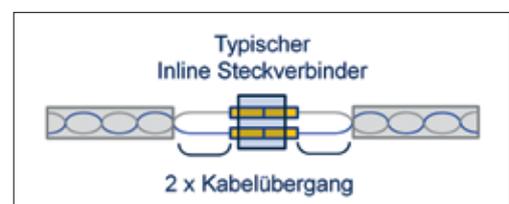


Bild 2. Schematische Darstellung eines Inline-Steckverbinders.

(Bild: Rosenberger)

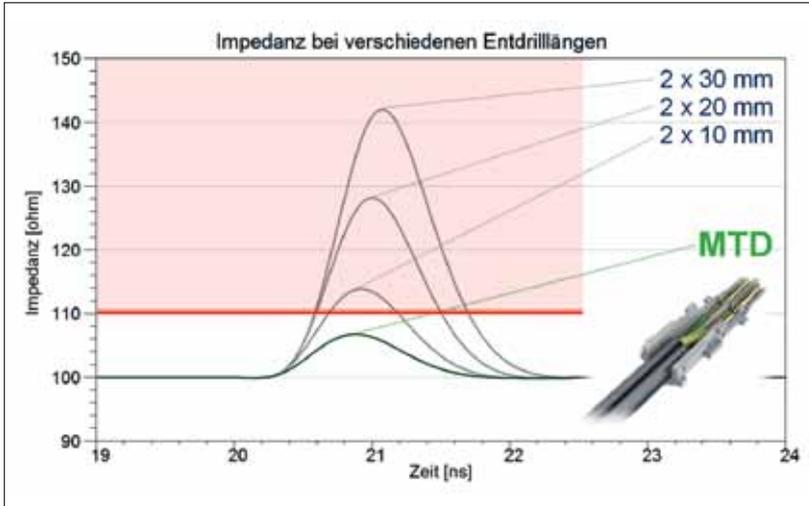


Bild 3. Optimierter Kabelübergang beim MTD-System.

(Bild: Rosenberger)

dert keine speziellen Kupferlegierungen, was unter anderem durch eine integrierte Zugentlastung vom Kabelmantel auf das Steckverbindergehäuse ermöglicht wird.

Elektrische Eigenschaften

Beim elektrischen Design wurden die Punkte Anpassung, Symmetrie, Einfügedämpfung und Übersprechen optimiert, um auf kleinem Bauraum beste elektrische Eigenschaften zu erreichen.

Bei der bidirektionalen Übertragung über ein einzelnes differenzielles Paar arbeitet jeder Ethernet-Chip gleichzeitig als Sender und Empfänger. Nicht Impedanz-angepasste Bereiche entlang des Übertragungskanals stellen elektrische Störstellen dar, die zu ungewünschten Reflexionen führen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist der Übergangsbereich von den Kontakten eines Steckverbinders auf das Kabel, in dem der Mantel abisoliert werden muss und die einzelnen Adern des Paares entdrillt werden. Bild 2 zeigt die systematische Darstellung eines typischen Inline-Steckverbinders, in dem zwei dieser entdrillten Bereiche auf kleinem Raum aufeinander folgen.

Bild 3 zeigt die Impedanz dieser Anordnung abhängig von der Entdrilllänge bei einer Anstiegszeit von 700 ps, was einer Bandbreite von etwa 500 MHz entspricht. Bereits bei einer entdrillten Länge von 2 x 10 mm wird die für 100-Mbit/s-Ethernet geforderte maximale Impedanz von 110 Ohm überschritten. Für beste Performance wurde daher bei MTD die Länge des Kabelübergangs minimiert und reproduzier-

bar in das Steckergehäuse integriert, wie in Bild 3 dargestellt.

Aufwendige Messungen

Messungen an Automotive-Ethernet-Komponenten erfordern hochwertige Messtechnik sowie Kenntnisse im Umgang mit vektoriiellen Netzwerkanalysatoren (VNA). Um belastbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, sind eine präzise Kalibrierung, phasenstabile Messkabel sowie spezielle Messadaptierungen auf Koaxialsteckverbinder (z.B. SMA) notwendig. Bei Messungen am Gesamtkanal kommt bei Rosenberger ein komplexer Messaufbau zum Einsatz, bestehend aus 15 m Leitung mit vier Inline-Steckverbindern sowie Leiterplattensteckverbindern, der

sowohl für 100BASE-T1 als auch für 1000BASE-T1 Verwendung findet. Der Prüfling befindet sich dabei jeweils in 10 mm Abstand über leitender Grundfläche.

Bei der Überprüfung der Anpassung des Gesamtkanals gegenüber den Grenzwertlinien für 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 zeigte sich, dass die Anforderungen selbst bei der maximalen betrachteten Übertragungsfrequenz von 600 MHz gegenüber der 1000BASE-T1-Kanalspezifikation eingehalten werden.

Das Schlüsselement für das EMV-Verhalten von ungeschirmten Übertragungssystemen ist die Symmetrie. Diese wird durch das Modenkonsversionsverhalten beschrieben, d.h. die Umwandlung eines für die Übertragung notwendigen differentiellen Signals in ein Gleichtaktsignal. Unerwünschte Gleichtaktsignale führen zu vermehrter Abstrahlung sowie schlechterer Störfestigkeit gegenüber von außen eingekoppelten unerwünschten Signalen.

Bild 4 zeigt, dass die Modenkonversion des Gesamtkanals basierend auf dem MTD-System niedriger als die geforderten Kanalgrenzwerte liegt. LCL bezeichnet dabei die Modenkonversion in Rückwärtsrichtung auf der gleichen Seite des Kanals, auf der das Signal eingespeist wird, und LCTL die Modenkonversion in Vorwärtsrichtung zum anderen Ende des Kanals. Diese sehr niedrigen Modenkonsversionswerte lassen sich nur mit MTD-Steckverbin-

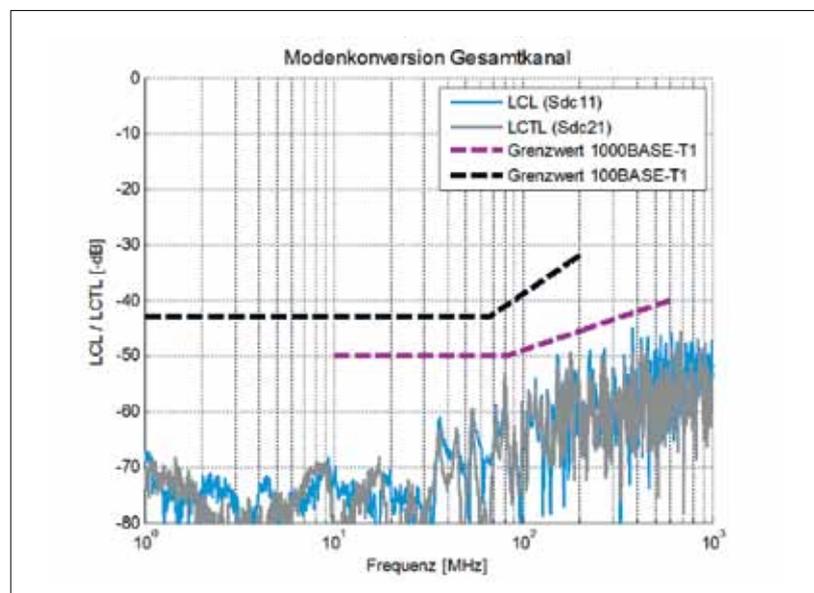


Bild 4. Sehr niedrige Modenkonversion sorgt für bestes EMV-Verhalten.

(Bild: Rosenberger)

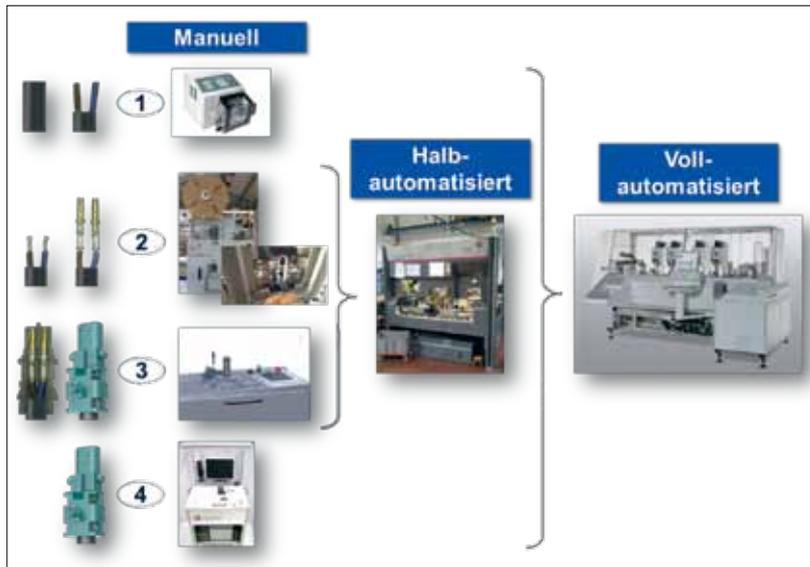


Bild 5. Das MTD-System ermöglicht verschiedene Grade der Automatisierung.

(Bild: Rosenberger)

Bild 5 zeigt, wie bereits mit einfachen Werkzeugen wie Abisolier- und Crimpmaschinen eine zuverlässige Konfektion in wenigen manuellen Schritten möglich ist. Im ersten Schritt wird das Kabel auf die gewünschte Länge zugeschnitten und der Kabelmantel entfernt. Im zweiten Schritt werden die Adern abisoliert und die Kontakte gecrimpt. Ein Doppelcrimp minimiert Längendifferenzen und sorgt für kurze Verarbeitungszeiten. Im dritten Schritt werden die Kontakte in die untere Hälfte des Steckergehäuses eingebracht und der Gehäusedeckel geschlossen. Aufgrund der Verwendung von Rundkontakten entfällt eine zusätzliche Ausrichtung der Kontakte. Im letzten Schritt wird der fertig montierte Steckverbinder optisch und elektrisch über gefederte Kontaktstifte geprüft, um auch bei Handmontage beste Qualität sicherzustellen. Gutteilmarkierung und Schlechteil-Entwertung sorgen dafür, dass nur fehlerfreie Komponenten den Montageprozess für den weiteren Einsatz verlassen.

den in Verbindungen mit optimierter Mantelleitung erreichen.

Die Einfügedämpfung des Gesamtkanals wird im Wesentlichen durch die Eigenschaften der Leitung bestimmt. Im Vergleich zu bei FlexRay üblichen $2 \times 0,35\text{-mm}^2$ -UTP-Leitungen konnte der Leiterquerschnitt auf $2 \times 0,14\text{ mm}^2$ sowie der Außendurchmesser erheblich reduziert werden. Die Höhe der Kupfereinsparung ermöglicht die kostenneutrale Verwendung eines hochwertigen Mantelmaterials. PVC ist aufgrund des Dämpfungsanstiegs bei zunehmender Temperatur generell nicht geeignet. Bei der Messung der Einfügedämpfung des

Gesamtkanals bei Raumtemperatur ergab sich gegenüber den Grenzwerten eine ausreichende Reserve für höhere Temperaturen bis 105 °C und für Alterungseffekte.

Konfektion: Verschiedene Automatisierungsgrade

Neben den elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Stecksystems ist die Konfektion ein entscheidender Faktor. MTD ermöglicht verschiedene Grade der Automatisierung, um den Anforderungen der OEMs und Konfektionsanforderungen gerecht zu werden.

Die Schritte zwei und drei können in einem halb automatisierten Prozess zusammengefasst werden. Bei weiter steigenden Anforderungen an Volumen bietet sich der Umstieg auf einen voll automatisierten Prozess an, der sich auf Standardmaschinen umsetzen lässt. Alle drei Fertigungsverfahren sorgen bei geringen Investitions- und Konfektionskosten für eine hohe Qualität der konfektionierten Leitung. *ku*



**Dipl.-Ing. (FH)
Thomas Müller**

ist Entwicklungsingenieur und EMV-Spezialist bei Rosenberger Hochfrequenztechnik sowie Vice Chairman der Arbeitsgruppe OPEN Alliance TC9.



**Dr.-Ing.
Gunnar Armbrecht**

leitet den Bereich „Advanced Research“ und ist stellvertretender Leiter der Forschung & Entwicklung bei Rosenberger Hochfrequenztechnik.



Martin Zebhauser

ist Leiter des Produktmanagements und der Konstruktion des Geschäftsbereichs Automotive bei Rosenberger Hochfrequenztechnik.

Rosenberger

Rosenberger
Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG
Hauptstraße 1
83413 Fridolfing
Germany

Tel. +49 8684 18-0
Fax +49 8684 18-1499
info@rosenberger.de
www.rosenberger.com