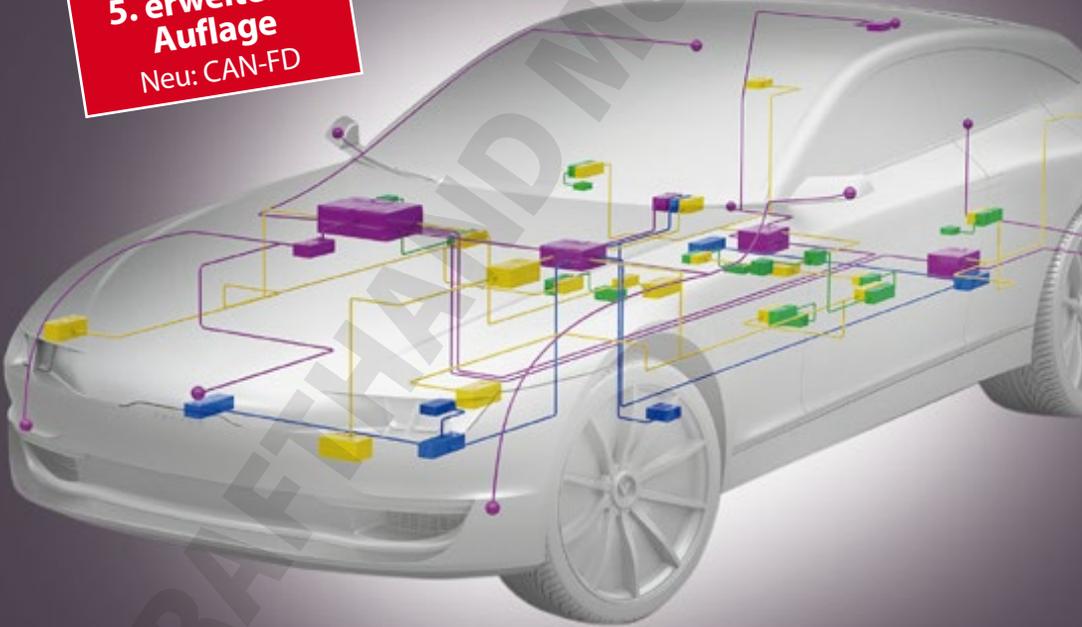


Krafthand-Technik

# Fehlerdiagnose an vernetzten Systemen

**5. erweiterte  
Auflage**  
Neu: CAN-FD



## Grundlagen, Diagnose, Wartung

Martin Frei

Krafthand Medien GmbH

Martin Frei

# Fehlerdiagnose an vernetzten Systemen

5. erweiterte Auflage

Grundlagen, Diagnose, Wartung

KRAFTHAND Medien



krafthand **medien**

Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet  
über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-87441-193-6

5. erweiterte Auflage, Oktober 2024

Autor: Martin Frei

Realisierung/Lektorat: Georg Blenk

Titelgestaltung/Layout: Martin Dörfler

Titelbild: Vector Informatik GmbH, Stuttgart, [www.vector.com](http://www.vector.com)

Bilder/Grafiken: Continental, Mercedes Benz, Martin Frei\*, TÜV Rheinland, Volkswagen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Elanders Waiblingen GmbH,

Anton-Schmidt-Straße 15, 71332 Waiblingen

Printed in Germany

Alle Rechte vorbehalten

© Krafthand Medien GmbH

Walter-Schulz-Straße 1 · 86825 Bad Wörishofen

Telefon 082 47/30 07-0 · Telefax 082 47/30 07-70

[info@krafthand.de](mailto:info@krafthand.de) · [www.krafthand.de](http://www.krafthand.de) · [www.krafthand-medien.de](http://www.krafthand-medien.de)

Geschäftsleitung: Steffen Karpstein, Gottfried Karpstein

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sämtliche Ausführungen in dieser Publikation beziehen sich grundsätzlich sowohl auf die weibliche als auch auf die männliche Form. Zur besseren Lesbarkeit wurde meist auf die zusätzliche Bezeichnung in weiblicher Form (zum Beispiel ‚Fahrerinnen‘) verzichtet.

\*Bild- und Grafikmaterial – insbesondere grafische Darstellungen –, welches nicht gesondert mit einem Quellverweis versehen ist, ist dem Autor Martin Frei © zuzuordnen.

# Inhalt

Vorwort .....	9
<b>1. Die Einordnung von Bussystemen .....</b>	<b>11</b>
<b>2 CAN-Bus .....</b>	<b>13</b>
2.1 Aufbau des CAN-Bussystems .....	13
2.2 CAN-Botschaften .....	14
2.3 Arbitrierung .....	15
2.4 Datenübertragung .....	16
2.5 Datenübertragungsrate .....	19
2.6 CAN-Signalbilder .....	20
2.7 Datenbotschaften auslesen .....	22
<b>3 Fehlerbehandlung .....</b>	<b>27</b>
3.1 Bestätigungsfehler .....	27
3.2 CRC-Fehler .....	28
3.3 Bitfehler .....	28
3.4 Formatfehler .....	28
3.5 Stuff-Fehler .....	28
3.6 Differenzsignale .....	29
3.7 Vernetzungskonzepte .....	31
3.8 Gateway .....	35
3.9 Leitungsfehler .....	38
<b>4 Fehlerdiagnose im Low-Speed-Bus .....</b>	<b>41</b>
4.1 Unterbrechung einer CAN-Leitung am Beispiel eines VW Touran .....	42
4.2 Fehlerbestimmung mit dem Multimeter .....	43
4.3 Fehlerbestimmung mit dem Oszilloskop .....	44
4.4 Fehlerlokalisierung .....	46
4.5 Fehler beheben .....	47
4.6 Fehlerspeicher löschen .....	47
4.7 Masseschluss einer CAN-Leitung am Beispiel eines Audi A8 .....	47
4.8 Plusschluss einer CAN-Leitung am Beispiel eines Audi A8 .....	53

4.9	Kurzschluss zwischen CAN-H und CAN-L am Beispiel einer Mercedes C-Klasse ‚W203‘ .....	53
4.10	Kurzschluss zwischen CAN-H und CAN-L am Beispiel eines VW Touran .....	57
4.11	Vertauschen der CAN-Leitungen .....	59
<b>5</b>	<b>Fehlerdiagnose im High-Speed-Bus</b> .....	<b>61</b>
5.1	Defekter Abschlusswiderstand .....	62
5.2	Unterbrechung einer CAN-Leitung .....	63
5.3	Masseschluss einer CAN-Leitung .....	63
5.4	Plusschluss einer CAN-Leitung am Beispiel einer Mercedes C-Klasse ‚W204‘ .....	65
5.5	Kurzschluss zwischen CAN-H und CAN-L .....	68
5.6	Fehlender oder defekter Abschlusswiderstand .....	70
<b>6</b>	<b>Fehlersuche praktisch durchgeführt</b> .....	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>Subsystem LIN</b> .....	<b>85</b>
7.1	Charakteristik des LIN-Bus .....	85
7.2	Datenübertragung .....	86
7.3	Signalverlauf .....	89
7.4	Vernetzungskonzepte .....	91
7.5	Fehler im LIN .....	92
<b>8</b>	<b>MOST-Bus</b> .....	<b>99</b>
8.1	Vernetzung über Lichtwellenleiter .....	99
8.2	Aufbau von MOST-Steuergeräten .....	101
8.3	Busmanagement .....	102
8.4	Aufbau von MOST-Botschaftsblöcken .....	104
8.5	Systemstart .....	104
8.6	Systemabschaltung .....	104
8.7	Fehlersuche im MOST-Bus am Beispiel des Audi A8 .....	104
<b>9</b>	<b>X-by-wire</b> .....	<b>111</b>

<b>10 FlexRay</b> .....	113
10.1 Kommunikationszyklus .....	114
10.2 Datenprotokoll .....	115
10.3 Topologie .....	116
10.4 Aufbau der Busteilnehmer .....	116
10.5 Spannungspegel im FlexRay .....	116
10.6 Datenübertragungs-geschwindigkeit .....	117
10.7 Fehlersuche im System .....	118
10.8 FlexRay ist keine Zukunftsvision .....	119
10.9 FlexRay bei Audi .....	119
<b>11 CAN-FD</b> .....	125
<b>12 Drahtlose Übertragungssysteme</b> .....	133
<b>13 Car-to-X-Kommunikation</b> .....	153
13.1 Car-to-Car .....	153
13.2 Car-to-Enterprise .....	154
13.3 Car-to-Infrastructure .....	154
13.4 Technische Umsetzung von Car-to-X .....	156
<b>14 Berufsbild im Wandel</b> .....	159
Anhang .....	161
Bedienung eines Oszilloskops .....	161
Umrechnung von Dezimal-, Dual- und Hexadezimalzahlen .....	162
Über den Autor .....	165
Literaturhinweise .....	166
Stichwortverzeichnis .....	167

# Vorwort

Mitte der 1990er-Jahre fingen die Fahrzeughersteller an, einzelne Systemkomponenten im Pkw zu vernetzen. Ein erhöhtes Aufkommen von Steuergeräten, vor allem im Sicherheits- und Komfortbereich, hatte eine Vielzahl an Leitungen und Verbindungen zur Folge. Um Kupferkabel und somit Gewicht und Kosten zu sparen, wurde als erstes der CAN-Bus (CAN = Controller-Area-Network) eingeführt, um einen Teil der Kabel zu ersetzen. Anfänglich sind auf diese Art und Weise drei bis vier Steuergeräte miteinander verbunden worden. Schnell kamen weitere hinzu, sodass bereits Anfang des Jahrtausends in normalen Mittelklassefahrzeugen dreißig bis fünfzig Steuergeräte zu finden waren. In der Oberklasse kamen teilweise bis zu einhundert zum Einsatz.

## LIN, MOST, FlexRay

Für die hohe Anzahl an Steuergeräten reichte ein CAN-Bus nicht mehr aus. Es mussten zusätzliche Vernetzungssysteme eingesetzt werden. In der Regel waren dies auch CAN-Bussysteme. Sie arbeiteten nebeneinander als selbstständige Einheiten im Fahrzeug.

Um zusätzlich den CAN-Bus lokal erweitern zu können und um weitere Kosten zu sparen, wurde der LIN-Bus (LIN = Local-Interconnect-Network) entwickelt.

Es handelte sich um ein Subsystem, also ein Bus, der sich dem CAN-Bus unterordnet.

Im Laufe der Jahre haben sich vor allem der Sicherheits- als auch der Infotainment-Bereich stark weiterentwickelt. Es sind Pre-Safe-Systeme, also Systeme, die schon vor einem Unfall wirksam werden, realisiert worden. Auch um Musik- oder Videodaten zu übermitteln, wurden immer schnellere Datenbusse benötigt.

Während der MOST-Bus (MOST = Media-Oriented-Systems-Transport) im Infotainment-Bereich dafür sorgt, dass die Fahrzeuginsassen mit rausch- und ruckelfreien Videos versorgt werden, wird FlexRay (FlexRay ist ein serielles, deterministisches und fehlertolerantes Feldbus-system) überwiegend für sicherheitsrelevante Systeme eingesetzt. Entwickelt wurde es auch, um den mechanischen Anteil in den Fahrzeugen weiter zu reduzieren. So werden mithilfe von FlexRay heute schon Autos mit rein elektrischer Lenkung und Bremse gebaut.

## CAN-FD

Zwischen dem günstigen CAN-Bus, der mittlerweile das Standardbussystem in Kraftfahrzeugen darstellt, und dem deutlich teureren Flexray entstand allerdings eine Lücke. Der CAN stößt auch bei „nor-

malen“ Anwendungen an seine Grenzen, sodass sich Hersteller gezwungen sahen, Funktionen auf mehrere CAN-Bus-Systeme aufzuteilen, um die zunehmende Datenlast zu bewerkstelligen. Der Flexray wiederum ist nicht nur kostenintensiver, sondern als Bussystem nicht Ereignisgesteuert. Hier kommt nun eine Erweiterung des CAN-Busses ins Spiel. In der aktuellen Auflage gehe ich intensiv auf den Aufbau des sogenannten CAN-FD ein und zeige die Vor- und Nachteile des Bussystems auf. Auch auf die Fehlersuche im bereits vielfach eingesetzten Datenbus CAN-FD wird eingegangen.

## Fehler lokalisieren

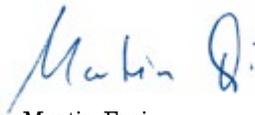
Im vorliegenden Buch werden nicht nur die gängigsten Bussysteme, wie CAN, LIN, MOST, FlexRay oder CAN-FD, vorgestellt. Vielmehr gehe ich anhand zahlreicher praktischer Beispiele auch auf den Umgang mit Fehlern ein. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass sich Probleme in einem Bussystem nicht immer dort bemerkbar machen, wo man sie tatsächlich beheben kann. Aus diesem Grund liegt ein besonderer Schwerpunkt des Buches darauf, Fehlerstellen gezielt zu bestimmen, ohne dass ein Fahrzeug komplett zerlegt werden muss.

## Drahtlose Kommunikation

Gab es schon lange CB-Funk, so sind heute Telefon, Notruf- oder Reifendruck-Kontrollsysteme, Abstandsradar und vieles mehr hinzugekommen. Es ist nur noch eine Frage der Zeit, bis sämtliche Fahrzeuge so vernetzt sind (Stichwort: Connected-Car), dass die Kfz-Werkstatt die Teile schon bereitlegen kann, bevor der Kunde überhaupt auf den Hof fährt. Ein weiteres Kapitel beschreibt deshalb das Grundprinzip der drahtlosen Datenübertragung. Kernthemen sind die Handhabung und die Fehlererkennung, sodass auch die kabellose Übertragung von Informationen im Werkstattalltag keine größeren Probleme mehr darstellen sollte.

Liebe Leserinnen, liebe Leser, ich wünsche Ihnen nun eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre. Über Ihr Feedback, über Fragen oder Anregungen freue ich mich. Senden Sie mir gerne dazu eine E-Mail an: [mail@martinfrei.de](mailto:mail@martinfrei.de).

Ihr



Martin Frei

## 2. CAN-Bus

### 2.1 Aufbau des CAN-Bussystems

Durch die Anforderungen an die moderne Motorentchnik, durch verschärfte Abgasregelungen und einen erhöhten Bedarf an Komfrotelektronik ergibt sich eine stetig gestiegene Anzahl an Steuergeräten. Damit sich die unterschiedlichen Teilsysteme im Fahrzeug Informationen von zum Beispiel Sensoren teilen, sie durch Nachrüstungen einfach erweitert werden können und somit eine Diagnose über das gesamte Fahrzeug möglich wird, werden die Steuergeräte miteinander vernetzt. Im

CAN-Bus wird jedes Steuergerät mit jeweils zwei Kupferleitungen an das Bussystem angeschlossen. Das bedeutet nichts anderes, als das von jedem Steuergerät zwei Leitungen in zentralen Punkten im Fahrzeug zusammengeführt werden – ähnlich wie zu einem zentralen Massepunkt.

Die Abbildung 1 zeigt die prinzipielle Vernetzung von vier Steuergeräten. Je nach Art der verwendeten Steuergeräte lassen sich so bis zu 128 unterschiedliche Steuergeräte miteinander verbinden.

Die Vorteile eines vernetzten Systems:

- Leitungen und Sensoren können eingespart werden.
- Eine Diagnose über mehrere Steuergeräte ist zeitgleich möglich.
- Es ist einfacher, das System zu erweitern.

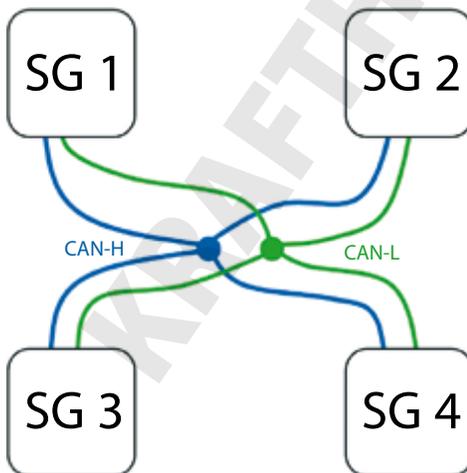


Abbildung 1: Einfache Vernetzung von Steuergeräten. Grafiken/Bilder: Martin Frei

Die Punkte, in denen die Leitungen zusammengeführt werden, nennt man Verbindungsknoten. Jedes CAN-System hat mindestens zwei Knotenpunkte. Der eine wird CAN-H (Can-High) und der andere CAN-L (Can-Low) genannt. Die beiden Leitungen, die jeweils von einem Steuergerät abgehen, heißen entsprechend CAN-H-Leitung beziehungsweise CAN-L-Leitung. Diese beiden Leitungen werden miteinander verdreht, um externe Störungen zu unterbinden. Sie bezeichnet man aus diesem Grund auch als ‚Twisted-Pair‘.



Abbildung 2: Twisted-Pair-Leitungen.

Als CAN-Bus wird die Vernetzung der Steuergeräte über die CAN-Leitungen bezeichnet. Damit diese auch miteinander kommunizieren können, müssen bestimmte Regeln und im Prinzip ‚Sprachen‘ eingehalten werden. So muss gewährleistet werden, dass jeder ‚Teilnehmer‘ auch jeden anderen ‚Teilnehmer‘ versteht.

### 2.2 CAN-Botschaften

Stellt man sich eine Telefonkonferenz mit mehreren Teilnehmern vor, dann könnte dies zum Beispiel so ablaufen: Ein Teilnehmer fängt mit der persönlichen Vorstellung an: „Guten Tag, mein Name ist Bernd Meier“. Als nächstes trägt er sein Anliegen vor: „Ich habe heute drei wichtige Punkte, über die ich Sie informieren möchte“. Danach wird er die Punkte aufzählen und die Informationen übermitteln. Anschließend könnte die Frage kommen: „Haben Sie alles verstanden?“. An dieser Stelle wird Herr Meier eine Pause einlegen und auf die Antwort der anderen Konferenzteilnehmer warten. Wenn es keine

Nachfragen geben sollte, ist der Teil von Herrn Meier beendet.

Ähnlich wie in diesem einfachen Beispiel kommunizieren auch die einzelnen Steuergeräte auf dem CAN-Bus miteinander. Dabei werden die Kommunikationsregeln auf dem Bus in den sogenannten Protokollen der verwendeten Bausteine festgelegt. Jeder Teilnehmer in einem System arbeitet mit dem gleichen Protokoll. Das heißt, alle halten sich an dieselben Regeln.

Prinzipiell gibt es zwei unterschiedliche Protokollformen. Das Standardproto-

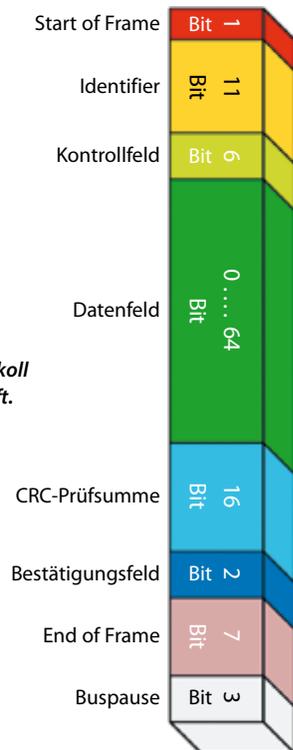


Abbildung 3: Protokoll einer CAN-Botschaft.

koll, welches in den meisten Kraftfahrzeugen zum Einsatz kommt sowie das Extended-Protokoll, welches aufgrund seiner erweiterten Form dort eingesetzt wird, wo sehr viele Botschaften über einen Bus gesendet werden. Zum Beispiel bei Nutzfahrzeugen. Abbildung 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Standard-CAN-Botschaft.

Jede Botschaft beginnt mit einem Startbit, dem Start of Frame (SoF). Danach kommt der sogenannte Identifier der Botschaft. Jede Botschaft verfügt über einen eindeutigen Identifier, das bedeutet, dass es jeden Identifier nur einmal geben kann. Bezogen auf die Telefonkonferenz sind das SoF die Begrüßung und der Identifier die Vorstellung.

Als Nächstes teilt das Steuergerät mit wie lang die Botschaft sein soll. Dies erfolgt im Kontrollfeld. Anschließend werden die Informationen übermittelt. Danach übermittelt der Sender noch eine Prüfsumme der Daten, damit die Empfänger feststellen können, ob alles richtig übertragen wurde. Nun macht der Sender eine Pause und erwartet von den Empfängern die Bestätigung des Erhalts der Botschaft. Diese Bestätigung (Acknowledge) wird von allen Empfängern gesendet, die die Botschaft empfangen und auch verstanden haben. Das Ende der Botschaft wird mit sieben gleichen Bits gekennzeichnet. Anschließend folgt eine kurze Unterbrechung, während derer nicht gesendet werden darf. Sobald der Bus danach in den Leerlauf geht, können alle Steuergeräte wieder senden.

Das Extended-Protokoll ist ähnlich aufgebaut. Anstelle des 11 Bit langen Identifiers wird hier allerdings ein 29 Bit langer Identifier verwendet, sodass es mehr Möglichkeiten zur Variation gibt.

## 2.3 Arbitrierung

Der CAN-Bus besteht aus einem Mastersystem, das bedeutet, dass alle Teilnehmer des Systems erst einmal gleichberechtigt sind. Sie können selbstständig Botschaften auf den Bus stellen, ohne dass diese explizit angefordert werden müssen. Damit es bei einem gleichzeitigen Sendeversuch nicht zu Datenkollisionen kommt, erhält die Botschaft mit der höchsten Priorität Vorrang. Die Wichtigkeit einer Botschaft wird im Identifier festgelegt. Je wichtiger die Botschaft ist, desto mehr führende Nullen erhält diese. In Tabelle 2 sind drei Identifier aufgeführt und nach ihrer Priorität sortiert.

Versuchen zwei oder mehr Steuergeräte gleichzeitig eine Botschaft auf den Bus zu senden, setzt sich die Botschaft mit der höchsten Priorität durch. Die anderen Sendeveruche werden überschrieben. Der Sender, dessen Botschaft überschrieben wird, wird automatisch zum Empfänger.

Priorität	Identifier
1	000 1010 1101
2	001 0000 0100
3	010 0001 1001

**Tabelle 2:** Identifier nach Priorität.

ger, sodass er auch die gesendete Botschaft mitliest. Sobald die Botschaft vollständig übermittelt wurde und der Bus frei ist, können wieder alle Steuergeräte ihre Botschaft senden. Wollen mehrere Steuergeräte gleichzeitig eine Botschaft übermitteln, setzt sich das Steuergerät mit der höchsten Priorität durch. Dieses Verfahren nennt man Arbitrierung. Es kommt allerdings nur zur Anwendung, wenn zwei oder mehr Steuergeräte gleichzeitig versuchen, eine Botschaft zu senden.

Wird jedoch bereits eine Botschaft mit einer niedrigen Priorität auf dem Bus

übertragen, so kann sie nicht durch eine Botschaft mit einer höheren Priorität unterbrochen werden. In diesem Fall muss die wichtigere Botschaft warten, bis der Bus wieder frei geworden ist.

### 2.4 Datenübertragung

Die Daten im CAN-Bus werden seriell übertragen. Das bedeutet, dass die Steuergeräte ihre Botschaften bitweise auf den Bus geben.

Der erste Ausschlag ganz links ist das erste Bit der Botschaft, das Start of Frame.

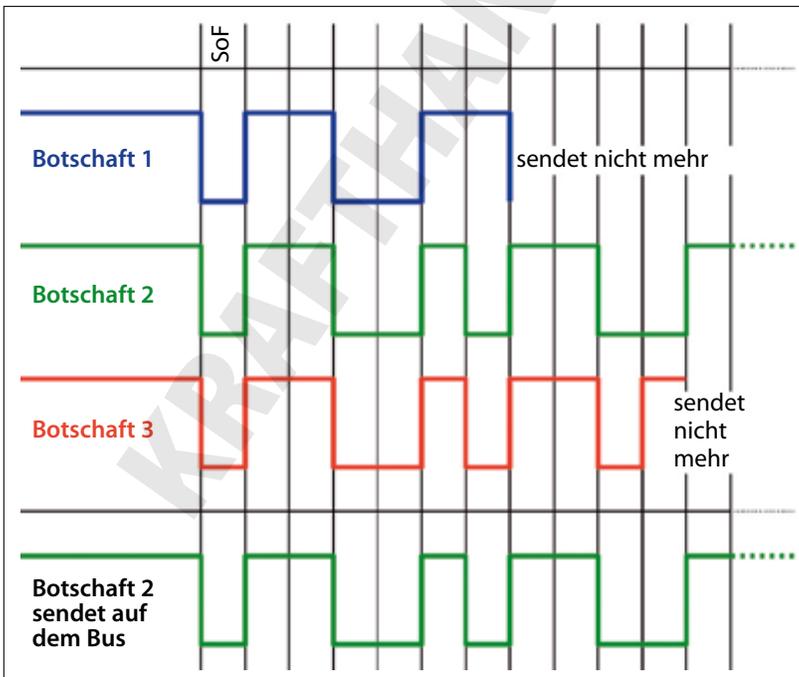
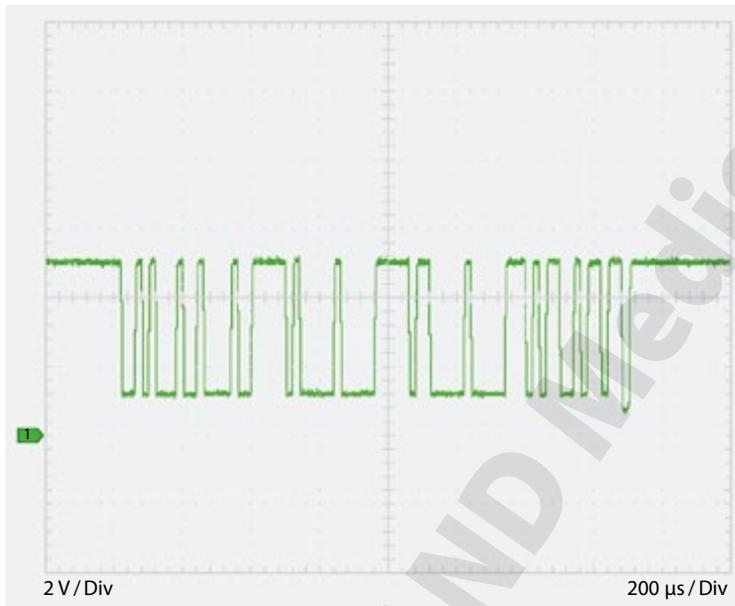


Abbildung 4: Arbitrierung.



*Abbildung 5:  
Beispiel: bitweise  
Übertragung einer  
CAN-Low- Botschaft.*

Die folgenden 11 Bits bilden den Identifier. Die weiteren Bits werden entsprechend des Protokolls (Abbildung 3) angeordnet.

Jedes Steuergerät besteht im Prinzip aus drei Ebenen. Die erste wird durch das eigentliche Steuergerät gebildet. Dies ist der Computer im Steuergerät, der Mikroprozessor. In der zweiten Ebene, dem CAN-Controller, werden die Daten, die der Prozessor übertragen möchte, in eine CAN-Botschaft eingefügt. Die dritte Ebene bildet der CAN-Transceiver. Dieser Send- und Empfangsbaustein sorgt dafür, dass die Daten als elektrische Signale auf den Bus gesendet werden. Gleichzeitig werden Daten vom Bus gelesen und an den Controller weitergegeben.

Die Datenübertragung von einem Steuergerät zu einem anderen erfolgt in fünf Schritten:

- Die Daten werden bereitgestellt.
- Die Daten werden gesendet.
- Die Daten werden von den Steuergeräten empfangen.
- Die Daten werden von den Empfängern geprüft.
- Die Daten werden übernommen beziehungsweise verworfen.

Die Motortemperatur zum Beispiel ist nicht nur für die Motorsteuerung relevant. Aus diesem Grund werden die Temperaturdaten auch zu anderen Steuergeräten

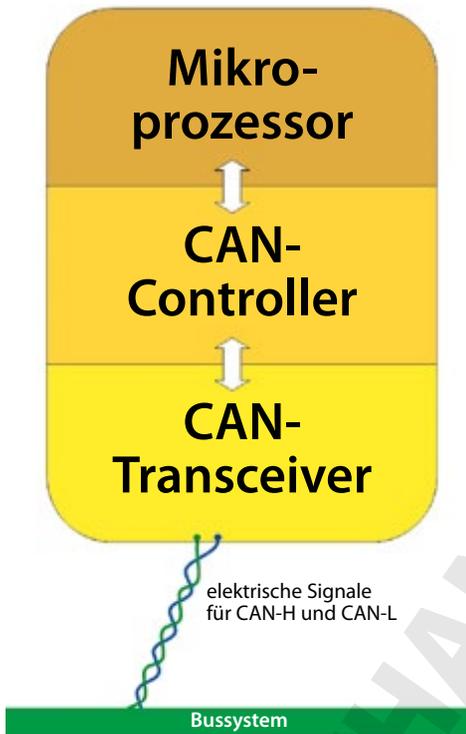


Abbildung 6: Die drei Ebenen eines Steuergeräts.

übertragen. Der Motortemperaturgeber gibt die Informationen über die Kühlmitteltemperatur direkt an das Motorsteuergerät. Dieses wertet die Daten aus und regelt unter anderen die Motorsteuerung. Gleichzeitig gibt der Prozessor die Daten an den CAN-Controller. Dort wird mit den Daten eine CAN-Botschaft erstellt. Diese wandelt der CAN-Transceiver in elektrische Signale um, die auf den Bus gelegt werden. Jedes an diesem Bus angeschlossene Steuergerät erhält nun die Daten der Motortemperatur in den jeweiligen CAN-

Transceiver, der hier als Empfängerbaustein fungiert. Im CAN-Controller wird die CAN-Botschaft auf Relevanz geprüft. Sind die Daten für das Steuergerät bedeutsam, werden sie an den Prozessor weitergeleitet. Sind sie unwichtig, werden die Daten verworfen.

In der Regel senden die Steuergeräte unaufgefordert die Daten an die Busteilnehmer. Dieses nennt man eine Datenbotschaft beziehungsweise einen ‚Data-Frame‘. Es gibt noch drei weitere Botschaftsarten, die aber nur äußerst selten zum Einsatz kommen. Fordert ein Steuergerät Daten von einem anderen an, so benutzt es ein ‚Request-Frame‘, also eine Datenanforderungsbotschaft. Diese Botschaft ist genauso aufgebaut wie eine Datenbotschaft, in der die Daten fehlen. Zur Kennzeichnung, ob es sich um eine Datenbotschaft oder eine Anforderung handelt, wird ein Bit (das Remote-Transmission-Request – RTR) nach den Identifier-Bits verwendet. Ist dieses Bit gesetzt,

### Übertragungsprotokolle

- **Data-Frame:** Übertragen von Daten
- **Remote-Frame:** Anforderung von Daten
- **Error-Frame:** Melden von Übertragungsfehlern
- **Overload-Frame:** Ein Steuergerät ist nicht bereit, Daten aufzunehmen.



Abbildung 7: Ablauf der Datenübertragung.

handelt es sich um eine Botschaft, ist dieses Bit nicht gesetzt, fordert der Sender Daten an. Mithilfe einer Fehlerbotschaft (Error-Frame) meldet ein Steuergerät einen Übertragungsfehler. Ist ein Steuergerät nicht bereit Nachrichten aufzunehmen, kann es die anderen Steuergeräte durch Senden einer ‚Überlaufbotschaft‘ (Overload-Frame) auffordern, mit dem Senden weiterer Botschaften zu warten.

## 2.5 Datenübertragungsrate

Die Datenübertragungsrate legt fest, wie viele Bits pro Sekunde auf dem Bus übertragen werden können. Ein Datenframe im Standardformat ist maximal 130 Bits lang. Bei einer Datenübertragungsrate im Low-Speed-Bus von zum Beispiel 100 kBit/s dauert es demnach maximal 1,3 ms bis eine Botschaft komplett auf den Bus gelegt wurde.

Abbildung 8: Berechnung der Übertragungszeit.

$$t_{\text{Bit}} = \frac{1 \text{ Bit}}{\text{DÜ}} = \frac{1 \text{ Bit}}{100.000 \text{ Bit/s}} = 0,00001 \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$

$$t_{\text{Frame}} = t_{\text{Bit}} \cdot n_{\text{Bit}} = 10 \mu\text{s} \cdot 130 = 1.300 \mu\text{s} = 1,3 \text{ ms}$$

2 CAN-Bus

Da sich die Signale auf dem Bus auch noch ausbreiten müssen, darf die Zeit, die ein Signal auf dem Bus anliegt, nicht kürzer sein, als die Zeit, die das Signal benötigt, um am Busende anzukommen. Hieraus ergeben sich für die Datenübertragungsraten unterschiedliche maximale Buslängen. Je höher die Datenübertragungsrate eines Systems ist, desto geringer ist die maximale Kabellänge des Busses. Im CAN-Low-Speed bei 100 kBit/s beträgt sie ca. 500 m, im CAN-High-Speed maximal 130 m bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 500 kBit/s.

Die Datenübertragungsrate wird auch oft als ‚Baudrate‘ bezeichnet. Im ursprünglichen Sinne gibt die Baudrate die Anzahl von Zustandsänderungen eines Signals

pro Sekunde an. Da es in digitalen Systemen wie dem CAN-Bus nur zwei unterschiedliche Zustände gibt, lässt sich hier die Baudrate mit der Datenübertragungsrate gleichsetzen. Eine Datenübertragungsrate von 125 kBit/s entspricht also auch einer Baudrate von 125 baud.

2.6 CAN-Signaltbilder

Die CAN-Signale im High-Speed- und im Low-Speed-Bus unterscheiden sich nicht nur in der Übertragungsgeschwindigkeit, vielmehr haben sie auch unterschiedliche Spannungspegel. Genau wie die Datenübertragungsrate, der Protokollaufbau sowie der Aufbau der CAN-Komponenten werden auch die Spannungspegel für den

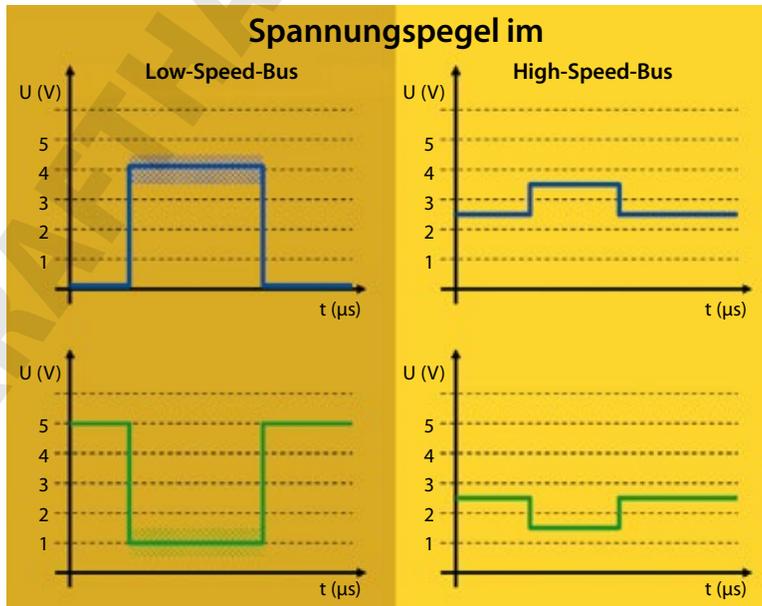


Abbildung 9: CAN-Pegel nach ISO 11898.

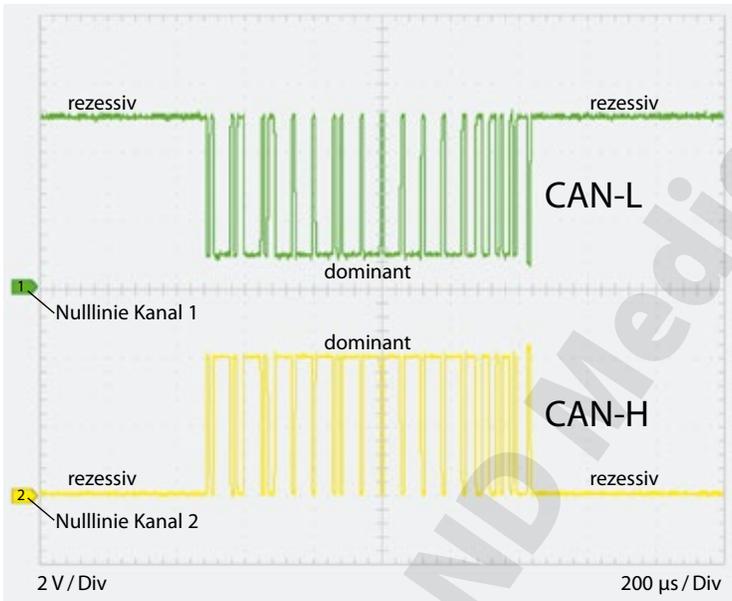


Abbildung 10:  
Spannungsverläufe im  
Low-Speed-Bus.

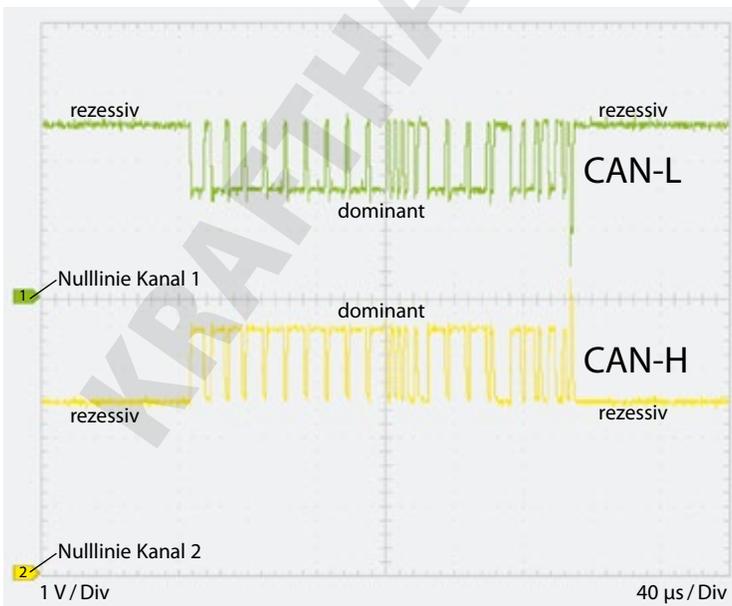


Abbildung 11:  
Spannungsverläufe im  
High-Speed-Bus.

## 7 Subsystem LIN

führt, verbunden wird. Dieses Verfahren lässt sich dann beliebig fortführen, bis zum letzten Slave. Auch eine Mischform beider Konzepte wird angewendet. Leider sind die Hersteller dort nicht so stringent. Das bedeutet, dass zur Fehlersuche erst einmal sämtliche Verbindungspunkte des LIN-Busses herausgesucht werden müssen.

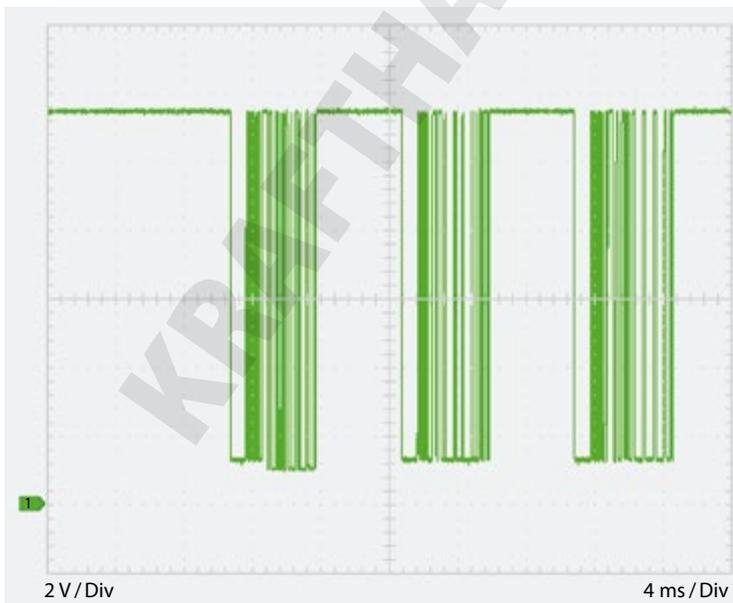
### 7.5 Fehler im LIN

Mit Ausnahme eines Schlusses zwischen zwei Leitungen können im LIN-Bus dieselben Leitungsfehler wie im CAN-Bus auftreten. Und auch das Vorgehen zur Fehlerbestimmung und zur Lokalisierung des Fehlerortes ist ähnlich. Und genau wie im CAN-Bus sollte auch im LIN-Bus der Feh-

ler strategisch gesucht werden, sodass nicht das komplette Fahrzeug zerlegt werden muss.

### Messung mit dem Multimeter

Der LIN-Bus ist nicht fehlertolerant! Das bedeutet, dass sich jeder Fehler als Funktionsstörung im System bemerkbar macht und durch den Tester auslesbar ist. Bei den möglichen Leitungsfehlern kommt es zu unterschiedlichen Fehlermeldungen. Liegt eine Unterbrechung zu einem Slave vor, wird der Systemtester diesen explizit aufführen, da zu dem Slave keine Kommunikation hergestellt werden kann. Liegt ein Plus- oder Masseschluss auf einer LIN-Leitung vor, so meldet der Tester in der



**Abbildung 78:**  
*LIN-Botschaften eines voll  
ausgestatteten Systems.*

Regel nur, dass der lokale Datenbus beziehungsweise der LIN defekt ist. Bei einer Sterntopologie und einer Unterbrechung der LIN-Leitung des Masters wird der Tester entweder melden, dass der Bus defekt ist oder alle Slave-Steuergeräte auf-führen, da er mit ihnen nicht mehr kom-munizieren kann.

Sobald man über die Abfrage der Feh-lerspeicher das System, in dem sich der Fehler befindet, herausgefunden hat, ist es unumgänglich, das Vernetzungskonzept für diesen Master herauszusuchen. Dieses bekommt man in der Regel aus den Strom-laufplänen für dieses Fahrzeug. Meist wird es sich um eine einfache Sterntopologie handeln. Bevor man nun den Fehler loka-lisieren kann, sollte festgestellt werden,

um welchen Fehler es sich genau handelt. Hierfür legt man idealerweise den Stern-punkt des Busses frei, damit auf ihm die Messungen durchgeführt werden kön-nen.

Liegt keine Sterntopologie vor, sucht man sich erst einmal einen Messpunkt zum Beispiel eine Steckverbindung, an dem man das LIN-Signal messen kann. Die Messergebnisse sind eindeutiger, sobald mit einem Oszilloskop die Signale aufgenommen werden. Aber auch mit einem Multimeter lässt sich der Fehler relativ sicher bestimmen. Gemessen wird sowohl mit dem Oszilloskop als auch mit einem Multimeter die Spannung der LIN-Leitung gegen Masse. Das bedeutet, dass ein Messanschluss des Messgeräts direkt



**Abbildung 79:**  
*Die Response einer Botschaft fehlt.*

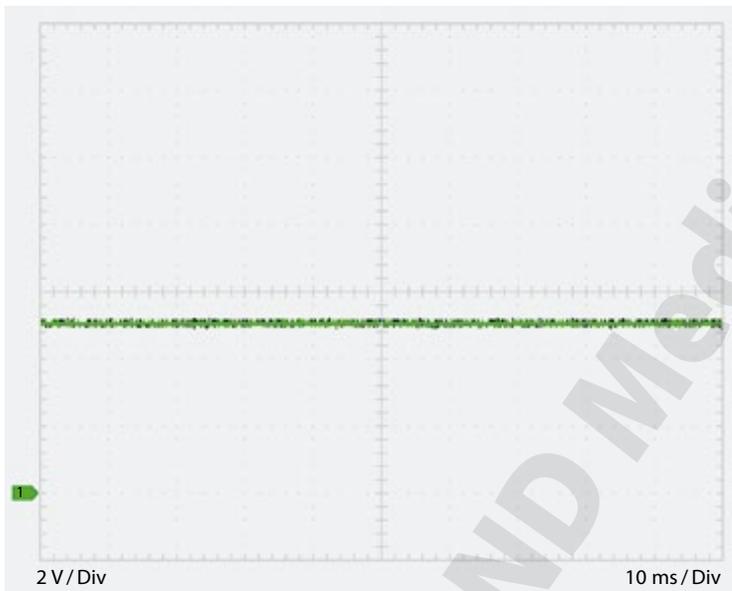


Abbildung 80:  
Spannungssignal hinter  
der Unterbrechung.

an die LIN-Leitung angeschlossen wird und der andere an die Fahrzeugmasse. Beide Messgeräte müssen auf ‚DC‘, das bedeutet auf Gleichspannungsmessung, eingestellt werden. Da das Multimeter einen Mittelwert darstellt, sollte die gemessene Spannung in einem intakten System bei ungefähr 10 V also etwas unterhalb der Betriebsspannung liegen. Bei einem Plusschluss muss die Bordnetzspannung bei einem Masseschluss circa 0 V gemessen werden.

### Messung mit dem Oszilloskop

Aussagekräftiger sind die Messergebnisse einer Oszilloskopmessung. In einem intakten System werden einige Botschaften mit

Header und Response dargestellt und einige nur mit Header. Wie vorab beschrieben, ist dies normal und bedeutet nicht zwingend, dass ein Fehler vorliegt.

Abbildung 78 zeigt die Botschaften auf dem LIN-Bus bei einem voll ausgestatteten System. Kommt es in diesem System zu einer Unterbrechung in einer LIN-Leitung eines Slaves, fehlt in mindestens einer Botschaft eine Response.

Der Master bekommt zwar mit, dass die Antwort fehlt, setzt auch einen Fehlercode, wird aber den Header weiterhin regelmäßig senden. Misst man auf der Seite der Unterbrechung, auf der sich der Slave befindet, also hinter der Unterbrechung, so stellt man dort ein Gleichspannungssignal fest, das zum Beispiel bei 5 V liegen kann.

Da in der Regel bei diesem Fehler der Tester bereits mitgeteilt hat, welches Slave-Steuergerät nicht mehr erreichbar ist, sollte nun der genaue Ort der Unterbrechung gesucht werden. Zur Bestimmung, ob sich der Fehler in der Leitung oder im Steuergerät befindet, empfiehlt es sich, den Stecker des Steuergeräts abzuziehen, und an der LIN-Leitung im Stecker eine Spannungsmessung gegen Masse durchzuführen.

### Masse oder Pluschluss

Liegt eine Spannung an beziehungsweise können mit dem Oszilloskop LIN-Botschaften dargestellt werden, ist die Leitung in Ordnung und das Steuergerät muss gewechselt werden. Ist keine Spannung

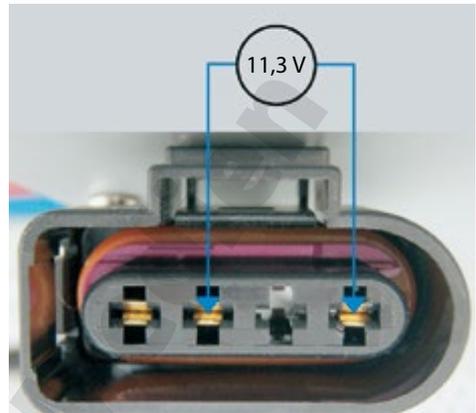


Abbildung 81: Spannungsmessung im Stecker.

messbar, muss die Leitung überprüft und instand gesetzt beziehungsweise getauscht werden.

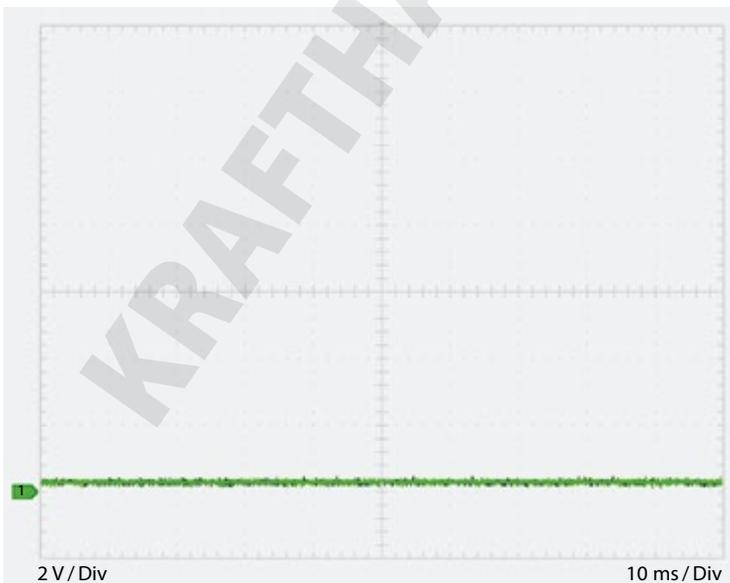


Abbildung 82:  
Masseschluss im LIN.

# 10. FlexRay

Für den Einsatz überwiegend in passiven Sicherheitssystemen (Airbags und Gurtstraffer) entwickelte BMW das Bussystem ‚Byteflight‘. Dieses System, in dem die Daten ähnlich wie beim MOST-Bus über Lichtwellenleiter übertragen werden, zeichnet sich durch eine höhere Datenübertragungsgeschwindigkeit und gesteigerte Sicherheit gegenüber elektromagnetischen Einflüssen aus. Byteflight hat aber wie alle optischen Systeme den Nachteil, dass es kostspieliger ist und bei der Verlegung der Leitungen stark auf die Verlegekosten geachtet werden muss.

Basierend auf den Erfahrungen, die BMW mit dem oben genannten System gemacht hat und den Erfahrungen von Mercedes bei der Entwicklung von Prototypen-Anwendungen, entstand das Bussystem ‚FlexRay‘. Um einen einheitlichen Standard zu gewährleisten, haben sich ähnlich wie bei der Entwicklung des LIN-Busses Firmen zu einem Konsortium zusammengeschlossen, welches die Spezifikationen für FlexRay erarbeitet. Unter diesen Firmen finden sich sowohl namhafte Automobilhersteller wie zum Beispiel Mercedes, BMW, Volkswagen oder

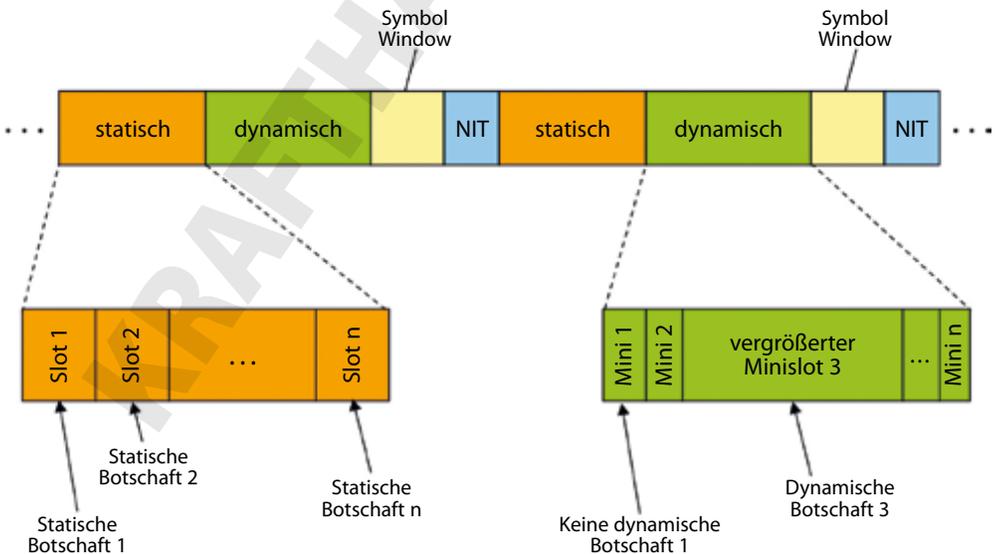


Abbildung 100: Datenübertragung im FlexRay.

auch General Motors als auch Zuliefererfirmen wie Freescale Semiconductor oder Philips. Ziel des Konsortiums ist es, einen Standard für ein Bussystem zu schaffen, welche die Anforderung erfüllt, die beliebige X-by-wire-Systeme an die Datenübertragung stellen:

- redundante Übertragung
- hohe Datenübertragungsraten (Echtzeitanforderung)
- große Übertragungssicherheit.

FlexRay erfüllt diese Anforderungen und wird sich sowohl für passive als auch für aktive Sicherheitssysteme als Standard etablieren.

## Vorteil von FlexRay

Der große Vorteil von FlexRay gegenüber einem System wie Byteflight besteht darin, dass die Daten über herkömmliche Kupferleitungen übertragen werden können. Somit können die Kosten geringer gehalten werden und die Verlegung der Leitungen kann mit engeren Radien erfolgen. Ähnlich wie beim CAN-Bus werden auch bei FlexRay Twisted-Pair-Leitungen verwendet, das heißt jeweils zwei Kupferleitungen, die miteinander verdrillt sind. Da eine Anforderung an das System die Redundanz in der Datenübertragung ist, können die Daten im FlexRay über zwei getrennte Kanäle übertragen werden. Jedem Kanal stehen zwei Twisted-Pair-Leitungen zur Verfügung, mit jeweils einer möglichen Datenübertragungsraten von 10

MBit/s. Bei Zusammenfassung der Kanäle ist somit theoretisch eine Übertragungsgeschwindigkeit von bis zu 20 MBit/s möglich. Allerdings wäre in diesem Fall das System nicht mehr redundant aufgebaut.

## 10.1 Kommunikationszyklus

Anders als im CAN-Bus, in dem jeder Teilnehmer zu jeder Zeit senden darf, wird die Datenübertragung im FlexRay in fest vorgeschriebenen Kommunikationszyklen organisiert. Die Zyklen wiederholen sich periodisch. Dies bedeutet, dass jede Botschaft eine feste Zeit zugeordnet bekommt, in der sie auf den Bus gesendet werden darf. Somit erscheinen wiederkehrende Botschaften immer zur selben Zeit.

Abbildung 100 zeigt einen kompletten Zyklus. Der Ablauf der Botschaften auf dem Bus erfolgt immer nach diesem Schema.

Ein Übertragungszyklus beginnt stets mit einem statischen Segment. In diesem werden Botschaften gesendet, die periodisch, also immer wiederkehrend gesendet werden sollen. Die Reihenfolge dieser Botschaften ist festgelegt, sodass jeder Busteilnehmer weiß, wann eine bestimmte Botschaft gesendet werden darf. Zusätzlich zu den periodischen Botschaften gibt es auch welche, die nur gesendet werden sollen, falls ein bestimmtes Ereignis eintritt. Für diese Botschaften folgt im Zyklus eine Phase, die dynamisches Segment genannt wird. Innerhalb dieser Phase können Botschaften nach Bedarf gesendet werden. Allerdings auch nur in einer

bestimmten Reihenfolge. Jede Botschaft, die nach Bedarf übertragen werden könnte, bekommt in dem dynamischen Segment ein sogenanntes Minislot zugewiesen. Innerhalb dieses kleinen Zeitfensters darf die Sendung der Botschaft gestartet werden. Das Minislot ist wesentlich kürzer als eine komplette Botschaft. Fängt ein Steuergerät an, innerhalb der zugewiesenen Zeit die dynamische Botschaft zu senden, wird das Fenster automatisch erweitert. Sobald die Sendung abgeschlossen wurde, erhalten die Busteilnehmer wieder die Möglichkeit, in den folgenden Minislots weitere dynamische Botschaften zu senden. Nach den Minislots folgt das Symbol Windows und dann der Buswächter. In jedem Steuergerät gibt es zwei Bus-Guardians, die den Zugriff auf den Bus für einen einzelnen Kanal überwachen und steuern. Und da sich im FlexRay alle Teilnehmer auf eine Zeit einstellen müssen, wird zum Abschluss eines Zyklus eine Uhrensynchronisation aller angeschlossenen Teilnehmer durchgeführt. Dies geschieht in der NIT (Network-Idle-Time). Sobald ein Zyklus beendet wurde, beginnt

ein neuer, in dem wieder die statischen Botschaften zuerst gesendet werden.

### 10.2 Datenprotokoll

Wie in jedem anderen vernetzten System ist die Reihenfolge der einzelnen Bits, also das Datenprotokoll auch im FlexRay festgelegt. Eine FlexRay-Botschaft sowohl aus dem statischen als auch aus dem dynamischen Segment setzt sich immer aus drei Bereichen zusammen: dem Header, der Payload und dem Trailer.

Im Header wird unter anderem die 11 Bit lange ID der Botschaft übermittelt. Zusätzlich wird noch die Länge der Daten und eine Header-Checksumme übertragen. Das sogenannte ‚Cycle-Feld‘ kann als Zykluszähler verwendet werden. In der ‚Payload‘ finden sich die Daten wieder. Der ‚Trailer‘ dient zur Verifizierung der gesendeten Daten. Hier wird ein ähnliches Verfahren angewendet wie beim CAN-Bus, nur dass aufgrund der höheren Datenmenge das CRC (Cyclic-Redundancy-Check) 24 Bit lang ist.

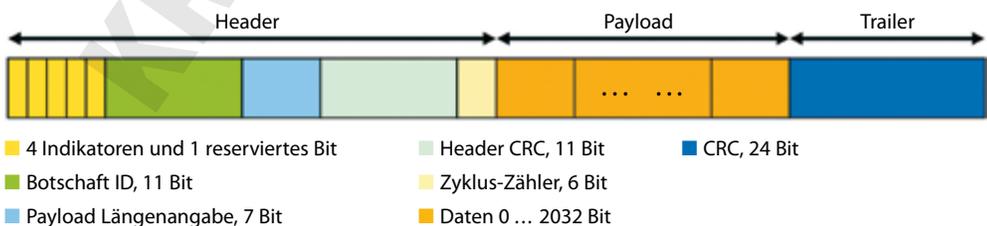


Abbildung 101: FlexRay-Botschaftsprotokoll.

### 10.3 Topologie

Prinzipiell kann ein FlexRay-Bus auf jede herkömmliche Art vernetzt werden. Es bleibt abzuwarten, wie der flächendeckende Einsatz im Fahrzeug realisiert wird. Da sich auch im CAN-Bus die Sterntopologie mit passiven Sternpunkten, also die direkte Zusammenführung der Busenden etabliert hat, ist anzunehmen, dass eine sternförmige Vernetzung auch im FlexRay angewendet wird. Da es aber unwahrscheinlich ist, dass der FlexRay kurzfristig sämtliche CAN-Systeme ablöst, ist es hier auch aufgrund der besseren Diagnosefähigkeit denkbar, dass aktive Sternpunkte, also Steuergeräte als Sternpunkt zum Einsatz kommen. Diese könnten gleichzeitig die Gateway-Funktion zwischen CAN und FlexRay übernehmen.

### 10.4 Aufbau der Busteilnehmer

Da eine Anforderung des FlexRay darin besteht, dass eine Redundanz möglich sein soll, werden auch einige Komponenten der Teilnehmer redundant, also doppelt ausgeführt. Zusätzlich zum eigentlichen Prozessor des Steuergeräts verfügen Flex-

Ray-Steuergeräte über einen Host, einen Kommunikationscontroller, einen Buswächter und einen Bustreiber.

Zur Gewährleistung der Redundanz werden Buswächter und Bustreiber separat und doppelt aufgebaut. Der Host unterstützt den Prozessor des Steuergeräts und informiert den Buswächter, welche Zeitfenster dem Steuergerät zugeordnet wurden. Der Kommunikationscontroller steuert die Kommunikation, er sendet die Daten an den Bustreiber, welcher diese dann elektrisch aufbereitet und auf den Bus sendet. Der Buswächter gibt dem Controller hierfür die Freigabe. Er überwacht das System so, dass dieses nur in den genehmigten Fenstern senden kann.

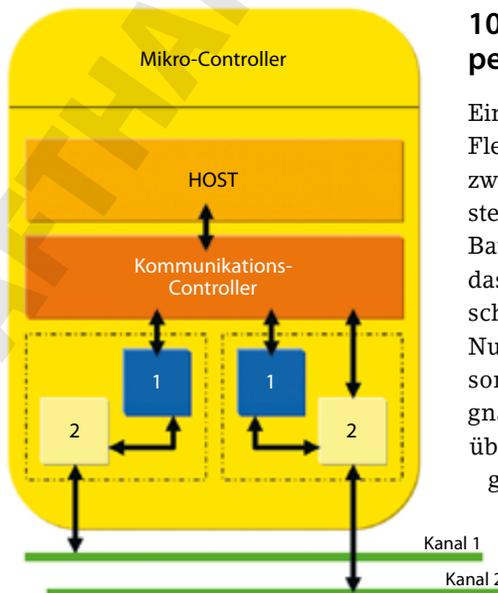


Abbildung 102: Aufbau eines FlexRay-Steuergeräts:  
1. Buswächter, 2. Bustreiber.

### 10.5 Spannungspegel im FlexRay

Ein Busteilnehmer im FlexRay verfügt über zwei Bustreiberbausteine. Jeder einzelne Baustein sorgt dafür, dass aus den logischen Einsen und Nullen des Prozessors Spannungssignale werden, die über die Busleitungen übertragen werden können. Da die Übertragung über zwei Kanäle erfolgt, ver-

fügt also jedes Steuergerät über zwei mal zwei verdrehte Datenleitungen. Sollen sich die beiden Kanäle gegenseitig absichern, müssen auf beiden Kanälen, also auf jeweils einem Leitungspaar dieselben Signale übertragen werden. Eine Leitung eines Kanals wird Plus und eine Minus, entsprechend werden die Spannungen  $U_{\text{Plus}}$  und  $U_{\text{Minus}}$  genannt. Dies gilt für jeden Übertragungskanal. Kanal 1 und Kanal 2 verfügen dementsprechend jeweils über eine Leitung auf der die Signalspannungen  $U_{\text{Plus}}$  und  $U_{\text{Minus}}$  übertragen werden. Ähnlich wie im CAN-High-Speed-Bus liegt der rezessive Pegel im FlexRay auf 2,5 V.

Zur Auswertung der Signale und somit zur Eliminierung externer Störungen wird auch im FlexRay eine Differenz aus den beiden Busleitungssignalen gebildet. Allerdings wird dem rezessiven Pegel kein logischer Zustand zugeordnet. Sowohl für die logische Eins, als auch für die logische Null gibt es einen dominanten Zustand. Die logische Zuordnung erfolgt durch die Differenzbildung aus  $U_{\text{Plus}}$  und  $U_{\text{Minus}}$ . Ergibt die Subtraktion aus  $U_{\text{Plus}} - U_{\text{Minus}}$  ungefähr 2 V, so wird dieser Spannungsdifferenz der logische Pegel zugeordnet. Ergibt die Subtraktion ungefähr  $-2$  V, erkennt der Bustreiber eine logische Null.

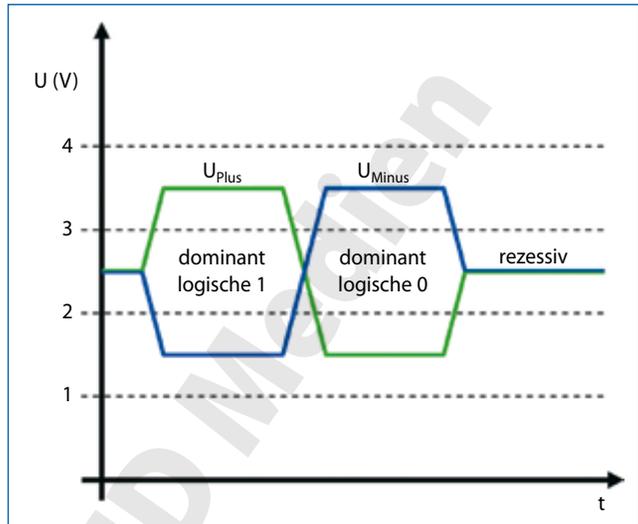


Abbildung 103: Spannungspegel im FlexRay.

Dieses Differenzsignal wird vom Bustreiber entsprechend der Vorgaben in einen logischen Zustand umgewandelt. Der Kommunikationscontroller im Steuergerät vergleicht die Zustände der beiden Kanäle. Sollte es hier, obwohl die Kanäle redundant genutzt werden sollten, zu Abweichungen kommen, werden diese als Fehler erkannt.

## 10.6 Datenübertragungsgeschwindigkeit

In den Diagrammen der Spannungspegel ist ersichtlich, dass ein Bit in einer Zeit von  $0,1 \mu\text{s}$  übertragen wird. Zum Vergleich: Im CAN-High-Speed-Bus mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 500 kBit/s dauert die Übertragung eines Bits 20-mal so

lange, dort wird ein Bit innerhalb von 2  $\mu\text{s}$  übertragen. Die Zeit für die Übertragung eines Bits im Low-Speed-Bus (100 kBit/s) beträgt 10  $\mu\text{s}$ . Sie ist somit 100-mal langsamer als im FlexRay.

Daten werden im FlexRay mit einer Übertragungsrate von 10 MBit/s redundant gesendet. Sollte auf die gegenseitig absichernde Funktion der beiden Kanäle verzichtet werden, so ist eine Übertragungsrate von bis zu 20 MBit/s möglich.

### 10.7 Fehlersuche im System

Die Gestaltung der Fehlersuchstrategie wird sich aus der Architektur des Systems und der Programmierung der einzelnen Steuergeräte ergeben. Werden aktive Ver-

bindungsknoten, also Steuergeräte als Verbindungsknoten verwendet, sollte es je nach Programmierung des Steuergerätes möglich sein, Leitungs- und Übertragungsfehler als solche zu erkennen und zu hinterlegen. In diesem Fall wird zur Fehlerbestimmung und zur -lokalisierung der Systemtester den Zweig anzeigen, in dem sich der Fehler befindet. Die Aufgabe des Mechatronikers bestünde dann darin festzustellen, ob der Zweig, also die Leitungen, oder das entsprechende Steuergerät den Fehler verursachen. Entsprechend der Diagnose müssten dann die Leitungen instand gesetzt beziehungsweise das Steuergerät getauscht werden.

Auch im CAN-Bus wäre die Verbindung der Leitungen über ein Steuergerät als aktiven Sternpunkt möglich, wird hier aber aus Kostengründen kaum realisiert. Es bleibt abzuwarten, wie sich der Einsatz des FlexRay entwickelt. Sollte es tatsächlich den CAN ablösen, wird es mit Sicherheit auf unterschiedliche Systeme aufgeteilt. Und ob in jedem System ein Steuergerät als aktiver Sternpunkt verbaut wird, darf angezweifelt werden. Schließlich arbeitet der FlexRay auch mit passiven Verbindungen. Der Nachteil einer passiven Verbindung besteht darin, dass sich ein Fehler auf das gesamte System auswirkt.

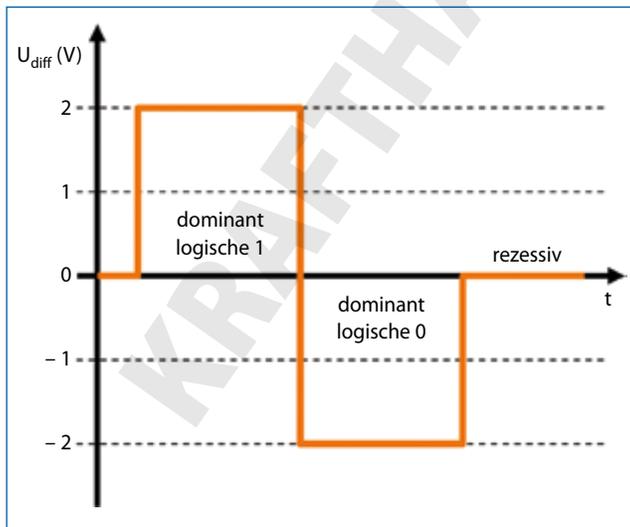


Abbildung 104: Differenzsignal und Zuordnung der logischen Zustände.

Die Fehlerdiagnose und vor allem die Feststellung des Fehlerorts müssen zielgerichtet und überlegt durchgeführt werden. Ein Durchtauschen der Steuergeräte erzeugt eine hohe Kostenstellung und führt nur dann zum Ziel, wenn sich der Fehler nicht auf einer Leitung befindet. Also ist auch im FlexRay damit zu rechnen, dass Diagnosestrategien notwendig sein werden. Die für den CAN-High beschriebenen werden auch im FlexRay funktionieren.

### 10.8 FlexRay ist keine Zukunftsvision

Der Ruf nach echten X-by-wire-Systemen wird immer lauter. Sie sind aber nur realisierbar mithilfe eines entsprechenden Übertragungssystems, welches die Daten möglichst in Echtzeit übermittelt und zudem die erforderliche Sicherheit durch eine redundante Auslegung gewährleistet. Somit wird FlexRay mit Sicherheit ein Bussystem der Zukunft werden. Das System ist wesentlich schneller als der CAN-Bus und durch die Übertragung der Informationen über zwei Kanäle auch deutlich sicherer. Ob es den CAN vollends ablösen wird oder ‚nur‘ als weiteres Bussystem

hinzukommt, bleibt abzuwarten. Fakt ist, dass FlexRay bereits heute eingesetzt wird. BMW verbindet im aktuellen Modell X5 das Dynamic-Drive und das System der elektronischen Dämpferkontrolle (EDC) über FlexRay miteinander zum sogenannten ‚Adaptive-Drive‘-System. Die von BMW entwickelte Technologie ist erst der Anfang einer neuen Ära aktiver Sicherheitssysteme. Weitere, wie zum Beispiel der aktive, direkte Eingriff in die Lenkung werden folgen.

### 10.9 FlexRay bei Audi

Audi setzt das Bussystem FlexRay in den aktuellen A8- und A7-Modellen ein. Allerdings nicht, um X-by-wire-Anwendungen zu realisieren. Vielmehr nutzt der Ingolstädter Hersteller die schnellere Datenübertragung des Bussystems im Pre-Safe-Bereich, also in einem System, das

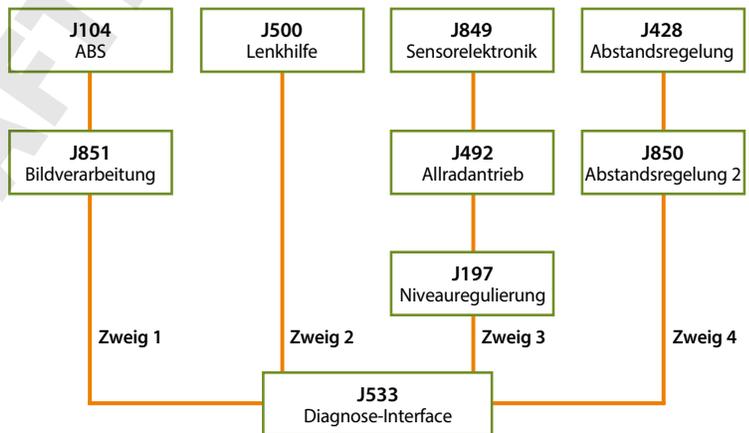


Abbildung 105: Bereich Pre-Safe: Vernetzung im A7 Sportback.

helfen soll, Unfälle zu vermeiden. Vernetzt sind dabei vor allem Steuergeräte für Abstandsregelung, Niveauregulierung, Bildverarbeitung und für das ABS. Als aktiver Sternpunkt und somit auch als Verbindung zwischen den FlexRay-Strängen und den anderen Fahrzeugsystemen fungiert das Diagnose-Interface (Gateway) des Fahrzeugs.

### Wake-up und Start-up

Anders als zum Beispiel beim CAN-Bus sorgt beim Audi A7 ein Wake-up-Befehl nicht dafür, dass die Busteilnehmer über den FlexRay miteinander kommunizieren. Sie schalten vielmehr vom Sleep-Mode in einen Standby-Modus. Erst mit einem Start-up-Befehl kann die Kommunikation auf dem Bus beginnen. Audi nennt die Steuergeräte, die einen Start-up setzen können, Kaltstart-Steuergeräte. Hier sind es das Diagnose-Interface, das ABS-Steu-

ergerät und das Steuergerät für Sensor-elektronik. Diese Geräte nennt man auch Synchronisierungs-Steuergeräte. Das bedeutet: führt zum Beispiel das Gateway einen Start-up durch, sendet es zunächst mit seiner eigenen Frequenz. Auf diese jetzt schaltet sich ein weiteres Synchronisierungs-Steuergerät hinzu, zum Beispiel das ABS-Steuergerät. Dieses synchronisiert sich nun mit dem Gateway.

Es müssen immer zuerst zwei Kaltstartsteuergeräte miteinander kommunizieren, bevor sich ein anderes hinzuschalten kann. Dieses Verfahren hört sich umständlich an, dient aber der Übertragungssicherheit und läuft in wenigen Mikrosekunden ab.

### Spannungspegel

Auch bei Audi liegen die Spannungspegel auf denen, die für den FlexRay vorgegeben sind. Das bedeutet, rezessiv lässt sich eine Spannung von 2,5 V und dominant eine Spannung von 1,5 V beziehungsweise 3,5 V messen. Die Datenübertragungsrate liegt bei 10 MBit/s. Somit ist die Zeit für ein Bit hier 100 ns lang. Der FlexRay ist bei Audi nicht redundant aufgebaut.

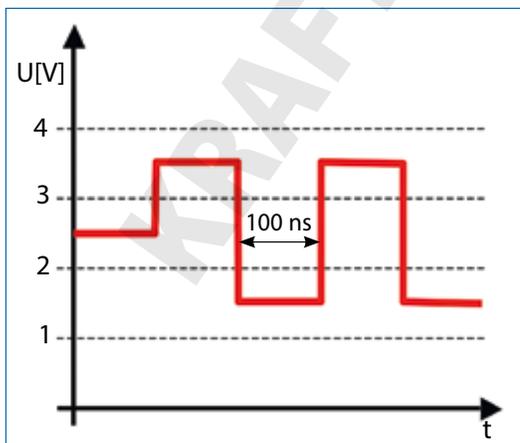


Abbildung 106:  
FlexRay: Spannungsverlauf  
von Bus-Minus.

## Fehlerdiagnose an vernetzten Systemen

Grundlagen, Diagnose, Wartung

Der Autor Martin Frei geht in ‚Fehlerdiagnose an vernetzten Systemen‘ – Grundlagen, Diagnose, Wartung (5. erweiterte Auflage 2024), detailliert auf die unterschiedlichen Arten von Netzwerk-Systemen in modernen Kraftfahrzeugen ein. Er beschreibt ausführlich den CAN-Bus, erklärt Aufbau, Funktion, Topologien, Signalbilder und die Fehlerbehandlung im Allgemeinen.

Anhand zahlreicher Beispiele am High-Speed- und Low-Speed-Can geht Frei auch auf die Fehlerdiagnose ein. Dabei schildert er ausführlich die Fehlerbestimmung mittels Multimeter und Oszilloskop.

In weiteren Kapiteln beschreibt der Autor detailliert den LIN- und den MOST-Bus sowie das Bussystem FlexRay und beschäftigt sich mit drahtlosen Übertragungssystemen sowie mit der Car-to-X-Kommunikation. Neu ist das Kapitel zur Erweiterung des CAN-Busses, der CAN-FD.



Martin Frei

*„Der besondere Wert des Buches liegt in der äußerst anschaulichen Erklärung der Funktionsweise von gängigen Bussystemen, beziehungsweise in der detaillierten Beschreibung zahlreicher damit verbundener Fehlerquellen. Es darf in keiner modernen Kfz-Werkstatt fehlen.“*

**Siegfried Muncz**  
(Inhaber ‚Die Autowerkstatt‘ /  
Autohaus Obermenzing GmbH)

ISBN 978-3-87441-193-6



9 783874 411936 >