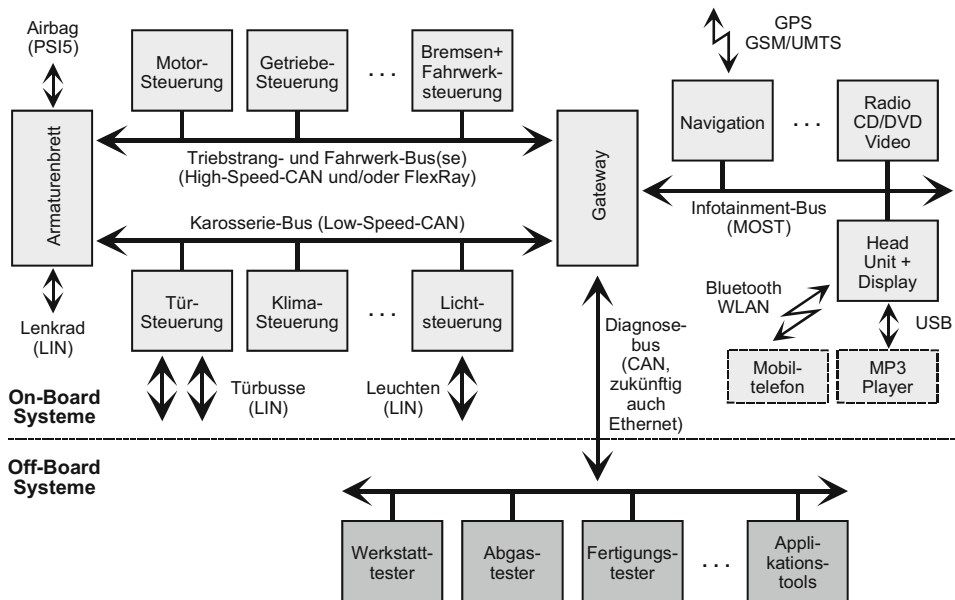


Bereits bei Einführung der ersten mikroprozessorgesteuerten Systeme wie Motronic und ABS im Kraftfahrzeug ab 1980 wurden Daten zwischen diesen Systemen und nach außen ausgetauscht. Während zwischen den Systemen (On-Board) zunächst vor allem Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit Analogsignalen oder einfachen Schaltsignalen verwendet wurden, diente die erste echte Datenkommunikation zum Anschluss des Diagnosetesters in der Kfz-Werkstatt (Off-Board). Sehr schnell war eine herstellerübergreifende Lösung nötig, wobei Bosch als in Europa führender Hersteller elektronischer Steuergeräte eine von vielen Fahrzeugherstellern übernommene Spezifikation vorlegte, die später als ISO 9141 standardisiert wurde. Diese Spezifikation legte zunächst wenig mehr als die Zahl der Verbindungsleitungen, die elektrischen Signalpegel und das Bitformat der Zeichenübertragung fest. Die Bedeutung der übertragenen Daten sowie die in der Werkstatt angewendeten Diagnoseverfahren selbst blieben offen und wurden weiterhin Hersteller-spezifisch implementiert.

Mit der Einführung des von Bosch vorgestellten, später als ISO 11898 und SAE J1939 standardisierten CAN Busses ab 1990 hielt auch bei der On-Board-Kommunikation zwischen den Steuergeräten innerhalb des Fahrzeugs ein Datennetz (*Bussystem*) Einzug. Auch hier war zunächst im Wesentlichen die Bitebene spezifiziert, während die Bedeutung der ausgetauschten Daten (*Protokoll*) nicht festgelegt war und immer noch je nach Gerät, Fahrzeug oder Hersteller unterschiedlich implementiert wurde. Mit dem Siegeszug der Mikroelektronik in modernen Fahrzeugen wurde das System derart komplex und das Datenaufkommen so hoch, dass Neufahrzeuge heute über mehrere, miteinander vernetzte Bussysteme (*Netzwerke*) verfügen (Abb. 1.1). Die Beherrschung dieser Komplexität, der Kostendruck, der Wunsch, Fahrzeuge weltweit anzubieten, sowie Vorschriften der Gesetzgeber zwangen die Fahrzeughersteller und ihre Zulieferer schließlich, nach standardisierten Lösungen für die Bussysteme und die zum Datenaustausch verwendeten Protokolle zu suchen [1–6].



**Abb. 1.1** Bussysteme eines modernen Fahrzeugs

## 1.1 Überblick

Grob lassen sich dabei folgende Anwendungsgebiete unterscheiden (Tab. 1.1):

- On-Board-Kommunikation** zwischen den Kfz-Steuergeräten im Fahrzeug  
 Dieses Aufgabenfeld lässt sich heute in Teilgebiete unterteilen, für die in der Regel unterschiedliche Buskonzepte verwendet werden:
  - High-Speed-Systeme für Echtzeit-Steuerungsaufgaben**  
 Die Steuerung und Regelung von Motor, Getriebe, Bremsen und Fahrwerk ist nur möglich, wenn die Steuergeräte Sensorinformationen austauschen und Stelleingriffe über mehrere Systeme hinweg koordinieren. Die notwendigen Informationen sind nur wenige Bytes lang, müssen aber periodisch mit hoher Frequenz, kurzer Verzögerungszeit (Latenz) und großer Zuverlässigkeit übertragen werden. Für diese Anwendungen wurde CAN entworfen. Durch moderne Fahrwerkssteuerungen steigen die Anforderungen. Daher wurde CAN zu CAN FD weiterentwickelt und neue Bussysteme wie FlexRay konzipiert.
  - Low-Speed-Systeme zur Kabelbaum-Vereinfachung**  
 Auch für simplere Aufgaben wie das Ansteuern von Lampen und Fenstermotoren werden Bussysteme eingeführt, um den Kabelbaum zu vereinfachen. Da vor allem Schaltsignale übertragen werden, sind die erforderlichen Datenraten niedrig. Hauptgesichtspunkt sind die Kosten je Busknoten. Für diese Aufgaben wird eine verein-

**Tab. 1.1** Anwendungsbereiche und Anforderungen an Bussysteme im Kfz

Anwendung	Botschafts- länge	Botschafts- rate	Resultierende Datenrate	Latenz- zeiten	Fehler- sicherheit	Kosten
On-Board-Kommunikation						
<b>High-Speed-Steuerung</b>	Kurz	Hoch	Hoch	Sehr kurz	Extrem hoch	Mittel
<b>Low-Speed-Steuerung</b>	Kurz	Niedrig	Niedrig	Mäßig	Sehr hoch	Sehr niedrig
<b>Infotainment</b>	Lang	Hoch	Sehr hoch	Mäßig	Mäßig	Hoch
<b>Assistenz</b>	Mischung von Steuerungs- und Infotainment-Anforderungen					
Off-Board-Kommunikation						
<b>Werkstattdiagnose</b>	Kurz	Niedrig	Niedrig	Unwichtig	Gering	Niedrig
<b>Fertigungstest</b> beim Hersteller inkl. End-of-Line-Programming (Flashen)	Lang bis sehr lang	Niedrig	Hoch	Unwichtig	Mäßig	Unwichtig
<b>Applikation</b> am Fahrzeug und an Prüfständen in der Entwicklung (Umprogrammieren, Kalibrieren)	Kurz	Mittel bis hoch bei Messaufgaben	Mittel bis hoch	Kurz	Gering	Unwichtig
<b>Car to X</b>	Mittel	Mittel	Mittel	Hoch	Mittel	Hoch

fachte CAN-Variante ergänzt durch das noch kostengünstigere Bussystem LIN eingesetzt. Daneben entstanden spezielle Busse wie PSI5 oder Safe-by-Wire für die Vernetzung von Rückhaltesystemen.

- **Infotainment-Systeme**

Mit der Einführung von Infotainment-Systemen im Fahrzeug für Navigation, Video, Audio und Telefon müssen sehr große Datenmengen beispielsweise zwischen dem DVD-Wechsler, dem verteilten Audio-System und dem Display im Armaturenbrett ausgetauscht werden. Dabei ist der Hauptgesichtspunkt ein hoher Datendurchsatz, während die Anforderungen an die Latenzzeiten und die Übertragungszuverlässigkeit wesentlich geringer sind als bei den High-Speed-Systemen für Echtzeit-Steuerungsaufgaben. Die Anbindung an die Außenwelt und die Einbindung von Geräten der Unterhaltungselektronik erfolgt über Funkschnittstellen wie GSM/UMTS/LTE und GPS oder Consumer-Schnittstellen wie USB bzw. Bluetooth.

- **Fahrerassistenz-Systeme**

Diese Systeme verbinden Merkmale aus dem Infotainment-Bereich wie Videoübertragung mit Merkmalen von Echtzeit-Steuerungsaufgaben.

- **Off-Board-Kommunikation** zwischen Fahrzeug und externen Geräten:

- **Diagnose-Kommunikation in der Werkstatt und beim Abgastest**

Für die Fehlersuche und für Abgasprüfungen in Werkstätten ist eine Kommunikationsschnittstelle zu einem externen Tester notwendig. Die Anforderungen an Datenrate und Fehlertoleranz sind relativ gering. Die Schnittstelle ist teilweise vom Gesetzgeber standardisiert (US OBD, European OBD), darüber hinaus hat jeder Kfz-Hersteller seinen Hausstandard. Veränderungen an dieser Schnittstelle verursachen einen hohen Folgeaufwand in den Werkstätten, da die Werkstatttester weltweit angepasst werden müssen. Steuergeräte unterstützen daher in der Regel verschiedene herstellerspezifische Varianten des Diagnoseprotokolls, wobei sich Steuergerät und Tester automatisch auf eine zu beiden kompatible Protokollvariante verständigen müssen. Zunehmend wird erwartet, dass die Steuergeräte eines Fahrzeugs in der Werkstatt umprogrammiert werden können. Dabei sind höhere Datenraten sowie Zugriffsschutzmechanismen wichtig, um sicherzustellen, dass nur die zum Fahrzeug passende, vom Fahrzeughersteller freigegebene Softwarevariante verwendet und die Umprogrammierung nur durch autorisierte Werkstätten durchgeführt wird.

- **Fertigungstest beim Kfz- und beim Steuergeräte-Hersteller**

Kfz-Hersteller versuchen, mit wenigen Steuergeräte-Hardwarevarianten viele Fahrzeugmodelle mit Ausstattungsvarianten und Länderausführungen durch Softwarevarianten im Steuergerät abzudecken. Um die Logistik zu vereinfachen, wird häufig die gesamte oder ein großer Teil der Software erst beim Kfz-Hersteller ins Steuergerät geladen (*Flashen*). Für den Programmiervorgang sowie für die Fertigungsprüfung des Fahrzeugs wird ebenfalls die Diagnose-Schnittstelle eingesetzt. Gelegentlich wird diese dabei in einem Modus betrieben, der einen höheren Datendurchsatz zulässt, um kürzere Zykluszeiten zu erreichen. Da die Werkstatt im Prinzip dieselbe Diagnoseschnittstelle benützt, sind Zugriffsschutzmechanismen notwendig, da-

**Tab. 1.2** Klassifikation der Bussysteme nach der Bitrate

Class	Bitrate	Typische Vertreter	Anwendung
Diagnose	< 10 Kbit/s	ISO 9141-K-Line	Werkstatt- und Abgastester
A	< 25 Kbit/s	LIN, SAE J1587/1707	Karosserieelektronik
B	25 ... 125 Kbit/s	CAN (Low Speed)	
C	125 ... 1000 Kbit/s	CAN (High Speed)	
D	> 1 Mbit/s	FlexRay, TTP, Ethernet	Antriebsstrang, Fahrwerk, Diagnose
Infotainment	> 10 Mbit/s	MOST, Ethernet	X by Wire, Backbone-Netz
			Multimedia (Audio, Video)

mit sicherheitskritische Daten des Steuergeräts nicht von Unbefugten manipuliert werden.

- **Applikation am Prüfstand und im Fahrzeug in der Entwicklungsphase**  
Während der Anpassung eines Steuergerätes an ein bestimmtes Fahrzeug ist die Durchführung umfangreicher Messungen an Komponentenprüfständen und im Fahrzeug notwendig. Dabei müssen teilweise mehrere tausend Parameter im Steuergerät appliziert werden. Da die Steuergeräte-Hard- und Software bereits in einem seriennahen Zustand sein sollen, erfolgt die Datenerfassung und die Adaption der Parameter in der Regel über die Standardschnittstellen für die On- und Off-Board-Kommunikation, wobei die Schnittstellenprotokolle für diesen Zweck erweitert werden. Da der Applikationsaufwand bei praktisch jeder Fahrzeugvariante neu anfällt, wird inzwischen herstellerübergreifend versucht, die Applikation mit Werkzeugen zu unterstützen und zu automatisieren. Dazu wurden Standard-Schnittstellen wie ASAM MCD für den Messdatenaustausch, die Parametervstellung und die Datenhaltung geschaffen.
- **Car to Car und Car to Infrastructure (Car to X)**  
Schon heute kommunizieren Fahrzeuge etwa in Mautsystemen automatisch mit Verkehrszähl- und Leiteinrichtungen (*Car to Infrastructure*). Diese Systeme werden erweitert, um den Verkehrsfluss besser steuern und durch Kommunikation zwischen den Autos (*Car to Car*) Unfälle vermeiden zu helfen.

Aus dem dargestellten Anforderungsprofil insbesondere bezüglich der Übertragungsgeschwindigkeit ergibt sich eine Einteilung der Bussysteme in verschiedene Klassen (Tab. 1.2), wobei die Grenzen zwischen den Klassen natürlich fließend sind.

**1.2 Kfz-Bussysteme, Protokolle und Standards**

Wenn von Kfz-Bussystemen gesprochen wird, fallen in der Regel Schlagworte wie CAN, LIN, FlexRay usw. Neulinge identifizieren mit diesen Begriffen hauptsächlich den physikalisch direkt sichtbaren Teil der Kommunikationsschnittstelle mit Steckern, Kabeln und den

**Tab. 1.3** OSI-Schichtenmodell für Bussysteme und Protokolle (Datennetze), Hinweis: Schicht 0 ist keine offizielle Schicht des OSI-Modells

Layer (Schicht)			Aufgabe
7	Application	Anwendung	Allgemein verwendbare Dienste für den Anwender, z. B. Lesen des Fehlerspeichers usw.
<b>6</b>	<b>Präsentation</b>	<b>Darstellung</b>	
<b>5</b>	<b>Session</b>	<b>Sitzungssteuerung</b>	
4	Transport	Datentransport	Aufteilung und Zusammensetzen der Daten mehrerer Botschaften (Segmentierung)
<b>3</b>	<b>Network</b>	<b>Vermittlung</b>	<b>Routing, Adressvergabe, Teilnehmererkennung und -überwachung</b>
2	Data Link	Sicherung	Botschaftsaufbau, Buszugriff, Fehlersicherung, Flusskontrolle
1	Physical	Bitübertragung	Elektrische Signalpegel, Bitcodierung
0	Mechanical	Mechanik	Steckverbinder und Kabel

für die Kommunikation zuständigen Elektronikschaltungen. In Veröffentlichungen werden in diesem Zusammenhang vor allem übertragungstechnische Details auf Bitebene wie Signalpegel, Zugriffsverfahren und die Reihenfolge und Bedeutung der einzelnen Bits auf den Busleitungen ausführlich beschrieben. Die Softwareentwickler, die die Übertragungssoftware implementieren müssen, interessieren sich vor allem für die Programmierschnittstelle der eingesetzten *Buscontroller*, Fragen der Formatierung und Zwischenspeicherung der Daten sowie der Behandlung von Übertragungsfehlern. Für den Anwender dagegen sind vor allem die Bedeutung der übertragenen, eigentlichen Nutzdaten und deren Formate von Interesse, die durch die typischen Spezifikationen von Bussystemen wie CAN, LIN oder FlexRay überhaupt nicht definiert sind.

Um die verschiedenen Aufgabenstellungen bei der Datenkommunikation auseinander zu halten, kann das von der ISO standardisierte Open-System-Interconnect-(OSI)-Schichtenmodell (Tab. 1.3) dienen, das die Kommunikationshierarchie beschreibt. Die grau markierten Schichten haben für Kfz-Anwendungen (noch) keine Bedeutung.

Vor dem Spiegel realer Standards betrachtet ist das OSI-Modell allerdings eher akademischer Natur. Es hilft zwar beim Verständnis, aber die realen Standards definieren häufig nur Teile einer Schicht, fassen Aufgaben mehrerer Schichten in einer Ebene zusammen oder trennen eine Schicht auf mehrere Standards auf. Dazu kommt, dass für dieselbe Aufgabenstellung oft mehrere, voneinander abweichende Standards existieren oder umgekehrt dieselbe technische Lösung in verschiedenen Standards beschrieben wird. Noch unübersichtlicher wird die Situation dadurch, dass die unterschiedlichen Normen, selbst wenn sie

vom selben Normungsgremium stammen, Begriffe unterschiedlich, gar nicht oder sogar unterschiedliche Dinge gleich benennen.

Die weithin bekannten Kfz-Bussysteme wie CAN, LIN oder FlexRay (Tab. 1.4) legen in der Regel lediglich die Schichten 0 bis 2 fest, wobei meist sogar nur ein Ausschnitt exakt spezifiziert wird. So lässt etwa die von Bosch veröffentlichte Grundspezifikation CAN 2.0 A/B die mechanischen Aspekte (Stecker, Kabel) völlig außen vor und beschreibt die Schaltung zur Busankopplung und die Signalpegel nur beispielhaft ohne exakte Vorgaben. Die darauf aufsetzende ISO 11898 übernimmt die Bosch-Spezifikation für Schicht 2 weitgehend und liefert für Schicht 1 in nachträglich hinzugekommenen Anhängen Spezifikationsvorschläge nach. Der für die Kfz-Diagnoseschnittstelle grundlegende Standard ISO 9141 dagegen spezifiziert zunächst nur die Schichten 0 und 1 und lässt selbst dabei noch eine Reihe von nur bedingt kompatiblen Varianten zu. Erst spätere Ergänzungen beschreiben Teile der Schicht 2.

Für die höheren Schichten existieren erst seit jüngster Zeit Standards, z. B. wird die Schicht 7 für die abgasrelevanten Teile der Kfz-Diagnose durch den Gesetzgeber in ISO 15031 definiert. Dabei bleibt zunächst offen, ob auf den unteren Schichten die klassische ISO 9141-Schnittstelle oder ein CAN-Bus zum Einsatz kommt. In zusätzlichen Ergänzungen des Standards mit ISO 14230 bzw. ISO 15765 dagegen werden dann Spezifikationen nachgeliefert, die auf K-Line- oder CAN-Spezifika abheben, obwohl es sich eigentlich um eine Schicht 7 Spezifikation handelt.

Da die unteren Schichten immer von den höheren, die höheren Schichten oft, aber praktisch nie vollständig von den unteren Schichten unabhängig sind, wird in den folgenden Kapiteln die Darstellung aufgespalten in die großen Bereiche:

- **Kfz-Busse** (Schicht 0 bis 2), werden in Kap. 2 und 3 beschrieben.
- **Transportprotokolle** (Schicht 3 und 4), werden in Kap. 4 dargestellt.
- **Anwendungsprotokolle** (Schicht 5 bis 7), werden in Kap. 5 und 6 erläutert.
- **Softwarestandards und Anwendungen** werden in Kap. 7 bis 10 vorgestellt.

---

### 1.3 Standardisierung bei Kfz-Bussystemen und Software

Die Tab. 1.5, 1.6 und 1.7 geben einen Überblick über die im Kfz-Bereich relevanten Standards. Bussysteme mit eingeschränkter Marktbedeutung (z. B. VAN, CCD, D2B, TTP), Busse, deren Hersteller erklärt haben, das Bussystem nicht weiterzuentwickeln oder ablösen zu wollen (z. B. ABUS, Byteflight), und Bussysteme, die nur für sehr spezielle Anwendungen, z. B. die Vernetzung von Airbag-Steuergeräten, eingesetzt werden, wurden nicht aufgeführt.

**Tab. 1.4** Kfz-Busse (Schicht 0 bis 2), Web-Links zu den Herstellern im Anhang

Bustyp	Anwendung	Europ. Standards	US-Standards
<i>Zeichen-basiert (UART)</i>			
K-Line	Diagnose	<b>ISO 9141</b>	
SAE J1708	Diagnose, Class A On-Board		<b>SAE J1708</b> (Truck and Bus) 9,6 kbit/s
LIN	Class A On-Board	Herstellerkonsortium 20 kbit/s	<b>SAE J2602</b>
<i>PWM-basiert</i>			
SAE J1850	Diagnose, Class A/B On-Board		<b>SAE J1850</b> (PWM Ford, VPWM GM, Chrysler) 10,4 und 41,6 kbit/s
<i>Bitstrom-basiert</i>			
CAN	Class B/C On-Board, Diagnose	<b>ISO 11898</b> Bosch CAN 2.0 A, B 47,6 ... 500 kbit/s	<b>SAE J2284</b> (Passenger Cars) 500 kbit/s
CAN FD			
TTCAN		<b>ISO 11992</b> CAN für Zugfahrzeuge und Anhänger	<b>SAE J1939</b> (Truck and Bus) 250 kbit/s
		<b>ISO 11783</b> ISOBUS CAN für Landmaschinen (Basis J1939)	500 kbit/s
FlexRay	Class D On-Board	Herstellerkonsortium, <b>ISO 17458</b> , 10 Mbit/s	
TTP	Class D On-Board	Herstellerkonsortium	
MOST	Infotainment	Herstellerkonsortium 25, 50, 150 Mbit/s	
Ethernet	Diagnose Flash Programmieren	<b>IEEE 802.3, ISO 13400</b> 10/100 Mbit/s	
<i>Diverse</i>			
PSI5, SENT ASRB, DSI	Class A/B On-Board Sensor-Aktor-Bus	Herstellerkonsortien	



**Tab. 1.5** Transportprotokolle (Schicht 4)

Transportprotokoll	Anwendung	Europ. Standards	US-Standards
ISO TP	CAN	ISO 15765-2	
FlexRay TP	FlexRay	ISO 10681-2	
SAE J1939	CAN		SAE J1939/21
TP 1.6, TP 2.0	CAN	Hausstandard VW/Audi/Seat/Skoda	
DoIP	Ethernet	ISO 13400-2	

**Tab. 1.6** Anwendungsprotokolle (Schicht 7)

Protokoll	Anwendung	Europ. Standards	US-Standards
<b>ISO 9141-CARB</b>	Diagnose US OBD	<b>ISO 9141-2</b> Veraltete US-Diagnoseschnittstelle	SAE J1979, J2190
<b>KWP 2000</b> Keyword Protocol	Diagnose (allgemein und OBD)	<b>ISO 14230</b> KWP 2000 Diagnostics on K-Line	
<b>UDS</b> Unified Diagnostic Services	Diagnose (allgemein und OBD)	<b>ISO 14229</b> UDS Unified Diagnostic Services <b>ISO 15765</b> UDS on CAN	
<b>OBD</b>	Diagnose US OBD European OBD	<b>ISO 15031</b> (identisch mit den US-Standards)	SAE J1930, J1962, J1978, J1979, J2012, J2186
<b>CCP</b> Can Calibration Protocol <b>XCP</b> Extended Calibration Protocol	Applikation	<b>ASAM AE MCD</b> ASAM-Konsortium Automotive Electronics Measurement, Calibration and Diagnostics	

1.4 Neuere Entwicklungen

Nachdem der Beginn des Jahrhunderts zunächst mit LIN, FlexRay und MOST eine Vielfalt neuer Bussysteme im Fahrzeug gebracht hat, setzte sich allmählich die Erkenntnis durch, dass die heterogene Vielfalt letztlich aufwendig und nur schwer zu beherrschen ist. Die Wirtschaftskrise im Jahr 2009 hat diese Überlegungen sicher noch beschleunigt. Für diese Vielfalt gab es wohl drei Hauptursachen, die überwunden werden müssen, bevor eine echte Konsolidierung möglich ist:

- Im Automobilbereich gibt es ein ausgeprägtes Kostenbewusstsein, das sich allerdings stark auf die Stückkosten konzentriert. Der Engineeringaufwand dagegen wird im Hinblick auf die hohen Stückzahlen oft wenig beachtet, es sei denn er verursacht zu lange

**Tab. 1.7** Standards für die Implementierung von Anwendungen mit Bussystemen

Standard	Anwendung	Europ. Standards
OSEK/VDX	Betriebssystem	<b>ISO 17356-3</b> OSEK OS
	Kommunikation	<b>ISO 17356-4</b> OSEK COM
	Netzmanagement	<b>ISO 17356-5</b> OSEK NM
ASAM AE MCD	Applikation	Standardisierte Mess-, Kalibrier- und Diagnosewerkzeuge mit den wichtigen Teilstandards ODX/OTX für Diagnosedaten und -tests FIBEX Datenformat für die Beschreibung der Buskommunikation
HIS	Flashen Hardwaretreiber	Hersteller Initiative Software HIS Softwaremodule für Steuergeräte
AUTOSAR	Softwarearchitektur	Softwarestruktur zukünftiger Steuergeräte inklusive AUTOSAR OS, COM und NM

Entwicklungsdauern (*Time to Market*). LIN ist ein klassisches Beispiel für eine Lösung, die technisch nicht mehr kann als der schon lange vorher etablierte CAN, aber geringfügig niedrigere Stückkosten hat. Welcher Aufwand in die Grundsatzentwicklung, Einführung und Pflege von LIN, den Upgrade existierender CAN-Werkzeuge für LIN, die Schulung von Mitarbeitern und die Entwicklung unzähliger CAN/LIN-Gateways geflossen ist, ist schwer zu beziffern und wird von den Protagonisten neuer Lösungen oft sogar bewusst klein gerechnet. Die Kosten von Feldausfällen, die direkt oder indirekt aus Spezifikations- oder Testlücken beim Zusammenspiel von LIN und CAN entstanden, sind wohl selbst den Verantwortlichen nicht wirklich bekannt. Ehrlicher Weise muss man diese verborgenen Kosten einer neuen, oft komplexeren Lösung der möglichen Stückkostenreduktion im Vergleich zu einer vorhandenen, einfacheren Lösung gegenüberstellen.

- Viele Lösungen spiegeln die Organisationsstrukturen der Automobilhersteller und ihrer Zulieferer wieder. Historisch wurden Motor, Getriebe, Fahrwerk und Karosserie von verschiedenen Abteilungen, oft sogar Entwicklungs- oder Geschäftsbereichen verantwortet. Auch wenn die Beteiligten an den Schnittstellen ihrer Komponenten zur Zusammenarbeit gezwungen waren, wird doch oft versucht, eine für den eigenen Zuständigkeitsbereich optimale Lösung zu finden. Nicht überzeugend auch, wenn neue Konzepte in Forschung und Vorentwicklung ohne Rücksicht auf Erfahrungen aus der Serien- und Fertigungspraxis entwickelt werden. Auf diese Weise entstehen typische domänenspezifische Lösungen. MOST orientiert sich fast ausschließlich an den Anforderungen des Infotainment. FlexRay merkt man an, dass die Entwickler den Fahrwerksbereich mit seinen zeitkritischen verteilten Regelsystemen und hohen Sicherheitsanforderungen im Blick hatten, während die Flexibilität, mit der Karosserieelektroniker noch kurz vor Serienanlauf einige weitere Signale in eine vorhandene oder neue Busbotschaft packen wollen, beim Entwurf sicher nicht im Vordergrund stand. Ärger bereiten solche Inselösungen aber erst dann, wenn Steuergeräte im Fahrzeug dort eingebaut werden müssen,

wo noch ein freier Bauraum zu finden ist. Und wenn ausgerechnet dort das für die Aufgabenstellung eigentlich zuständige Bussystem nicht zur Verfügung steht. Dann wird die Ansteuerung des Motorlüfters schon einmal von der Lichtsteuerung übernommen und das Infotainment-Steuergerät bekommt noch eine CAN- oder LIN-Schnittstelle, weil die Radiobedientasten im Lenkrad nun einmal kein MOST-Interface besitzen. Richtig hinderlich werden diese Domänengrenzen, wenn Fahrerassistenzsysteme integriert werden sollen, die nur durch das Zusammenwirken von Funktionsgruppen mehrerer Domänen realisierbar sind.

- Haupttreiber der Komplexität ist nicht zuletzt das Beharrungsvermögen der Automobilindustrie, das durch die breiteren Modellpaletten und paradoxerweise gerade durch kürzere Entwicklungszyklen erzwungen wird. Beides ist nur möglich, wenn viele Teilsysteme über mehrere Modellbaureihen und Fahrzeuggenerationen wiederverwendet werden. Dies erzwingt Aufwärtskompatibilität und verhindert, dass Neuentwicklungen ältere Lösungen vollständig ablösen. Hatten die ersten Motorsteuergeräte zusätzlich zur ihren proprietären PWM-Schnittstellen ein K-Line-Diagnoseinterface, so kamen später ein, dann mehrere CAN-Busse dazu, ohne dass die K-Line wirklich verschwand. Mittlerweile haben Motorsteuergeräte auch ein FlexRay- und ein LIN-Interface und vielleicht demnächst auch noch eine Ethernet-Schnittstelle. Aber ob die PWM-Schnittstellen wirklich verschwunden sind, ist so sicher nicht. Das alte CAN-Interface, das die Einführung von FlexRay überlebt hat, kann sich freuen, zu CAN FD erweitert zu werden, und muss nicht befürchten, durch Ethernet vollständig ersetzt zu werden. Mit jedem neuen Konzept nimmt die Komplexität zu statt ab. Und so, wie bei CAN, bei LIN und schließlich bei FlexRay wird man sich bei der Einführung von Ethernet vorrangig auf das Übertragungsmedium konzentrieren, statt endlich auch im PKW-Bereich die Anwendungsschnittstelle, d. h. die zu übertragenden Echtzeitdaten, zu standardisieren, wie man das im Nutzfahrzeugbereich mit SAE J1939/71 schon vor 20 Jahren gemacht hat.

Natürlich kennt die Automobilindustrie diese Problembereiche und geht dagegen an:

- Elektrik/Elektronik-(E/E)-Architekturen werden gezielter konzipiert und analysiert.
- AUTOSAR ist ein richtiger, wenn auch selbst sehr komplexer Schritt, die Komplexität durch hierarchische Strukturen, Kapselung und eine stärkere Automatisierung der Softwareerstellung beherrschbar zu machen.
- CAN FD ist der Versuch, durch evolutionäre Änderungen den eher revolutionären Umstieg auf FlexRay in vielen Systemen unnötig zu machen.
- Ethernet könnte langfristig vielleicht wirklich zu einer Bereinigung der Bussystem-Landschaft im Automobil führen.

Bis dahin ist allerdings ein langer Weg, so dass der Entwickler und damit dieses Buch von Ausgabe zu Ausgabe immer mehr statt weniger Themengebiete abdecken muss.

## Literatur

- [1] Robert Bosch GmbH, K. Reif, K.-H. Dietsche (Hrsg.): Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. Springer Vieweg Verlag, 27. Auflage, 2011
- [2] R. K. Jurgen (Hrsg.): Automotive Electronics Handbook. McGraw Hill Verlag, 2. Auflage, 1999
- [3] G. Conzelmann, U. Kiencke: Mikroelektronik im Kraftfahrzeug. Springer Verlag, 1. Auflage, 1995
- [4] J. Schäuffele, T. Zurawka: Automotive Software Engineering. Springer-Vieweg Verlag, 5. Auflage, 2013
- [5] K. Reif: Automobilelektronik. Springer-Vieweg Verlag, 4. Auflage, 2012
- [6] H. Wallentowitz, K. Reif: Handbuch Kraftfahrzeugelektronik. Springer-Vieweg Verlag, 2. Auflage, 2011