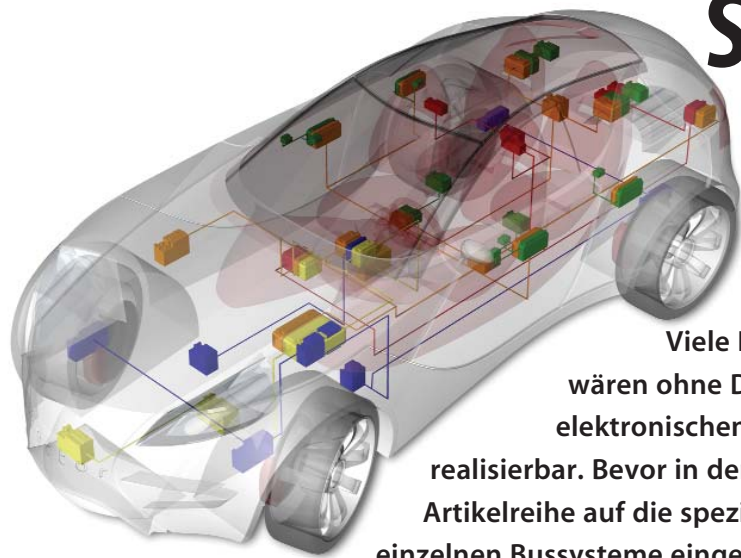


# Serielle Bussysteme im Automobil

## Teil 1: Architektur, Aufgaben und Vorteile



Viele Funktionen im Automobil wären ohne Datenaustausch zwischen elektronischen Komponenten gar nicht realisierbar. Bevor in den nächsten Folgen dieser Artikelreihe auf die speziellen Charakteristika der einzelnen Bussysteme eingegangen wird, erklärt dieser Beitrag die technischen Grundlagen der seriellen Bussysteme in modernen Kraftfahrzeugen und vergleicht die verschiedenen Konzepte, die dabei Anwendung finden.

Von Eugen Mayer

Seit dem Einsatz serieller Bussysteme gehören die komplexen und oft unterschiedlich gearteten Kabelbäume im Automobil der Vergangenheit an. Die Bussysteme vereinfachen nicht nur die Projektierung und Installation, sondern senken auch das Gewicht und den Platzbedarf für die Verkabelung. Darüber hinaus reduziert die geringere Zahl an Steckverbindungen die Störanfälligkeit deutlich. Die vielen Vorteile erkaufte man jedoch durch zahlreiche Kommunikationsaufgaben, die das serielle Bussystem bewältigen muss. Im Folgenden werden die wichtigsten Kommunikationsaufgaben erläutert.

### ■ Kommunikationsaufgaben

Voraussetzung für einen reibungslosen seriellen Datenaustausch ist die eindeutige Zuordnung der zu versendenden Daten zu den Busknoten. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen senderselektiver und empfängerselektiver Zuordnung (Adressierung). Bei der senderselektiven Adressierung bestimmt der Sender den gewünschten Empfänger über eine eindeutige Busknotenadresse. Im Gegensatz dazu werden bei der empfängerselektiven Adressierung nicht die Busknoten, sondern die zu versenden Daten adressiert. Dadurch stehen alle Daten prinzipiell jedem Busknoten zum Empfang zur Verfügung (Broadcast). Sämtliche Busknoten haben daher die Aufgabe, die für sie relevanten Daten herauszufiltern. Dies geschieht mit Hilfe der Adresse, die man hier als Identifier bezeichnet.

Damit der Empfänger die Daten und die Adresse als Einheit auffasst, packt der Sender beides zu einem Frame zusammen. Ein typischer Frame umrahmt die Adresse und die Daten mit einer Anfangs- und Endkennung, die vor allem zur Herstellung der Syn-

Die jüngere Geschichte des Automobils ist durch eine intensive Elektronifizierung gekennzeichnet. Die treibende Kraft dafür geht in der Hauptsache von den immer anspruchsvolleren Wünschen der Kunden an ein modernes Automobil aus. Des Weiteren werden vom Gesetzgeber immer strengere Vorgaben zur Abgasemission gemacht. Aber auch die Globalisierung sorgt durch gestiegenen Wettbewerbs- und Kostendruck für stetigen Innovationsdruck. Mit der Elektronik haben die Kfz-Hersteller einen Weg gefunden, dieser multiplen Herausforderung zu begegnen. Dies spiegelt sich vor allem in der Ende der 1970er Jahre beginnenden Migration elektronischer Steuergeräte in das Automobil wider.

Die ersten eingebetteten elektronischen Systeme verrichteten damals ihre Aufgaben noch völlig autonom. Schon sehr früh erkannte man, dass durch die Koordination von Anwendungen, die auf unterschiedlichen elektronischen Steuergeräten untergebracht waren, die Fahrzeugfunktionalität immens erhöht werden konnte. Dies war der Auslöser für die Integration von Kommunikationssystemen in das Automobil.

Allen voran beherrschte damals die elektronische Fahrdynamikregelung die Vorentwicklung. Der intensive Verkabelungsaufwand ließ jedoch nur einen eingeschränkten Datenaustausch auf Basis von Einzelleitungen zu. Als Ausweg aus diesem Dilemma kam der bitserielle Austausch von Daten über einen einzigen Kommunikationskanal in Frage. Dieser integriert alle individuellen Kommunikationskanäle und wird als Bus bezeichnet. Mittels dieses Busses und entsprechender serieller Schnittstellen können alle elektronischen Steuergeräte zu einem Systemverbund, dem seriellen Bussystem, zusammengeschlossen werden (Bild 1). Elektronische Steuergeräte werden in diesem Kontext als Busknoten (Nodes) bezeichnet.

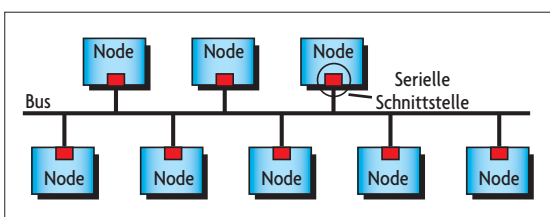
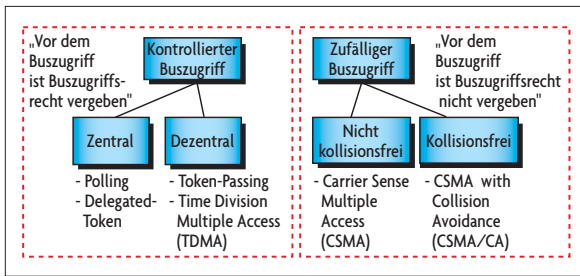


Bild 1. Alle elektronischen Steuergeräte (Busknoten oder „Nodes“) werden mittels eines Busses und entsprechender serieller Schnittstellen zu einem Systemverbund, dem seriellen Bussystem, zusammengeschlossen.



**Bild 2.** Je nach Anwendungsbereich wird auf einen zufälligen oder kontrollierten Buszugriff gesetzt.

chronität zwischen Sender und Empfänger dienen. Statt „Frame“ spricht man auch von „Rahmen“, „Nachricht“ oder „Botschaft“.

Zu den vordringlichsten Aufgaben eines seriellen Bussystems gehören die echtzeitfähige Datenübertragung und die Datensicherung. Ein verteiltes System wird nur dann seiner Bestimmung gerecht, wenn sämtliche Daten rechtzeitig und fehlerfrei die jeweilige Anwendung auf den Zielknoten erreichen. Die Leistungsfähigkeit und das Einsatzgebiet eines seriellen Bussystems im Automobil hängen entscheidend davon ab, in welchem Ausmaß es Störungen vermeidet, abwehrt, erkennt und korrigiert sowie die rechtzeitige Datenübertragung garantieren kann.

### ■ Datensicherheit durch Fehlererkennung und -korrektur

Quantitativ lässt sich die Datensicherheit durch die Restfehlerwahrscheinlichkeit beschreiben. Diese ist ein statistisches Maß für die Verletzung der Datensicherheit. Unter Restfehlerwahrscheinlichkeit versteht man das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit A, mit der die zu übertragenden Daten verfälscht sind, und aus der Wahrscheinlichkeit B, mit der verfälschte Daten unerkannt bleiben. Die Datensicherheit eines seriellen Bussystems hängt also einerseits davon ab, wie weitreichend es Datenverfälschungen vermeidet, und andererseits, in welchem Ausmaß es verfälschte Daten detektiert.

Als Ursachen für Datenverfälschungen kommen im Automobil die verschiedensten Wechselwirkungen durch galvanische, kapazitive oder induktive Kopplungen bzw. elektromagnetische Felder in Frage. Verantwortlich sind dafür im Einzelnen z.B. Verstell- und

Lüftermotoren, hochfrequente Signale durch den Kommutierungsprozess in Gleichstrommotoren und durch schnelle Datenübertragungen oder Reflexionen an den Bus-Enden. Je besser es gelingt, diese Ursachen

zu eliminieren, desto störfester und sicherer ist die Datenübertragung.

Um die Störfestigkeit eines seriellen Bussystems zu erhöhen, sind einige wichtige Maßnahmen notwendig. Neben der Abschirmung des Übertragungsmediums sowie sämtlicher elektrischer und elektronischer Komponenten ist für einen ausreichend großen Abstand zwischen Daten- und Energieübertragungsleitungen sowie zwischen elektrischen und elektronischen Komponenten zu sorgen. Weiterhin gilt es, die Datenübertragungsfrequenz sowie die Anzahl und die Steilheit der Datensignalfanken zu begrenzen, das Prinzip der Differenzsignalübertragung zu nutzen und schließlich die beiden Bus-Enden mit dem Wellenwiderstand des Übertragungsmediums zu terminieren.

Selbst bei optimaler physikalischer Systemauslegung lassen sich Übertragungsfehler nicht vollständig ausschließen. Deshalb sind Fehlererkennungsmechanismen unerlässlich. Zu den am häufigsten eingesetzten Methoden zählt das Prüfsummenverfahren. Dabei berechnet der Sender über einen definierten Algorithmus aus dem zu versendenden Datenblock eine Prüfsumme, die er im Anschluss an den Datenblock überträgt. Mit Hilfe dieser Prüfsumme ist der Empfänger in der Lage, den empfangenen Datenblock zu verifizieren.

Je ausgeklügelter der Algorithmus, je kürzer der zu sichernde Datenblock und je länger die Prüfsumme, desto besser die Fehlererkennungsfähigkeit. Allerdings ist wegen der beschränkten Bandbreite und der zeitlichen Anforderungen ein Kompromiss zwischen der Fehlererkennungsfähigkeit und dem Verhältnis zwischen Datenblock und Prüfsumme (Übertragungseffizienz) zu schließen. Zudem muss berück-

sichtigt werden, dass auch eine Prüfsumme während der Übertragung nicht immun gegen Störungen ist.

Wann immer das System einen Übertragungsfehler detektiert, ist eine Fehlerkorrektur notwendig, beispielsweise mit einer fehlerkorrigierenden Prüfsumme. Dies erfordert allerdings gegenüber der bloßen Fehlererkennung eine deutlich längere Prüfsumme. Aus Effizienzgründen setzt man im Automobil keine fehlerkorrigierenden Prüfsummen ein. Die Fehlerkorrektur erfolgt vielmehr durch die Botschaftswiederholung: entweder hervorgerufen durch eine vom fehlererkennenden Busknoten übertragene Fehlersignalisierung oder automatisch im Falle einer zyklischen Botschaftsübertragung.

### ■ Echtzeit-Fähigkeit für sicherheitskritische Anwendungen

Ein echtzeitfähiges System muss die Übertragung sämtlicher auszutau-

schenden Daten zwischen den verschiedenen Busknoten innerhalb eines definierten Zeitfensters garantieren können. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind Anzahl und Größe der Botschaften, die zur Verfügung stehende Bandbreite und insbesondere die Art des Buszugriffs. Bei Letzterem unterscheidet man grundsätzlich zwischen einem kontrollierten und einem zufälligen Buszugriff (Bild 2).

Bei seriellen Bussystemen mit kontrolliertem Buszugriff ist das Buszugriffsrecht bereits vor dem Buszugriff eindeutig festgelegt. Solche Systeme bieten deterministischen Botschaftsverkehr als wichtige Voraussetzung für die Verwirklichung echtzeitfähiger serieller Bussysteme. Da der gesamte Kommunikationsablauf planmäßig abläuft und nicht beeinflussbar ist, zeichnen sich serielle Bussysteme mit kontrolliertem Buszugriff allerdings durch ein schlechtes dynamisches Verhalten aus.

Diesen Nachteil kennen serielle Bussysteme mit unkontrolliertem Buszugriff nicht. Jeder Busknoten hat zu jeder Zeit das Recht, den Bus zu belegen, z.B. aufgrund eines aktuellen Ereignisses. Daraus resultiert einerseits ein sehr schneller Buszugriff; andererseits birgt dies aber in Abhängigkeit von der Ereignisdichte, den Botschaftsgrößen und der zur Verfügung stehenden Datenrate eine mehr oder weniger akute Kollisionsgefahr, was keine guten Voraussetzungen für eine echtzeitfähige Datenübertragung darstellt.

Die Überwachung des Busses durch sendewillige Busknoten reduziert die Kollisionsgefahr erheblich. Ganz verhindert werden kann sie durch das zusätzliche Einführen von Botschaftsprioritäten. Allerdings können auch diese auf Bus-Monitoring und Botschaftsprioritäten basierenden zufälligen Buszugriffsverfahren keine

Rechtzeitigkeit garantieren. Denn durch die Priorisierung besteht die Gefahr,

dass niederpriorie Botschaften unverhältnismäßig lange verzögert werden.

### Architektur serieller Bussysteme

In Anlehnung an das von der ISO (International Standardization Organization) spezifizierte Referenzmodell der Datenkommunikation wird die serielle Schnittstelle eines Busknotens im Automobil typischerweise in zwei (Kommunikations-)Schichten unterteilt: untere Schicht (Physical Layer) und darüber liegende Schicht (Data Link Layer).

Der Data Link Layer übernimmt die Aufgaben von Adressierung, Framing, Buszugriff, Synchronisation sowie Fehlererkennung und -korrektur. Definiert werden diese Aufgaben durch

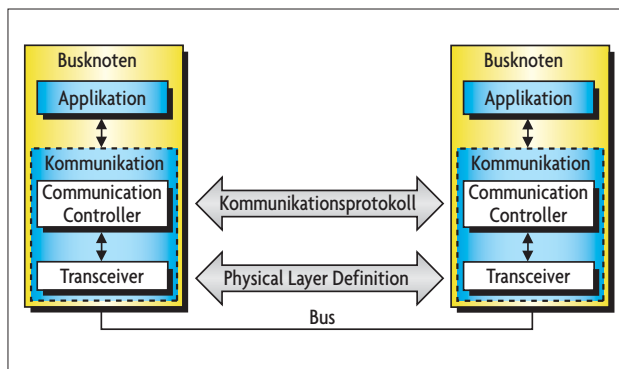


Bild 3. Vereinfachte Architektur serieller Bussysteme.

ein Kommunikationsprotokoll. Die Physical-Layer-Spezifikation umfasst dagegen alle Aspekte des Physical Layers, angefangen von der physikalischen Busan Kopplung bis hin zur physikalischen Signalübertragung mittels Bus.

In der Regel realisiert man die physikalische Busan Kopplung mit Hilfe eines Transceivers und die Ankopplung des Data Link Layer über einen Kommunikationscontroller. Wenn sich alle Busknoten innerhalb des Systems an dasselbe Kommunikationsprotokoll und dieselbe Physical-Layer-Spezifikation halten, sind die grundlegenden Voraussetzungen für einen reibungslosen Datenaustausch zwischen den Busknoten gegeben.

Bei der seriellen Kommunikation übergibt die Applikation des Senders dem Kommunikationscontroller den zu versendenden Datenblock. Dieser

ergänzt den Datenblock um die Adresse und um Prüf- und Synchronisationsinformationen, so dass ein Frame entsteht. Der Transceiver überträgt nun den Frame über den Bus. Als physikalische Verbindungsstruktur kommt im Automobil hauptsächlich die wegen der passiven Busan Kopplung sehr einfach handhabbare Linientopologie zum Einsatz. Auf der Empfängerseite nimmt wieder der Transceiver den Frame entgegen und übergibt ihn dem Kommunikationscontroller, welcher die an ihn übertragenen Informationen auswertet und im Falle des korrekten Datenempfangs den Datenblock an die Applikation weitergibt.

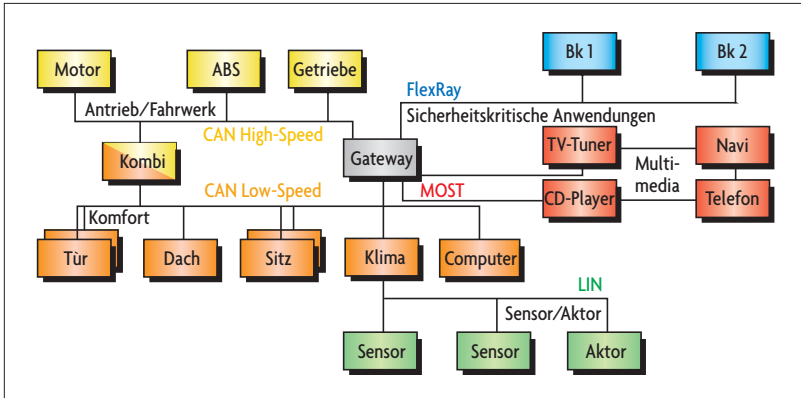
Das Ergebnis ist ein hierarchischer und somit transparenter Kommunikationsfluss. Dieser wird durch das Erledigen der den Schichten zugeordneten Kommunikationsaufgaben sowie durch das Kommunikationsprotokoll und die Definition des Physical Layers garantiert (Bild 3).

Für manche Aufgaben, wie beispielsweise das Busmanagement (u.a. Sleep- und Wake-Up-Funktion) oder die Diagnose und Konfiguration von Busknoten reicht die vom Data Link Layer zur Verfügung gestellte Kommunikationsfunktionalität

nicht aus. Durch die Definition höherer Schichten bzw. höherer Kommunikationsprotokolle kann die Kommunikationsfunktionalität erweitert werden.

### Transparenz durch herstellerübergreifende Bustechnologien

Der verschärfte Wettbewerb sorgt für immer mehr Sicherheits- und Komfortfunktionen im Automobil. Die Folge ist nicht nur ein permanenter Anstieg der Anzahl an elektronischen Komponenten in den Fahrzeugen, sondern auch ein deutlich höherer Vernetzungsgrad mit rasant steigendem Datenaufkommen, da die meisten neuen Automobil-Funktionen ohne Datenaustausch nicht mehr auskommen. Damit für die Kfz-Hersteller die zunehmende Komplexität der Fahrzeugelektronik beherrschbar bleibt, schaffen sie



**Bild 4.** Beispiel zur Vernetzung von elektronischen Steuergeräten mit seriellen Bussystemen im Automobil.

auf den System-, Funktions- und Kommunikationsebenen verschiedene Standards. Auf der System- bzw. Funktionsebene soll in Zukunft „AUTOSAR“ (AUTomotive Open System ARchitecture) für die nötige Transparenz sorgen. Herstellerübergreifende Kommunikationsstandards wie die seriellen Bussysteme CAN [1], LIN [2], MOST [3] und FlexRay [4] sorgen für mehr Transparenz auf der Kommunikationsebene.

CAN (Controller Area Network) wird hauptsächlich in den Bereichen Antrieb, Fahrwerk und Komfort eingesetzt. LIN (Local Interconnect Network) dient zur einfachen und kostengünstigen Datenübertragung im Sensor/Aktor-Bereich. MOST (Media Oriented System Transport) setzt man im Infotainment zur Übertragung von Video- und Audiosignalen ein. Und FlexRay ermöglicht schließlich anspruchsvollste Kommunikation in sicherheitskritischen verteilten Anwendungen. **Bild 4** zeigt ein Beispiel zur Vernetzung von elektronischen Steuergeräten mit seriellen Bussystemen im modernen Automobil. Im Gegensatz zu CAN, LIN und MOST muss sich

FlexRay im Automobil aber erst noch etablieren. Im Herbst dieses Jahres geht die erste FlexRay-Serienanwendung auf die Straße. Der Münchner Autobauer BMW wird im neuen X5 erstmals das innovative Bussystem in einer aktiven Dämpferkontrolle einsetzen.

CAN wurde Anfang der 1980er Jahre von der Robert Bosch GmbH entwickelt und 1994 international standardisiert (ISO 11898). Drei Geschäftsführer der Vector Informatik waren an der Entwicklung maßgeblich beteiligt. LIN, MOST und FlexRay gingen aus den herstellerübergreifenden Organisationen LIN-Konsortium, MOST-Kooperation und FlexRay-Group hervor. Sie sind zwar nicht offiziell standardisiert, können aber als De-facto-Standards aufgefasst werden.

Vector Informatik [5] unterstützt Fahrzeughersteller und -zulieferer bei der CAN-, LIN-, FlexRay- und MOST-Vernetzung mit einer durchgängigen Werkzeugkette aus Design- und Entwicklungstools sowie mit Softwarekomponenten und Basissoftware für AUTOSAR-Steuergeräte. Beratung, Consulting Services und Werkzeuge

für das Prozessmanagement ergänzen die Anwendungsgebiete. Abgerundet werden die Leistungen durch ein umfangreiches Schulungsangebot, wie beispielsweise das eintägige Seminar „Serielle Bussysteme im Automobil“ oder Grundlagenseminare zu CAN, LIN, FlexRay und MOST. Ergänzende und vertiefende Informationen zu seriellen Bussystemen bietet das Unternehmen in Form von elektronischen Informationen im Bereich „Training“ an. sj

*Die Teile zwei bis fünf dieser Reihe befassen sich detailliert mit den seriellen Bussystemen CAN, LIN, FlexRay und MOST.*

#### Links

- [1] [www.can.bosch.com](http://www.can.bosch.com)
- [2] [www.lin-subbus.com](http://www.lin-subbus.com)
- [3] [www.mostcooperation.com](http://www.mostcooperation.com)
- [4] [www.flexray.com](http://www.flexray.com)
- [5] [www.vector-informatik.de](http://www.vector-informatik.de)



**Dipl.-Ing., Dipl.-Techn. Eugen Mayer**

hat nach der Berufsausbildung zum Kommunikationselektroniker an der FH Ravensburg/Weingarten Elektronik und an der Universität Stuttgart Elektrotechnik und Berufspädagogik studiert. Er arbeitet seit 1999 bei der Vector Informatik und ist dort als Senior Trainer tätig.  
[eugen.mayer@vector-informatik.de](mailto:eugen.mayer@vector-informatik.de)