



## Neue Kommunikationsarten in der Automobilvernetzung

### Ethernet und CAN FD sind die Wegbereiter

In aktuellen Fahrzeugen ist CAN das dominierende Bussystem für die Kommunikation zwischen Steuergeräten. In den letzten Jahren stieg das Kommunikationsaufkommen allerdings dramatisch an und die Fahrzeughersteller stoßen inzwischen an die Grenzen bei der Fahrzeugvernetzung mit CAN. Ethernet und CAN FD bieten eine höhere Bandbreite und übernehmen teilweise die Aufgaben von bestehenden Bussystemen. Dabei spielt nicht nur die höhere Bandbreite eine Rolle, sondern es stehen auch neue Kommunikationsarten im Vordergrund.

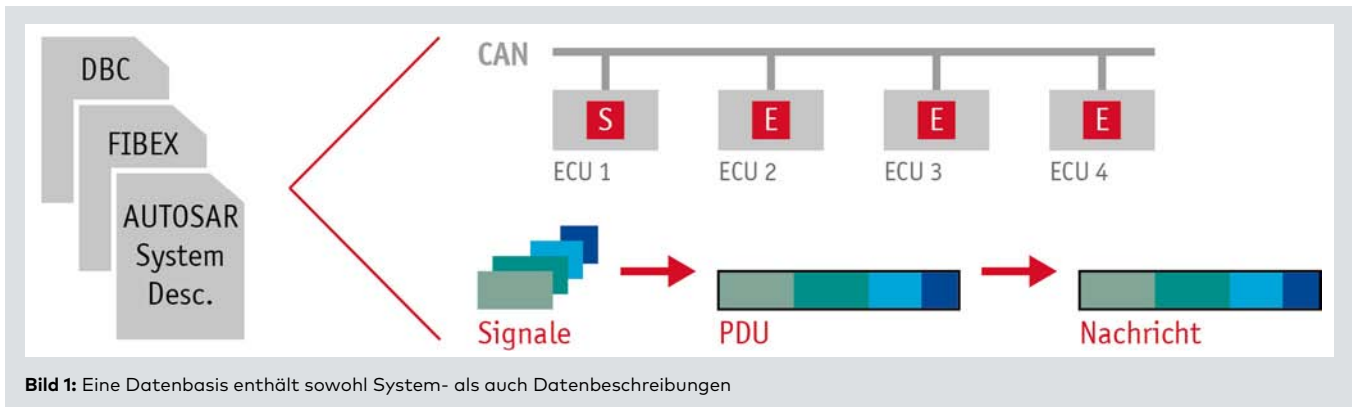
Eine klassische CAN-Nachricht überträgt bis zu acht Nutzdaten-Bytes. Aus Effizienzgründen ist es vorteilhaft alle acht Bytes zu verwenden, um ein möglichst gutes Verhältnis zwischen Nutzdaten und Protokoll-Overhead zu erhalten. Einzelne zu übertragende Datenelemente (Signale) wie beispielsweise eine Raddrehzahl sind aber oftmals kleiner als acht Bytes. Daher werden mehrere Signale gemeinsam versendet. Jedes Bit ist kostbar und so wird das Definieren der CAN-Nachrichten mit den jeweils enthaltenen Signalen sehr komplex.

Die Kommunikationsmatrix wird in einer Datenbasis definiert. Für CAN geschieht dies wahlweise in einem der Formate DBC, FIBEX oder AUTOSAR System Description. Die Datenbasis (**Bild 1**) enthält neben den Nachrichten und deren Zusammensetzung auch die dazugehörigen Send- und Empfangsbeziehungen. Ebenso sind darin die Protocol Data Units (PDU) definiert – eine Abstraktionsschicht zwischen Signalen und Nachrichten.

#### CAN FD, der verbesserte CAN-Bus

Für die heutigen Kommunikationsanforderungen reicht die Übertragungsrate von maximal 1 Mbit/s auf dem CAN-Bus teilweise nicht mehr aus. Eine Lösung des Bandbreitenproblems ist das Verwenden von CAN mit flexibler Datenrate (CAN FD). Diese verbesserte Version des CAN-Protokolls bietet Übertragungsraten bis zu 8 Mbit/s. Erreicht wird dies durch zwei Erweiterungen zum klassischen CAN:

- > 1. Das Übertragen der Nutzdaten-Bytes erfolgt mit einer höheren Bitrate. Damit die sonstigen Eigenschaften von CAN, beispielsweise die maximale Leitungslänge, möglichst gleich bleiben, werden der Header und der Trailer einer CAN-Nachricht mit der normalen Bitrate gesendet.
- > 2. Eine CAN-FD-Nachricht enthält bis zu 64 Nutzdaten-Bytes. Wird die 8-fache Bitrate verwendet und werden 64 Nutzdaten-Bytes gesendet, ist die Übertragungszeit vergleichbar zu einer klassischen CAN-Nachricht mit 8 Nutzdaten-Bytes.



**Bild 1:** Eine Datenbasis enthält sowohl System- als auch Datenbeschreibungen

Durch CAN FD erhöht sich die bereits erwähnte Komplexität beim Definieren der Kommunikationsmatrix nochmals deutlich. Um auch in diesem Fall eine effiziente Kommunikation zu erreichen, müssen Netzwerkdesigner die Signale in bis zu 8-mal größeren Nachrichten logisch sinnvoll gruppieren. Bei einigen Szenarien besteht außerdem die Anforderung, bereits für CAN definierte PDUs auf CAN FD zu übernehmen. Damit wäre der Vorteil der größeren Nutzdatenlänge verloren. Abhilfe schafft hier der Mechanismus n-PDU-to-Frame-Mapping, der es erlaubt, mehrere PDUs in einer Nachricht zu versenden.

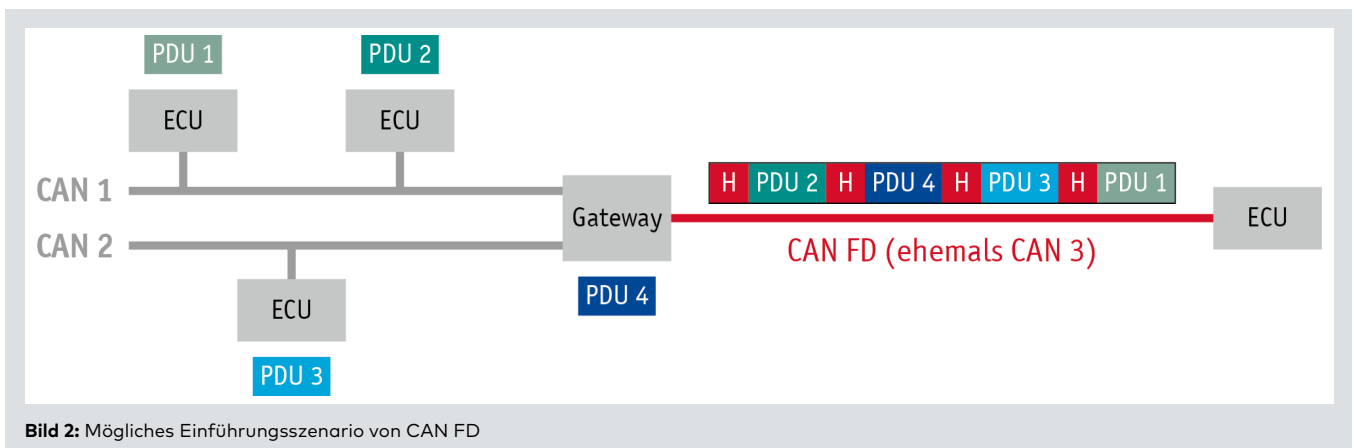
### N-PDU-to-Frame-Mapping anhand eines Gateways

In einem Gateway-Szenario (**Bild 2**) kann die Bandbreite eines klassischen CAN-Busses nicht mehr ausreichen. Angenommen, an einem Gateway sind drei CAN-Busse angeschlossen und alle werden schon an der Buslastgrenze betrieben. An CAN-Bus 3 hängt ein Steuergerät das viele Daten der anderen beiden Busse benötigt. Das Gateway ist für das Routen dieser Daten zuständig. Wenn das Steuergerät an CAN-Bus 3 auf Grund eines Generationswechsels zusätzlichen Kommunikationsbedarf hat, reicht die Bandbreite von CAN-Bus 3 nicht mehr aus. Daher soll stattdessen CAN FD zum Einsatz kommen. Zusätzlich gibt es noch weitere Anforderungen:

- > Verwenden der kompletten 64 Nutzdaten-Bytes zur effizienten Busnutzung.
- > Die bisher definierten PDUs dürfen nicht verändert werden.
- > Das Gateway darf nicht wesentlich komplexer werden.

Alle genannten Punkte können realisiert werden, indem das Gateway mehrere bereits definierte CAN-PDUs in einer CAN-FD-Nachricht versendet.

Bisher wurde der Inhalt einer Nachricht durch den jeweiligen CAN-Identifizier (CAN ID) identifiziert. Diese Möglichkeit hat der Empfänger der Daten nicht mehr, da mehrere PDUs in einer CAN-FD-Nachricht enthalten sind. Eine Lösung wäre, den Inhalt der CAN-FD-Nachricht statisch in einer Datenbasis zu definieren. Im Gegensatz dazu wird beim n-PDU-to-Frame-Mapping in der Datenbasis nur noch festgelegt, welche PDUs potentiell in der CAN-FD-Nachricht enthalten sein können. Welche PDUs das Steuergerät tatsächlich versendet, entscheidet sich zur Laufzeit. Das beschriebene Szenario ist in **Bild 2** schematisch dargestellt: Jedes Steuergerät an CAN-Bus 1 und 2 sowie das Gateway selbst sendet eine PDU, die auf dem CAN-FD-Bus übertragen werden soll. Das Gateway füllt die CAN-FD-Nachricht bis zum Versendezeitpunkt mit den PDUs nach



**Bild 2:** Mögliches Einführungsszenario von CAN FD

und nach auf. Jeder PDU wird ein Header vorangestellt, damit ein Empfänger die einzelnen PDUs aus der Nachricht extrahieren kann. Das Gateway muss also nicht mehr auf die Reihenfolge der PDUs achten und kann sich ein aufwändiges Einhalten des Nachrichtenlayouts sparen. Somit bleiben die Ressourcen-Anforderungen an das Gateway so gering wie möglich.

Das Versenden einer CAN-FD-Nachricht wird durch verschiedene Ereignisse angestoßen, wie beispielsweise:

- > 1. Der Sendepuffer der Nachricht ist voll
- > 2. Ablauf des für die Nachricht definierten Timeouts
- > 3. Nach Ablauf des für eine PDU definierten Timeouts wird die Nachricht versendet, in der diese PDU enthalten ist
- > 4. Eine PDU besitzt ein zusätzliches Attribut, das nach dem Kopieren der PDU in den Sendepuffer ein sofortiges Senden der Nachricht auslöst

Die Möglichkeit, mehrere PDUs in einer Nachricht zu versenden, ist in AUTOSAR seit Release 4.2.1 definiert. Der Mechanismus ist netzwerkunabhängig im I-PDU-Multiplexer-Modul spezifiziert, damit er neben CAN FD zum Beispiel auch für FlexRay oder Ethernet zum Einsatz kommen kann. Neben dem reinen Aufsammeln von PDUs unterstützt das Modul auch die unterschiedlichen Versendebedingungen und zwei unterschiedliche PDU Header-Formate. Für CAN FD und FlexRay kommt hauptsächlich ein 4-Byte-Header zum Einsatz. Auf Ethernet wird meistens ein 8-Byte-Header verwendet.

**Ethernet bietet eine wesentlich größere Nutzdatenlänge**

Im Vergleich zu CAN bietet Ethernet eine mehr als 185-fache Nutzdatenlänge. Eine klassische Definition von hunderten oder sogar tausenden Signalen innerhalb einer 1500 Bytes langen PDU ist kaum realisierbar. Für Gateway-Anwendun-

gen kann es allerdings vorteilhaft sein, bestehende CAN- oder FlexRay-PDUs 1:1 auf Ethernet weiterzuleiten. Das für CAN FD vorgestellte Versenden von mehreren PDUs innerhalb einer Nachricht kann unverändert für Ethernet angewendet werden. Im Gegensatz zu CAN FD und FlexRay spezifiziert AUTOSAR für Ethernet zwei gleichwertige Ansätze. Der erste bereits bei CAN FD beschriebene Ansatz ist das n-PDU-to-Frame-Mapping im I-PDU-Multiplexer. Der gleiche PDU-Sammelalgorithmus ist im Socket Adaptor Modul spezifiziert, welches für das Anbinden des TCP/IP-Stacks an die restliche AUTOSAR-Architektur zuständig ist. Der Anwender kann beide Ansätze verwenden, wobei der Socket Adaptor noch zusätzliche Steuerungsmöglichkeiten für Ethernet-basierte Kommunikation anbietet.

**Mit Ethernet ändert sich die Vernetzungstopologie**

Neben der Nutzdatenlänge unterscheidet sich Ethernet auch bei der Vernetzungstopologie und Adressierung maßgeblich von anderen Netzwerktechnologien (Bild 3). CAN setzt auf eine klassische Bustopologie. FlexRay lässt sich physikalisch zwar mit einer Sterntopologie realisieren, verhält sich logisch gesehen aber stets wie ein Bus. Bei beiden Netzwerktechnologien wird eine Nachricht an alle Teilnehmer gesendet. Alle Netzwerknoten entscheiden selbstständig, ob eine Nachricht für sie relevant ist und weiter verarbeitet wird. Bei CAN geschieht dies anhand der CAN ID, bei FlexRay anhand der Slot ID, wobei in beiden Fällen die ID bereits den Inhalt der Nachricht klassifiziert. Es gibt keine Möglichkeit eine Nachricht gezielt an nur einen Empfänger zu versenden. Daher sind CAN und FlexRay Broadcast-Medien. Ethernet war zu Beginn seiner Erfolgsgeschichte ebenfalls ein Bussystem. Die Verkabelung wurde mit Koaxialkabel und T-Elementen realisiert. Heute ist Ethernet in den allermeisten Fällen ein aktiv geschwitchtes

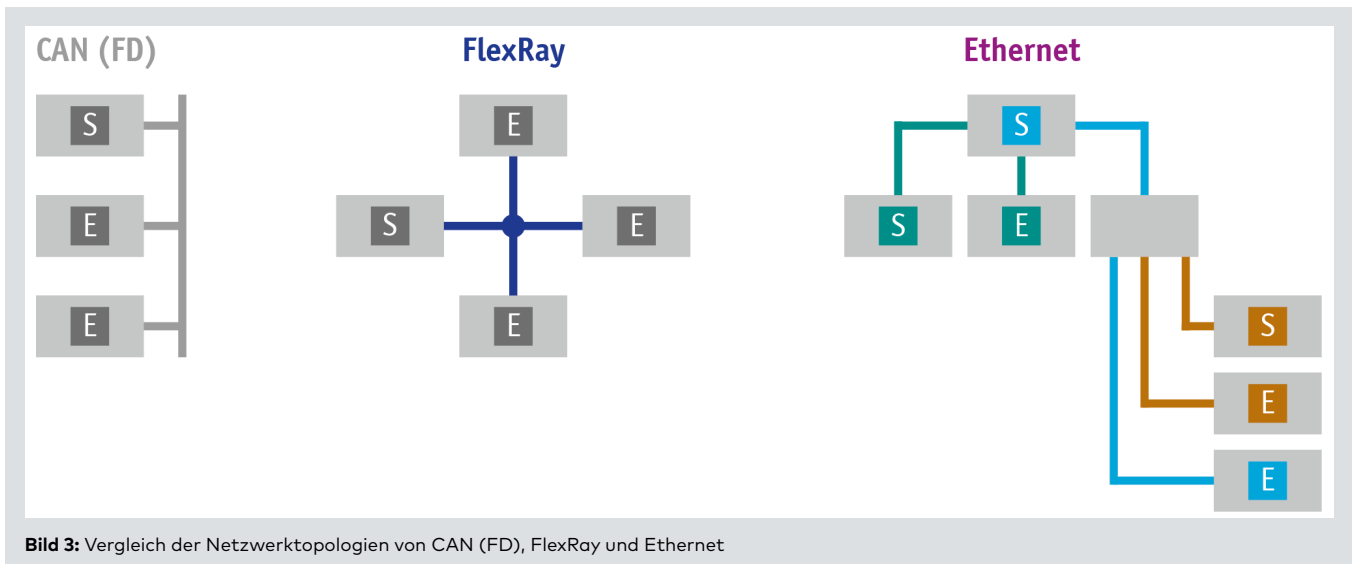


Bild 3: Vergleich der Netzwerktopologien von CAN (FD), FlexRay und Ethernet

Netzwerk mit Baum-Topologie, in dem es auf Grund der Punkt-zu-Punkt-Verbindungen keine Kollisionen gibt.

Jeder Ethernet-Knoten hat eine MAC-Adresse, die zum eindeutigen Adressieren im Netzwerk verwendet wird. Ein Knoten verarbeitet eine Nachricht, wenn seine MAC-Adresse als Ziel angegeben ist – das heißt der Sender muss den Empfänger kennen und die Zieladresse in der Nachricht entsprechend eintragen. Diese 1:1 Kommunikationsbeziehung verwendet eine sogenannte Unicast-Adressierung. Wird eine Unicast-adressierte Nachricht an alle Netzwerk-knoten versendet, verarbeitet dennoch nur ein Empfänger das Paket, alle anderen verwerfen es.

Um ein unnötiges Fluten des Netzwerks zu verhindern, wurde ein aktives Netzwerk-Koppelement eingeführt – der Switch. Ein Switch leitet Nachrichten nach einer kurzen Einlernphase nur an die Verbindung weiter, an der das adressierte Ziel zu erreichen ist. Damit wird die zur Verfügung stehende Bandbreite effizient genutzt. Außerdem ermöglicht ein Switch, das zur selben Zeit mehrere Unicast-adressierte Nachrichten parallel im Netzwerk versendet werden können. **Bild 3** zeigt ein beispielhaftes Ethernet-Netzwerk mit zwei Switches: Einer im Steuergerät ganz oben im Bild, der zweite im unbeschrifteten Steuergerät. Farblich markiert sind parallele Kommunikationspfade durch das Netzwerk, die sich gegenseitig nicht beeinflussen. Auf allen drei Verbindungen können maximal 100 Mbit/s full-duplex übertragen werden. Dadurch multipliziert sich die Bandbreite von 100 Mbit/s mit der Anzahl der parallelen Kommunikationspfade. Ethernet bietet auch 1:n- (Multicast) und 1:alle-Kommunikation (Broadcast). Wenn man diese Adressierungsarten ungeschickt einsetzt, gehen die beschriebenen Vorteile von Ethernet verloren.

Im Falle von Unicast-Adressierung wandert die Intelligenz im Netzwerk vom Empfänger in den Sender. Der Sender muss wissen, welche Empfänger im Netzwerk an welchen Daten beziehungsweise PDUs interessiert sind und muss die Nachrichten mittels n-PDU-to-Frame-Mapping entsprechend zusammensetzen. Dabei können PDUs oder Nachrichten durchaus mehrfach versendet werden, wenn es mehrere Empfänger für die gleichen PDUs gibt. Dieser Empfänger-spezifische Daten Fan-Out ist in AUTOSAR am einfachsten mit dem Socket Adaptor realisierbar.

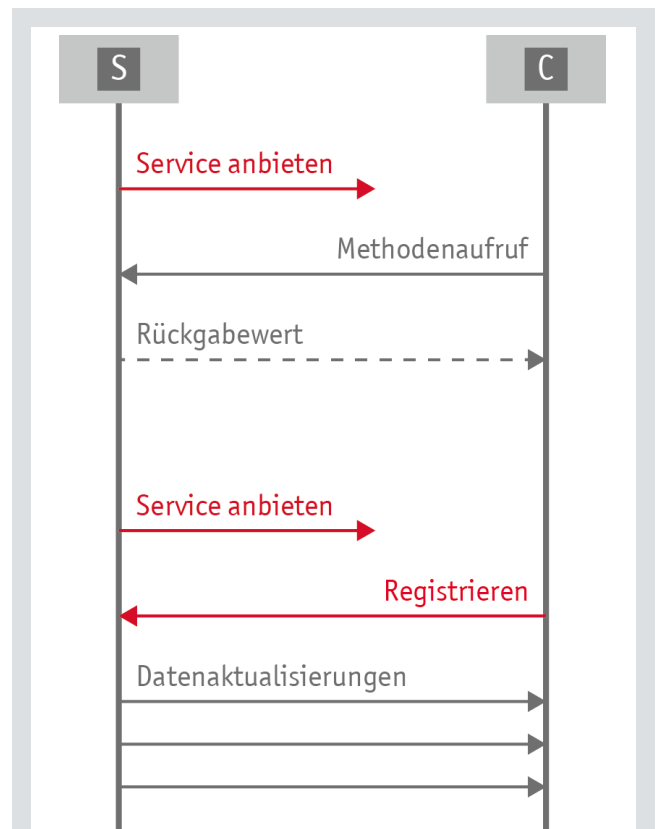
**Neues Kommunikationsparadigma: Service-orientierte Kommunikation**

Die Eigenschaften von Ethernet sowie der Wunsch der Fahrzeughersteller nach mehr Flexibilität und Beherrschbarkeit der Komplexität bei der Vernetzung führten zur Einführung von Service-orientierter Kommunikation im Automotive-Umfeld. Dieses aus der Internet-Welt bekannte Kommunikationsparadigma wurde auf die Fahrzeugvernetzung übertragen. Allerdings kommen spezifische, für den Automotive-Anwendungsfall optimierte Protokolle

zum Einsatz: Service Discovery (SD) und Scalable Service-oriented Middleware over Internet Protocol (SOME/IP). Bisher wurde in der Fahrzeugvernetzung von Sender und Empfänger gesprochen. Bei Service-orientierter Kommunikation gibt es ein Steuergerät, das einen Dienst (Service) anbietet – den Server – und Steuergeräte, die diesen Dienst verwenden – die Clients.

Über das Service-Discovery-Protokoll geben die Server zur Laufzeit bekannt, welche Services sie anbieten und wie diese angesprochen werden. Clients rufen Methoden des Servers auf (Remote Procedure Calls) oder registrieren sich beim Server, um nachfolgend automatisch Datenaktualisierungen zu erhalten. Im letzteren Fall stellt der Server bestimmte Datenelemente – sogenannte Events – bereit und verschickt deren Wert an alle registrierten Clients. Zu welchem Zeitpunkt die Datenaktualisierungen versendet werden entscheidet die Applikation des Servers. Durch das n-PDU-to-Frame-Mapping ist ein Versenden mehrerer Events innerhalb einer Nachricht möglich. **Bild 4** stellt die beiden Prinzipien der Service-orientierten Kommunikation grafisch dar.

Bei Methodenaufrufen und Datenaktualisierungen kann die Länge der zu übertragenden Daten stark variieren. Das Unterstützen dieser variablen Datenlänge ist ein Haupt-



**Bild 4:** Funktionsprinzipien von Service-orientierter Kommunikation mittels Service Discovery

merkmal von SOME/IP. Es serialisiert strukturierte und komplexe Anwendungsdaten, so dass die restliche Basissoftware eines Steuergeräts sich nur noch um das Versenden beziehungsweise Empfangen eines Bytestroms kümmern muss. Daher wird das exakte Nachrichtenlayout nicht mehr in einer Datenbasis definiert.

AUTOSAR unterstützt SD und SOME/IP vollständig. Auf Grund der Plattformunabhängigkeit von SD und SOME/IP kommen die Protokolle auch beim Datenaustausch zwischen AUTOSAR-Steuergeräten und anderen Plattformen zum Einsatz.

### Fazit

CAN FD und Ethernet bieten mit der höheren Nutzdatenlänge neue Möglichkeiten in der Datenübertragung. Sie stellen die Fahrzeughersteller und ihre Zulieferer aber auch vor neue Herausforderungen – unter anderem beim Erstellen der Systembeschreibung. Abhilfe schafft hier das n-PDU-to-Frame-Mapping, das mehrere PDUs in eine CAN-FD- oder Ethernet-Nachricht verpackt. Im Falle von Ethernet erhöhen sich aber nicht nur die Nutzdatenlänge und die zur Verfügung stehende Bandbreite. Eine kleine Revolution im Automotive-Umfeld stellt das geschichtete Netzwerk und die damit verbundene neue Adressierungsart dar. Neue Mechanismen zur Datenverteilung sind notwendig. Darauf aufbauend wird mittels Service-orientierter Kommunikation der Datenaustausch dynamischer. AUTOSAR 4.2.1 unterstützt bereits alle vorgestellten Mechanismen und erleichtert somit das Umsetzen der neuen Kommunikationsparadigmen. Am Markt sind bereits Basissoftware-Implementierungen dieser AUTOSAR-Version verfügbar wie beispielsweise MICROSAR von Vector. Ebenso ermöglichen Werkzeuge wie CANoe das komfortable Analysieren und Testen von CAN-FD- und Ethernet-Netzwerken.

**Im Heft 7/8 2015 der Automobil Elektronik ist eine gekürzte Version dieses Artikels erschienen.**

### Alle Bilder:

Vector Informatik GmbH

### Links:

Website Vector: [vector.com](http://vector.com)

Produkt Information MICROSAR: [www.vector.com/microsar](http://www.vector.com/microsar)

Produkt Information CANoe: [www.vector.com/canoe](http://www.vector.com/canoe)



**M.Eng. Marc Weber**

ist bei Vector Informatik in der Produktlinie Embedded Software für das Produktmanagement des Ethernet-Stacks verantwortlich.