

# Einer für alle - Kahlschlag im Kabelbaum

***Fahrzeugverkabelungen messen heute nach Kilometern verlegten Kabels. Nicht nur das Gewicht, sondern auch die Komplexität der Verkabelung wächst ständig. Daß auch hier modernste, ständig erweiterbare Multiplex- und Bustechnik zur Minimierung des Aufwands beitragen kann, zeigt unser Artikel. Ganz speziell widmen wir uns dem CAN-Bus.***

„Kahlschlag im Kabelbaum“ - treffender als Bosch seine Kampagne gegen ausufernde Kabelbäume in Kraftfahrzeugen nennt, kann man den zukünftigen Trend zur Multiplexverkabelung, zum Datenbus statt Kabelstrang, kaum bezeichnen.

Bis zu 2.000m Kabel mit einem Gewicht von bis zu 100 kg sind heute in einem modernen PKW verbaut, mit steigender Tendenz. Zahlreiche elektrische Helfer und neue Elektronikkomponenten erfordern immer umfangreichere Verkabelungen. Dazu kommen Platzierungsprobleme im Fahrzeug, die wiederum nur durch enorme

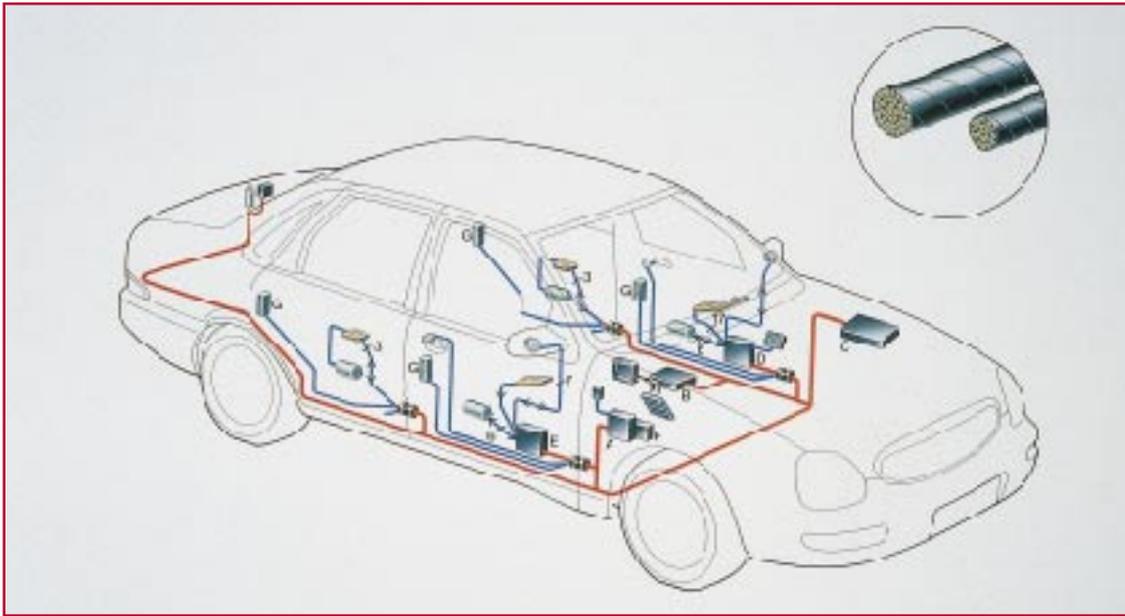
Zunahme von Leitungen gelöst werden können.

Ein Beispiel ist die Unterbringung des Sicherungsverteilers an wartungsfreundlicher Stelle und dessen Verbindung mit der meist innerhalb der Fahrgastzelle platzierten Bordelektronik. Besonders drastisch wirkt sich dies in voll ausgestatteten Fahrzeugen aus. Die Zeiten der rund um den Sicherungsverteiler im Motorraum oder unter dem Armaturenbrett untergebrachten Bordelektrik sind seit der Einführung komplexer, spezialisierter Elektronikkomponenten vorbei. Die relativ empfindli-

chen und sehr teuren Elektronikbaugruppen müssen möglichst vor Witterungseinflüssen und unbefugtem Zugriff geschützt sein. Armstärke Kabelstränge quer durch das ganze Auto sind das Ergebnis.

## Hohe Ausfallraten

Entsprechend hoch sind die Fahrzeugausfälle durch Störungen der Fahrzeugelektrik. Pannendienste verzeichnen parallel zur steigenden Ausstattung mit Bordelektrik und -elektronik eine ständig steigende Tendenz von Elektrikausfällen.



**Bild 1: Im Ford-Multiplexsystem werden die Daten zwischen den einzelnen Steuermodulen, Schalteinheiten und Stellgliedern über Zweidrahtleitungen übertragen. Der herkömmliche Kabelbaum entfällt weitgehend (Grafik: Ford).**

Siemens konstatiert in einer Studie den Ausfallanteil der Bordnetzverkabelung am Gesamtanteil des Ausfalls von Elektrikkomponenten mit 40%.

Entsprechend mühsam und damit teuer wird die Fehlersuche im Kabelwirrwarr.

Schließlich sind solche Kabelmonster, wie sie z. B. BMW zwischen Rücksitzbank und Armaturentafel verbaut, heute ein bedeutender Kostenfaktor im Fahrzeugbau. Sie sind sehr teuer in der Herstellung, bei der Wartung und stellen durch ihr Gewicht bei der heutigen Tendenz zum Leichtbau ebenfalls ein Problem dar. Da nutzt der gewichtsmäßig abgespeckte Alumotor oder das Alu-Fahrgestell wenig, wenn gleichzeitig das Gewicht durch bessere Ausstattung der Bordelektrik steigt.

Dazu kommt, daß die meisten Fahrzeuge Dutzende von Kilo ungenutzten Kabels mit sich herumschleppen, denn die Hersteller verlegen oft komplette Kabelbäume, z. B. in die Türen, obwohl z. B. das Fahrzeug nicht mit elektrischen Fensterhebern oder elektrischer Spiegelverstellung ausgeliefert wird, vorbehaltlich der Nachrüstung dieser Komponenten. Sehen Sie einmal unter Ihre Armaturentafel, wie viele unbenutzte und unbelegte Stecker und Buchsen dort liegen.

### Buskonzept - die Lösung

Einen Ausweg aus diesem Dilemma haben führende Entwickler von Autoelektriksystemen wie Bosch und Siemens bereits vor vielen Jahren präsentiert. Die Autoindustrie setzte diese Lösungen in der Vergangenheit jedoch bisher nur zögerlich und partiell in der Oberklasse ein. Erst ab 1996 beginnt eine breitere Einführung von Buskomponenten in der Fahrzeugelektronik.

Während die Siemens-Lösung der Zentralisierung und Zusammenfassung von mehreren Elektronikbaugruppen mit ihren Schalt- und Sicherungsorganen bisher eher Fuß gefaßt hat, kommt die Idee des busorientierten Bordnetzes, wie sie z. B. Bosch entwickelt hat, nur zögerlich, etwa bei BMW, Ford und Mercedes Benz zum Einsatz.

Aber gerade diese Lösung birgt die Zukunft des Kfz-Bordnetzes in sich. Der Schlüssel zum Erfolg heißt hier Informationsverteilung statt Stromverteilung.

### Da waren's nur noch vier

Die Idee ist bestechend einfach: Man lege zu den Punkten im Fahrzeug, an denen sich eine Ansammlung elektrischer Geräte befindet, z. B. in die Tür, zum Heck, zu den diversen Steuergeräten, nur noch jeweils vier Adern. Zwei sorgen für den Energietransport quer durch das gesamte Fahrzeug und zwei für den seriellen Informationstransport zu den einzelnen Elementen bzw. für den Informationsaustausch zwischen diesen.

Die Idee stammt eigentlich aus der Computerbranche. Auch hier werden große Datenmengen über serielle Verbindungen und entsprechende Protokolle, z. B. Ethernet, I<sup>2</sup>C oder CAN ausgetauscht.

Und eben das CAN-Prinzip faßt in der Fahrzeugverkabelung zunehmend Fuß. CAN bedeutet nichts anderes als Controller Area Network und kennzeichnet ein inzwischen zum Teil international genormtes Übertragungsprotokoll für den Informationsaustausch auf Zweidrahtleitungen. CAN ist als Norm für Kommunikations-Bussysteme in der industriellen Meß- und Steuerungstechnik bereits weit verbreitet.

Ein solches Verfahren ist für die Kraft-

fahrzeugbauer geradezu revolutionär. Prognosen sprechen von ganzen 800g Kabelbaum im Auto - ein dünnes Lichtleiterkabel, und alle Informationen sind verteilt.

Und wie in der Computertechnik, sitzen an den, natürlich genormten, Schnittstellen intelligente Schnittstellenkonverter, die die Informationen aufbereiten und die Elektrikkomponenten ansteuern.

Genormte Schnittstellen sind unabdingbar für die Funktion eines solchen Systems. So kann sich jeder Komponentenlieferant darauf verlassen, einen bestimmten Steckverbinder mit einem genau definierten Datenprotokoll im Fahrzeug vorzufinden.

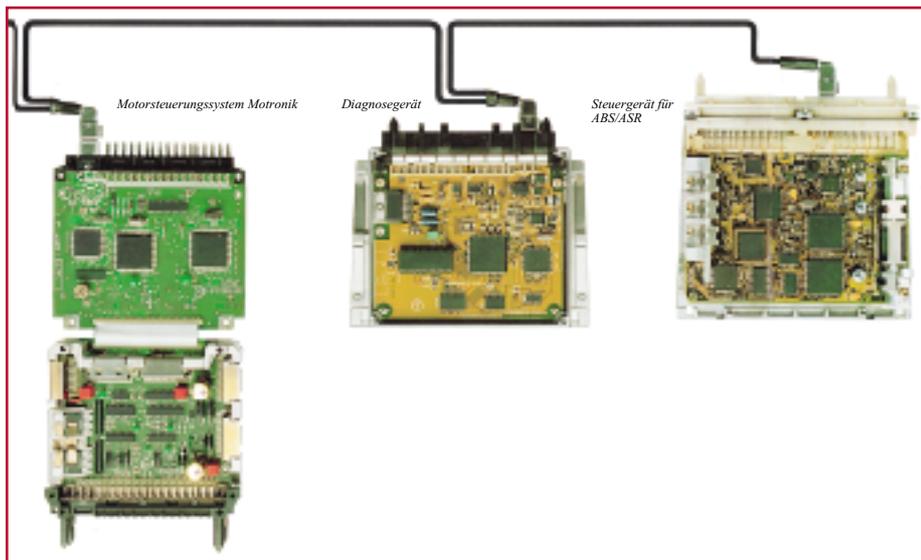
Ein Controller direkt z. B. in der Tür, entschlüsselt bzw. verschlüsselt die CAN-Signale und verteilt sie an die elektrischen bzw. mechanischen Baugruppen.

So sorgt z. B. beim aktuellen Ford Scorpio mit Teil-Multiplexverkabelung ein Controller in der Fahrertür sowohl dafür, daß Fensterheber und Zentralverriegelung angesteuert werden als auch für Rückmeldungen und die Steuerung der Außenspiegel, der Sitzverstellung usw. (Abbildung 1).

Sicher wird mancher einzuwenden haben, daß ein derartiges System aufgrund der zahlreichen elektronischen Komponenten teuer und störanfällig sein muß.

### CAN - sicher und preiswert

Beides trifft jedoch nicht zu. CAN-Controller können heute schon so preiswert und in großen Mengen produziert werden, daß ihr Preis deutlich unter dem eines Stücks herkömmlichen Kabels liegt. Denn die meisten Applikationen erfordern keinen lokalen Rechneraufwand, sondern nur eine Umsetzung der Daten in Steuersignale und umgekehrt, so daß hier einfache I/O-Ein-



**Bild 2: Das CAN-System ermöglicht die Verbindung unterschiedlicher elektronischer Steuergeräte über einen seriellen Datenbus (Grafik: Bosch).**

heiten, sog. SLIO (Serial Linked I/O) zum Einsatz kommen können. Dem Thema Störanfälligkeit begegnen die Softwareentwickler durch ständige Busabfragen und Rückmeldungen, ob der definierte Zustand am Verbraucher herrscht. So überprüfen sich bei Ford z. B. die Multiplex-Module ständig selbsttätig und kommunizieren per Rückkopplung miteinander.

Sicherheitsrelevante Signale, wie z. B. das Schließen der elektrisch betätigten Fenster oder der Zentralverriegelung, werden vom System alle 100ms erneut überprüft. So kann es praktisch nie zu Fehlfunktionen, etwa der selbständigen Öffnung der Zentralverriegelung kommen.

Nun können geplagte Computeranwender aufgrund ihrer eigenen Erfahrungen ein in der Computerwelt gängiges Szenario auch bei CAN befürchten: Eine lineare Busstruktur sorgt immer einmal für eine „Verstopfung“ des Busses, d. h., bestimmte Prozesse blockieren den Bus und andere

Prozesse werden solange abgewiesen, bis der Bus wieder ein Zeitfenster zur Verfügung stellen kann.

Was im betrieblichen Netzwerk nur zur Verzögerungen der Datenübertragung führt, kann im Kraftfahrzeug tödliche Folgen haben. Ist der Bus wohl gerade damit ausgelastet, alle Türverriegelungen abzufragen, gleichzeitig wird ein Fenster geöffnet etc. und in diesem Moment muß das ABS blitzschnell eingreifen, findet aber kein Zeitfenster auf dem Bus... - nicht vorzustellen!

Die Entwickler solcher Systeme bauen hier vor. Einmal durch geschicktes Zeitmanagement auf dem Bus ähnlich dem in der landläufigen Computertechnik und einmal durch Trennung in einen sogenannten „schnellen“ Steuergerätebus, der in Echtzeit arbeitet, und einen „langsamen“ Karosserie-Bus als Multiplexanwendung

Während ersterer leistungsfähiger (und teurer) im Datendurchsatz ausgelegt ist - er hat Übertragungsraten von bis zu 1 MB/

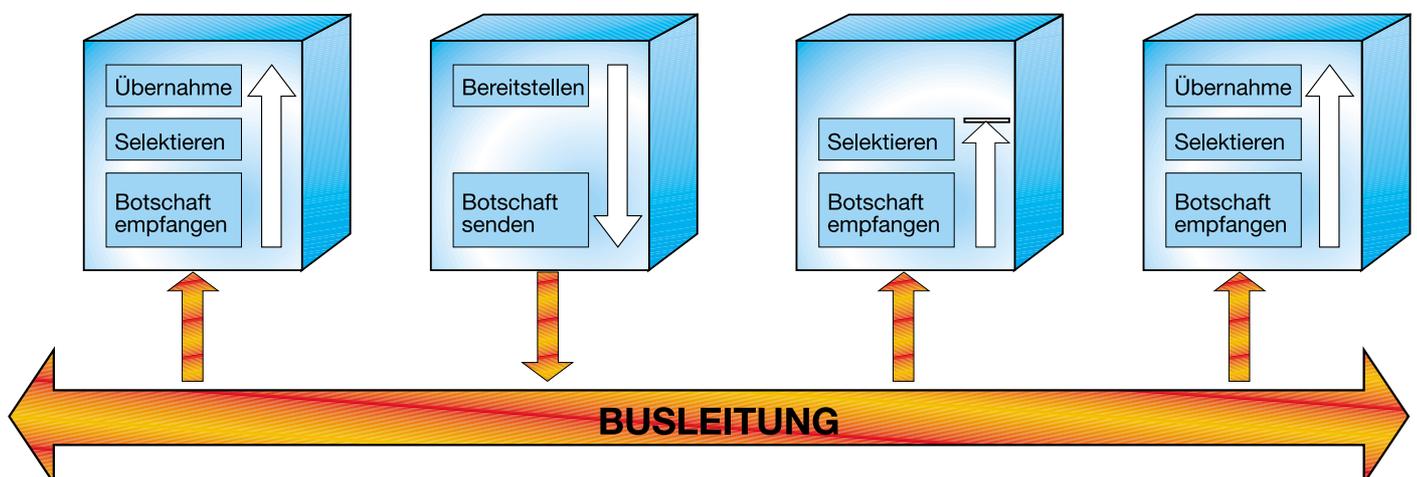
zu realisieren - kann es auf dem Karosseriebus etwas „gemächlicher“ zugehen. Hier sind Datenübertragungsraten von bis zu 100kB/s zu bewältigen. Entsprechend preiswerter, können, wie gesagt, die CAN-Bausteine auf diesem Bus ausfallen. Sie werden „basicCAN“ genannt, sind jedoch in ihrem Protokoll kompatibel zum „Voll-CAN“ und somit beliebig im System integrierbar.

Leser, die mit Apple Macintosh-Rechnern arbeiten, können dies leicht nachvollziehen. Während ein Ethernet-Anschluß den Datentransfer enorm schnell macht, zuckelt die langsame Apple-Talk-Schnittstelle gemütlich vor sich hin. Beide sprechen aber die gleiche Sprache für den Rechner: Apple-Talk.

Dazu kommt ein weiterer Bus, der immer mehr an Bedeutung gewinnen wird, der Kommunikationsbus. Über diesen laufen alle Komponenten des Kommunikationsbereiches wie Radio, Telefon, Navigationssystem und Fahrerinformationssystem. Auch hier genügt ein relativ „langsamer“ Bus wie der Karosseriebus.

### Vernetzt und intelligent

Der Steuerbus sorgt für die Vernetzung der Steuergeräte von Motor und Fahrwerk mit ihren Stellgliedern und Sensoren sowie der Steuergeräte untereinander (Abbildung 2 und Titelbild). Denn zunehmend sind die Steuergeräte bereits untereinander beeinflussbar. So wirkt das ABS vielfach schon direkt auf die Motorsteuerung (z. B. automatische Schlupfregelung) ein. Giersensoren wiederum wirken auf mehrere Steuergeräte gleichzeitig, um ein Ausbrechen des Fahrzeugs zu verhindern. Was sich in solch einem Fall auf dem CAN-Bus abspielt, kann man sich leicht ausmalen. Deshalb sind die Fahrzeugelektroniker einen ganzen Schritt weiter gegangen als die Computerindustrie.



**Bild 3: Jeder CAN-Controller am Bus erkennt die für ihn relevanten Informationen aus dem Bussignal selbständig, eine herkömmliche Adressierung entfällt. (Quelle: Bosch)**

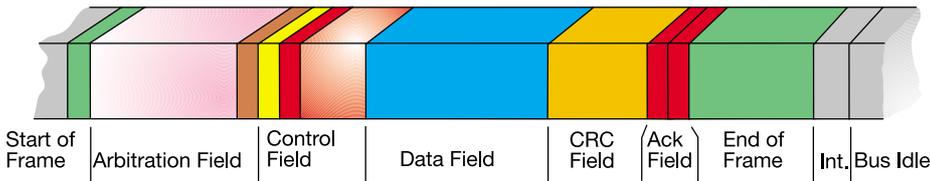


Bild 4: Aufbau des CAN-Datenübertragungsformats (Quelle: Bosch)

Während ein PC durch einen einfachen Bildschirmschoner schon einmal in der Datenübertragung gestört werden kann, setzt das CAN-Protokoll Prioritäten, die Busarbitration.

Durch Trennung der Informationswege werden Störungen und Buskollisionen vermieden. Dazu kommt die objektorientierte Datenübertragung, d. h., die Daten werden nicht an eine bestimmte Adresse im Netz übertragen, sondern sie enthalten eine Kodierung (Identifizier) über ihren Zweck, den der betreffende CAN-Baustein am Bus erkennt und so seine Informationen erhält (Abbildung 3). So werden Adresskonflikte und Timingprobleme sehr sicher vermieden.

Und letztendlich sind im CAN-Protokoll Schutzmechanismen gegen falsche und unvollständige Datenübertragung wie mehrfache CRC-Prüfung und Überwachung des Nachrichtenformats mit mehrfacher Wiederholung bei Datenfehlern eingebaut.

Aus dieser intelligenten Netzstruktur des CAN heraus ist es möglich, am Netz mehrere gleichberechtigte Controller im sog. Multi-Master-Betrieb zu betreiben. Fällt einer der Controller aus, beeinträchtigt er nicht die Funktion des Gesamtnetzes. Sein Ausfall wird über Fehlerbits im CAN-Datenpaket zwar registriert (und irgendwo gespeichert oder angezeigt), er führt aber, anders als z. B. manches Computernetzwerk, nicht zum Kollaps des Gesamtsystems.

**Nichts geht verloren**

Durch ein spezielles, zerstörungsfreies Buszugriffsverfahren ist geregelt, daß bei gleichzeitigem Zugriff mehrerer Botschaften mit hoher funktionaler Wichtigkeit diejenige übertragen wird, die der Anwender als die mit der höchsten Priorität definiert hat. Gleichzeitig wird durch effiziente Ausnutzung der Buskapazität dafür gesorgt, daß im Kollisionsfall die Daten mit der niedrigeren Priorität übertragen werden, sobald Kapazität frei ist. Sie werden also weder zurückgewiesen noch auf dem Bus verstümmelt, wie dies eine Eigenart z. B. des Ethernet ist.

Wie die Übertragung funktioniert, zeigt uns ein genauer Blick auf das CAN-Übertragungsformat.

**CAN intern**

Für die Übertragung auf dem Bus wird ein Datenrahmen aufgebaut, der aus sieben Bitfeldern besteht (Abbildung 4).

Die Übertragung beginnt mit dem **Start of Frame**. Dieses Feld markiert den Beginn einer Botschaft und synchronisiert alle Stationen am Bus.

Das darauf folgende **Arbitration Field** enthält den Identifizier der Botschaft und das RTR-Bit. Während der Übertragung dieses Feldes überprüft der Sender bei jedem Bit, ob er noch sendeberechtigt ist oder ob eine andere Station mit höherer Priorität sendet. Je nach gewähltem Botschaftsformat hat der Identifizier eine Länge von 11 oder 29 Bit (erweitertes Format). Das RTR-Bit entscheidet, ob es sich bei der Botschaft um einen Data Frame oder einen Remote Frame handelt, vereinfacht gesagt, hier ist die Richtung der Datenübertragung verschlüsselt.

Das **Control Field** enthält den Code für die Anzahl der eigentlichen Datenbytes im **Data Field**, das nun folgt. Es enthält bis zu 8 Byte. Eine Botschaft mit der Datenlänge Null kann zur Synchronisation verteilter Prozesse dienen.

Das **CRC-Field** enthält ein Rahmensicherungswort zur Erkennung von etwa auftretenden Übertragungsstörungen.

Im **Ack Field** befindet sich ein Bestätigungssignal aller Empfänger, die die Botschaft fehlerfrei erhalten haben.

Schließlich markiert **End of Frame** das Ende der Botschaft. Nach einem kurzen **Inter Frame Space**, quasi einer Freihaltzone, ist der Bus frei für den nächsten Datenrahmen.

Daneben gibt es noch das erweiterte Format, das eine Identifizier-Erweiterung um 18 Bit und in bestimmten Konfliktfällen eine erweiterte Prioritätenerkennung zuläßt. Beide Formate können auf einem Bus koexistieren.

**Total unter Kontrolle**

Wie bereits angedeutet, verfügt CAN über eine Reihe von Kontrolleinrichtungen zur Störungserkennung:

Da wäre einmal die bereits erwähnte **CRC-Prüfung**, die für die CAN-üblichen kurzen Botschaften optimiert wurde.

Die **Buspegelüberprüfung** wird von jeder Station, die ein Bit sendet, vorgenommen. Wird anstelle des gesendeten Bitwerts ein anderer Bitwert auf dem Bus gefunden, dann liegt, von zwei Ausnahmefällen abgesehen, ein Fehler vor. Die Ausnahmefälle betreffen die Arbitrierung um den Buszugang, wenn mehrere Stationen gleichzeitig Botschaften senden wollen, und das Acknowledgement, bei dem empfangende Stationen durch ihr Bestätigungssignal im Ack Field den Buspegel verändern.

Die dritte Maßnahme ist das **Bit Stuffing bzw. Destuffing**. Das Bit Stuffing schreibt vor, daß während einer Übertragung eines Data Frame jeweils zwischen Start of Frame und dem Ende des CRC-Feldes maximal fünf aufeinanderfolgende Bit die gleiche Polarität haben dürfen. Im-

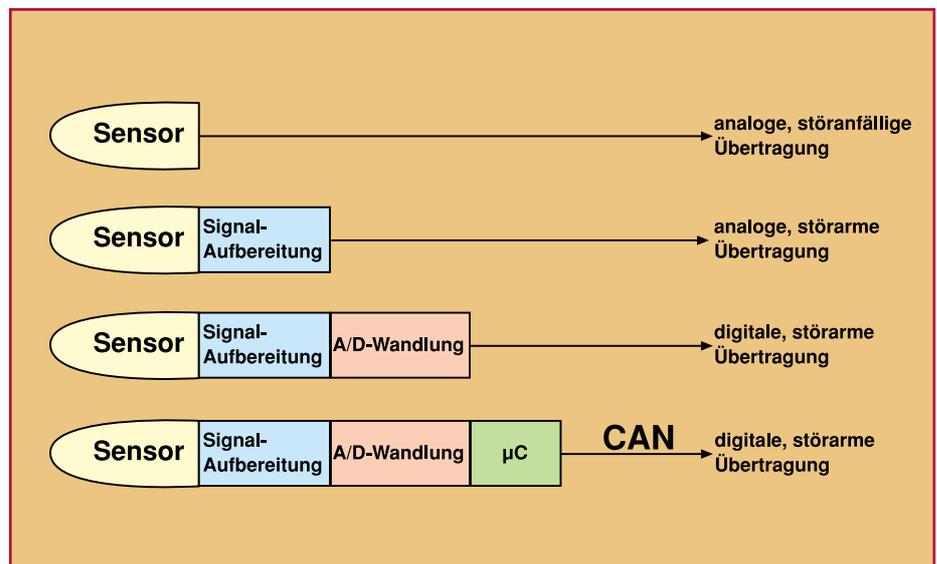


Bild 5: Zunehmend wird die Auswerteelektronik bis zum Mikrocontroller für die Bedienung des CAN im Sensor integriert. (Quelle: Bosch)

mer, wenn fünf gleiche Bit übertragen worden sind, wird vom Sender automatisch ein zusätzliches Bit entgegengesetzter Polarität in die Botschaftssequenz eingefügt (Stuffing). Die Empfänger eliminieren dieses zusätzliche Bit wieder (Destuffing).

Und schließlich greift als vierte Maßnahme die **Botschaftsrahmensicherung**. Das CAN-Protokoll enthält einige Bitfelder mit festem Format. Außerdem ist die Länge jedes Data Frame oder Remote Frame vom Protokoll in der Datenlängencodierung vorgegeben und damit überprüfbar. CAN-Bausteine führen eine Rahmensicherung durch, indem bei Formatverletzung die entsprechende Botschaft ungültig gemacht wird.

Stellt ein CAN-Controller eine Störung fest, so bricht er die laufende Übertragung durch das Senden eines Error Flag für alle anderen Stationen ab. Es verletzt gezielt die Stuffing-Regel oder die Formatvereinbarung. Auch bei lokalen Fehlern, die zunächst nur bei einer oder wenigen Stationen wirksam werden, wird die Botschaft für alle Stationen des Systems ungültig gemacht. Dadurch wird die systemweite Datenkonsistenz gesichert, es kommt nicht zum Systemkollaps.

Um das System bei einer fehlerhaften Station nicht anhaltend zu belasten, sieht das CAN-Protokoll Mechanismen vor, die Fehlersituationen analysieren. So erkennt eine Station ihre wahrscheinliche Fehlerhaftigkeit, wenn sie häufig Botschaften abbricht, bevor andere Stationen ebenfalls Fehler erkannt haben. Dies entlastet den Bus. Als erste Maßnahme sieht das Protokoll vor, zu verhindern, daß eine solche Station weiterhin Botschaften abbricht. Im Extremfall erfolgt die Selbstabschaltung der betreffenden Station.

### Noch weniger Kabel

Um den Verkabelungsaufwand zwischen Sensoren, Elektronikeinheiten und Aktuatoren weiter zu senken, verfolgt man seitens der Elektronikhersteller Siemens und Bosch weitere, im Prinzip verwandte Optimierungslösungen.

Siemens zum Beispiel integriert mehrere Funktionsgruppen in einem kompletten Baustein (ISU - Intelligent Switching Unit). Hier werden erhebliche Mengen an Anschlußkabeln, Befestigungen, Gehäusen, Klemmen usw. eingespart. So erfordert eine komplexe Baugruppe der Bordelektronik, wie sie z. B. bei VW und BMW üblich ist, nur noch jeweils einen Anschluß für Betriebsspannung und Masse, die Leitungszahl von den Schaltern zur Elektronikbaugruppe kann durch elektronische Schaltungsmaßnahmen drastisch verringert werden:

Relais benötigen nur noch Kabel für den



**Bild 6: Die erste Auto-HiFi-Kombination mit dem D2B-Bus. Steuerdaten und NF-Signale werden auf einem optischen Glasfaserbus übertragen, wie er auch bald als Fahrzeugelektrik-„Verkabelung“ Anwendung findet. (Foto: Becker).**

Ausgangskontakt bzw. sind durch elektronische Lösungen in bestimmten Leistungsbereichen ganz substituierbar. Durch den Fortfall von Stecksockeln z. B. für Relais sind erhebliche Platzeinsparungen möglich. Konventionelle Sicherungen können durch elektronische Sicherungen und Strombegrenzungen ersetzt werden. Service und Fehlersuche werden vereinfacht, im Fehlerfall wird die ganze (teure) Baugruppe ausgetauscht. Kombiniert man ein solches System dann mit dem CAN-Bus, läßt sich leicht ausrechnen, was hier an fehlerträchtiger Verkabelungskapazität entfallen kann.

Die konsequente Verfeinerung der Leistungen, die der CAN-Bus bietet, zeigt Bosch mit seinem Cartronic-Konzept, das u. a. eine immer weitere Verlagerung von zugehörigen hochintegrierten Elektronikkomponenten örtlich direkt zu den Sensoren bzw. Aktuatoren vorsieht (Abbildung 5). Diese Elektronik bereitet die Daten an Ort und Stelle für die Übertragung durch den auch direkt hier befindlichen CAN-Controller auf, der über den CAN-Bus kommuniziert.

Auf der anderen Seite agiert ein Steuergerät, das die gesamte Soft- und Hardware für alle komplexeren Berechnungen und die übergeordnete Koordination aller Stelleneingriffe beherbergt. Lediglich CAN verbindet all diese Komponenten. Damit entfällt auch hier der Kabelbaum weitgehend.

### Schneller entwickeln

Durch standardisierte Schnittstellen, Übertragungsprotokolle und Komponenten ist es daneben möglich, den Aufwand bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge und deren Elektroniksysteme wesentlich zu senken. Da die Kommunikationssoftware Standard ist, sind bei Neuentwicklungen

nur noch speziell die jeweilige Funktion betreffende Softwarebausteine zu modifizieren, was die Entwicklungszeit deutlich verkürzt und die Entwicklung preiswerter macht.

Mit der universellen und kompatiblen CAN-Schnittstelle sind auch Erweiterungen und Nachrüstungen deutlich einfacher. Nur noch Stellelement, Schalter etc. mit integriertem CAN-Controller montieren, an Stromversorgung und CAN-Bus anschließen und fertig. Aufwendiges Verlegen von neuen Kabeln entfällt. Durch die Konzentration der Software in einem Zentralrechner sind Fehler schnell zu diagnostizieren und z. B. auch Softwarebausteine änderbar oder ergänzbar.

### In Zukunft per Glas

Bleibt schließlich noch zu klären, wie denn der moderne Datenbus im Fahrzeug körperlich aussehen soll. Dabei haben sich zwei Varianten, deren Kombination denkbar ist, durchgesetzt. Während der CAN-Bus auf die extrem störsichere Zweidrahtübertragung von Signalen aufbaut, realisiert der modifizierte D2B-Bus (Domestic Digital Bus) die Datenübertragung auf optischer Basis, d. h. per Glasfaserkabel. Ein solches Glasfasersystem findet bei den neuen Mercedes Benz-Modellen von 1997 erste breite Anwendung.

Daß eine Glasfaser-Datenübertragung im Auto perfekt funktioniert, beweisen u. a. seit einiger Zeit schon einige Auto-HiFi-Hersteller (Abbildung 6), deren HiFi-Komponenten per optischer Schnittstelle nicht nur das NF-Signal übertragen, sondern auch die zur Steuerung der Komponenten erforderlichen Befehlssequenzen.

Angesichts solcher Ausblicke kann man eigentlich zukünftig nur „absturzfreie Fahrt“ wünschen!