

# KOLLISIONSTOLERANTES VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DES ABTASTZEITPUNKTS AM CAN-BUS

Ausschlaggebend für die Funktion des gesamten Datennetzwerks im Fahrzeug sind die physikalischen Eigenschaften der Steuergeräte, wie Signalpegel, Flankensteilheiten und Buserminierung. Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Abtastzeitpunkt. Die CAN-Lastenhefte der OEM schreiben hier streng einzuhaltende Sollwerte vor. Allerdings war bisher deren Verifikation in der realen Fahrzeugumgebung nicht möglich. Denn die bisherigen Geräte und Verfahren lassen sich aufgrund fehlender Arbitrierung hier nicht einsetzen. Das von Göpel vorgestellte und zum Patent angemeldete Verfahren ermöglicht erstmals einen automatisierten Test des Abtastzeitpunkts in beliebigen realen oder simulierten Netzen.

## AUTOR



**DIPL.-ING. STEFFEN RAUH**  
entwickelt im Geschäftsbereich  
„Automotive Test Solutions“  
Lösungen für Test und Simulation  
von Kommunikationsschnittstellen  
im Fahrzeug bei der Göpel  
Electronic GmbH in Jena.

## GRUNDLAGEN

Der CAN-Bus ist ein serielles Bussystem für die Datenübertragung in der Automotive-Technik, der Automatisierungs- und Fertigungstechnik. Kollisionen durch gleichzeitigen Buszugriff mehrerer Komponenten werden durch die Bit-Arbitrierung vermieden.

Die Busteilnehmer besitzen kein gemeinsames Taktsignal, sondern arbeiten asynchron, das heißt mit individuellem Takt. Die entstehenden Unterschiede können während des Sendens und Empfangens durch Synchronisierung ausgeglichen werden. Dies wird jeweils bei rezessiv zu dominanten Signalwechseln durchgeführt.

- : CAN-Botschaften – Jede CAN-Botschaft besteht aus einer bestimmten Anzahl von Bits, die in bestimmte Felder eingeteilt sind. Im CAN-Protokoll wird das Cyclic Redundancy Check (CRC) Verfahren zur Sicherstellung der korrekten Übertragung eingesetzt.
- : Codierung – Ein CAN-Netzwerk ist nach dem wired-AND Prinzip aufgebaut. Hierbei werden dominante und rezessive Bits unterschieden. Die 1 ist dabei das rezessive Bit, die 0 ist dominant. Wenn alle Teilnehmer das rezessive Bit senden, ist der Bus auf dem rezessiven Pegel. Sendet mindestens ein Teilnehmer ein dominantes Bit ist der gesamte Bus, analog zu der logischen UND-Verknüpfung, auf dem dominanten Pegel. Der Pegel bleibt während der gesamten Bitzeit konstant. Anders als bei selbstsynchronisierenden Codierungen kann es bei langen Ketten mit gleichen Bitwerten zu einem Synchronisationsverlust kommen. Deshalb wird beim CAN-Protokoll ein Bitstuffing-Verfahren verwendet, das nach fünf gleichen Bits ein komplementäres Bit einfügt, wobei eine Synchronisation der Knoten nur bei einem Flankenwechsel von rezessiv nach dominant erfolgt. Der Empfänger entfernt diese Stuffbits wieder bevor die Bitkette verarbeitet wird. Beispielsweise wird die Bitkette 1 0 0 0 0 0 0 als 1 0 0 0 0 0 1 0 übertragen.
- : Abtastzeitpunkt – Der Controller überwacht während der gesamten Bitzeit den Signalpegel. Der CAN-Teilnehmer ermittelt den Wert jedes empfangenen Bits zu einem fest definierten Zeitpunkt. Dieser Punkt heißt Abtastzeitpunkt und liegt beispielsweise bei 80 % der gesamten Bitzeit. Um eine CAN Komponente auf die unterschiedlichen Umgebungsbedingungen des Netzes anzupassen (Ausbreitungsgeschwindigkeit und Quarztoleranzen), lässt sich der Abtastzeitpunkt in weiten Grenzen einstellen, ①.

## HEUTIGE METHODEN ZUR MESSUNG DES ABTASTZEITPUNKTS

Jeder Fehler, den ein CAN-Teilnehmer in den gesendeten und empfangenen Botschaften erkennt, wird allen anderen Teilnehmern sofort in Form eines Fehlertelegramms mitgeteilt. Die Messung des Abtastzeitpunkts beruht auf der Fehlererkennung im Data-Link-Layer. Dabei erzeugt ein Sender modifizierte CAN-Botschaften. Ziel dieser Modifikation ist es, aus der Reaktion des CAN-Teilnehmers Rückschlüsse auf dessen Einstellungen zu ziehen. Dabei werden ein oder mehrere Bits der Botschaft so verändert, dass für den Empfänger die gesamte Botschaft fehlerhaft wird und er darauf mit einem Fehlertelegramm antwortet.

Im Verfahren nach DE 10 2004 002 771 A1 geschieht dies durch die schrittweise Manipulation eines Bits (Flankenverschiebung beziehungsweise teilweise Invertierung) in einer CAN-Botschaft, ②.

Da nur ein Bit im Datenbereich manipuliert wird und die im CRC-Bereich gesendete Checksumme unverändert bleibt, entsteht im CAN-Teilnehmer genau dann eine Fehlabtastung, wenn das Bit vor dem Abtastzeitpunkt invertiert wird. Der CAN-Teilnehmer sendet daraufhin ein Fehlertelegramm (CRC-Fehler).

Im Verfahren nach Novák, ③, geschieht dies durch eine schrittweise Verlängerung des letzten Bits im zweiten Datenbyte. Durch den speziellen Dateninhalt (0x0A) entsteht im CAN-Teilnehmer genau dann eine Fehlabtastung, wenn das Bit um über den Abtastzeitpunkt im nächsten Bit hinaus verlängert wird. Der CAN-Teilnehmer sendet daraufhin ein Fehlertelegramm (Stuff-Fehler).

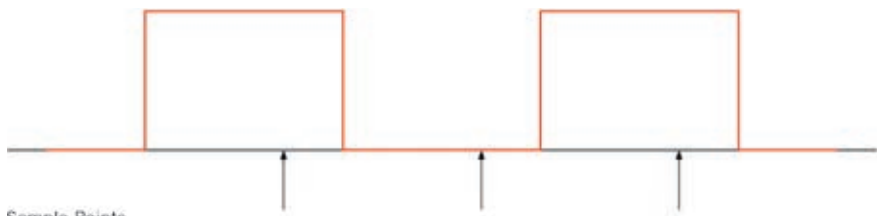
**HARDWARE ZUR MESSUNG DES ABTASTZEITPUNKTS**

Alle Verfahren zur Messung des Abtastzeitpunkts arbeiten indirekt, das heißt, der Messwert wird durch die Aufzeichnung und Auswertung der Reaktionen des CAN-Teilnehmers ermittelt. Neben dem Prüfling oder Device Under Test (DUT) besteht der Messaufbau aus einem Generator und einem CAN-Monitor.

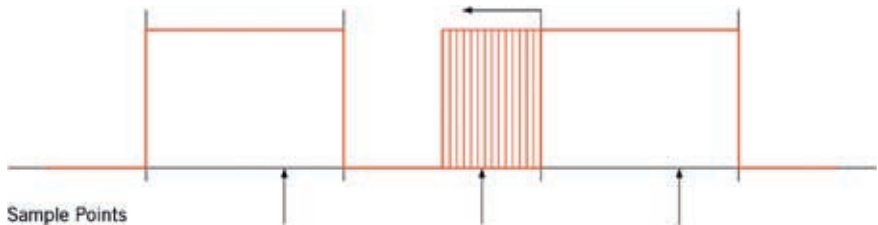
Als Hardware für die Signalerzeugung kommt ein Funktionsgenerator mit Pegel Anpassung zum Einsatz, da ein Standard-CAN-Interface die nötige Bitmanipulation nicht zulässt. Für eine Genauigkeit von 1 % in der Ermittlung des Abtastzeitpunkts ist ein 100 MHz Generator nötig, da die maximale Baudrate des CAN-Busses 1M Baud beträgt. Die Beobachtung wird durch einen CAN-Teilnehmer (CAN-Controller und CAN-Transceiver) realisiert. Um die Messung nicht zu beeinflussen, muss der Abtastzeitpunkt des Monitors unterhalb des Abtastzeitpunkts des DUT liegen, zum Beispiel 60 %.

**ABLAUF DER ABTASTZEITPUNKT-ERMITTLUNG OHNE KOLLISIONS-ERKENNUNG**

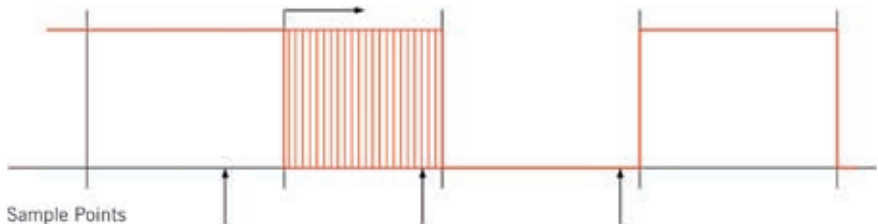
Da die beschriebene Anordnung nicht über eine Möglichkeit zur Erkennung der Bus-freiheit verfügt, kann es passieren, dass



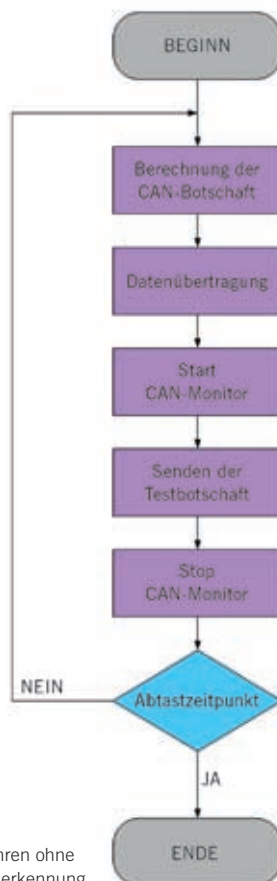
Sample Points  
① Prinzip Abtastzeitpunkt



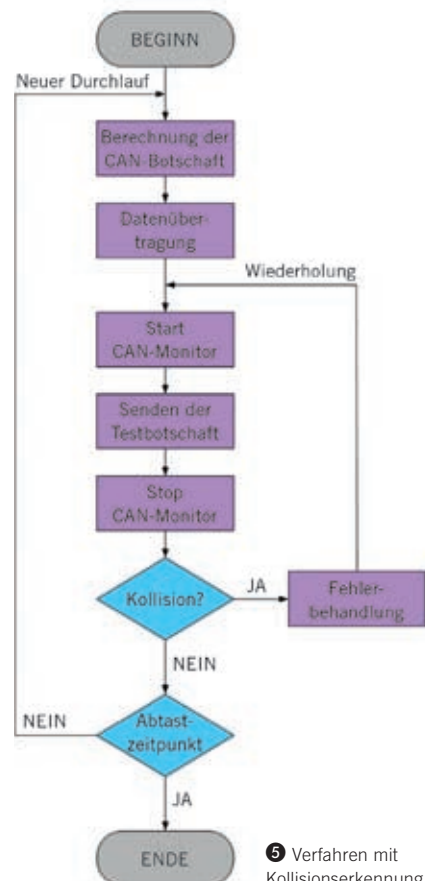
Sample Points  
② Verfahren nach DE 10 2004 002 771 A1



Sample Points  
③ Verfahren nach Novák



④ Verfahren ohne Kollisionserkennung



⑤ Verfahren mit Kollisionserkennung

das Senden des Testsignals eine Kollision auf dem Bus verursacht. Dies geschieht immer dann, wenn mehrere Teilnehmer gleichzeitig senden (DUT, Generator, Monitor). Beide CAN-konforme Teilnehmer (DUT und Monitor) werden eine solche Kollision mit Fehlertelegramm beantworten. Dieses Fehlertelegramm kann der Monitor nicht von dem erwarteten Fehlertelegramm infolge einer Fehlabtastung durch die Bitmanipulation des gesendeten modifizierten CAN-Signals unterscheiden. Das Verfahren liefert in diesem Fall falsche Ergebnisse. Eine solche Kollision ist umso wahrscheinlicher, je mehr Botschaften das DUT selbst sendet. Werden diese Sendebotschaften des DUT durch Kollisionen gestört, kann das DUT sogar in den Bus-Off-Zustand übergehen.

Deshalb ist es wichtig, dass während der Messung außer dem Testsignal keine weiteren CAN-Botschaften gesendet werden. Eine Messung des Abtastzeitpunkts unter realen Bedingungen ist somit nicht möglich, ④.

#### SYSTEMDARSTELLUNGEN

Das Verfahren erlaubt es, den Abtastzeitpunkt mit modifizierten CAN-Frames auch bei auftretenden Kollisionen und dadurch unter realen Bedingungen sicher zu ermitteln. Dabei werden die Kollisionen sicher erkannt, besonders behandelt und die Messung mit den aktuellen Parametern wiederholt, ⑤.

#### GENERATOR-MODUL

Das Testsignal wird mit einem beliebigen Funktionsgenerator erzeugt, der in der Lage ist, ein CAN-Signal in der entsprechenden Auflösung darzustellen. Eine Baudrate von 500k Baud bei 1 % Messgenauigkeit benötigt beispielsweise eine Samplefrequenz von 50 MHz. Die Applikation berechnet aus den CAN-Parametern (wie Baudrate, CAN-Daten, Stördaten) die nötigen Stützwerte, überträgt diese an den Funktionsgenerator und löst bei Bedarf das Senden des Testsignals aus.

Die Testbotschaft wird immer mit dem höchst prioren Identifier 0x0 gesendet, um Bitfehler zu vermeiden, die durch die fehlende Arbitrierungsfähigkeit des Generators entstehen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Zugriffssteuerung des DUT korrekt arbeitet.

#### MONITORING-MODUL

Die Beobachtung wird durch einen CAN-Teilnehmer (CAN-Controller und CAN-Transceiver) realisiert. Um die Messung nicht zu beeinflussen, muss der Abtastzeitpunkt des Monitors unterhalb des Abtastzeitpunkts des DUT liegen. Durch die Kollisionserkennung kann der Moni-

15,32154	0	RX							
0,00114	0	RX	55	55	55	55	55	55	55

⑥ Aufbau des Testsignals

tor zusätzliche, nicht manipulierte, CAN-Botschaften zu senden, um dem DUT nötige Informationen (wie Netz-



## Sichern Sie Ihren Vorteil durch die Integration innovativer Steckverbindingssysteme von Tyco Electronics!

Wir bieten die Steckerleiste bereits integriert im Elektronikgehäuse an und realisieren dadurch entscheidende Vorteile für unsere Kunden.

- **Kostenvorteil:** durch Entfall vom Gehäuse und Assemblageprozess, zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten wie z. B. Kondensatorhalterung und separater Erdung
- **Logistikvorteil:** durch die Abwicklung von einer anstelle mehrerer Teilenummern
- **Qualitätsvorteil:** durch Einpreßtechnik anstelle zusätzlicher Lötprozesse

Rufen Sie uns an! Wir finden zusammen mit Ihnen die richtige Lösung für Ihre Applikation.

Tyco Electronics AMP GmbH  
 AMPérestr. 12-14 • 64625 Bensheim  
 Tel. (06251) 133-9999 • Fax (06251) 133-1988  
 www.tycoelectronics.com • www.tycoelectronics.com/automotive  
 TE (Logo) und Tyco Electronics sind Marken.  
 Nichicon ist eine Marke der Nichicon Corporation.

Tyco Electronics' einzige Verpflichtungen sind diejenigen, welche in den Allgemeinen Geschäftsbedingungen Verkauf (<<http://www.tycoelectronics.com/aboutus/taandc.asp>>) dargelegt sind. Tyco Electronics lehnt ausdrücklich jede Haftung aufgrund stillschweigender Zusicherungen hinsichtlich der hier enthaltenen Informationen ab.



management, Applikationsdaten) zur Verfügung zu stellen, und so beispielsweise ein ungewolltes Abschalten des DUT zu verhindern. Eine Messung des Abtastzeitpunkts unter realen Bedingungen ist somit möglich.

**KOLLISIONSERKENNUNGS-MODUL**

Um die Fehlertelegramme infolge einer Fehlabtastung von denen einer Buskol-

lision unterscheiden zu können, besteht das gesendete Testsignal aus zwei CAN-Botschaften mit dem höchst prioren Identifier 0x0, die mit minimalen zeitlichen Abstand (Interframe Space) gesendet werden, ⑥. Dabei wird immer nur die zweite Botschaft entsprechend des aktuellen Testschritts manipuliert. Zur Unterscheidung beider Botschaften wird die erste ohne Dateninhalt und die zweite mit acht Datenbytes gesendet.

: Fall 1 – Führt der aktuelle Testschritt weder zu einer Fehlabtastung noch zu einer Kollision erhält man Daten, die in ⑦ dargestellt sind: Deutlich sind die vier Testsignale zu erkennen. Der Abstand zwischen erster und zweiter CAN-Botschaft ist immer gleich (hier 0,00114 s bei 100k Baud). Ist zum Sendebeginn des Testsignals der Bus frei, wird das gesamte Signal (also immer beide Botschaften) über den Generator

15,32154	0	RX	
0,00114	0	RX	55 55 55 55 55 55 55 55
0,06914	401	RX	01 02 00 00 00 00
0,02483	591	RX	00 04 8F 18 40 34 F0 00
0,02499	401	RX	01 01 00 00 00 02
0,01130	0	RX	
0,00114	0	RX	55 55 55 55 55 55 55 55
0,11721	0	RX	
0,00114	0	RX	55 55 55 55 55 55 55 55
0,00928	401	RX	01 02 00 00 00 00
0,03499	591	RX	00 04 8F 18 40 34 F0 00
0,08628	0	RX	
0,00114	0	RX	55 55 55 55 55 55 55 55
0,11263	591	RX	00 04 8F 18 40 34 F0 00

⑦ Keine Kollision und keine Fehlabtastung

10,17889	0	RX	
0,00114	0	RX	55 55 55 55 55 55 55 55
0,01348	591	RX	00 04 8F 18 40 34 F0 00
0,00502	401	RX	01 02 80 00 00 00
0,05011	401	RX	01 01 00 00 00 02
0,09021	0	RX	
0,00115		ErrorFrame	
0,04875	401	RX	01 02 00 00 00 00
0,00482	591	RX	00 04 8F 18 40 34 F0 00
0,04499	401	RX	01 01 00 00 00 02
0,03155	0	RX	
0,00114		ErrorFrame	
0,10737	401	RX	01 02 00 00 00 00
0,01091	0	RX	

⑧ Fehlabtastung ohne Kollision

0,03155	0	RX	
0,00114		ErrorFrame	

⑨ Fehlabtastung

17,17889	591	RX	00 04 8F 18 40 34 F0 00
0,00502	401	RX	01 02 80 00 00 00
0,05011	401	RX	01 01 00 00 00 02
0,09021		ErrorFrame	
0,00115		ErrorFrame	
0,04875		ErrorFrame	
0,00114		ErrorFrame	
0,04499	401	RX	01 01 00 00 00 02

⑩ Kollision



**Tieto Automotive**

Ihr R&D-Partner mit Erfahrung in der automobilen Kommunikation

Tieto Automotive bietet professionelle Entwicklungsdienstleistungen für Systeme und Komponenten in der Fahrzeugindustrie und Verkehrstelematik kombiniert mit weitreichender Expertise in den Gebieten Kommunikationsnetze, mobile Endgeräte und digitale Medien:

- Elektronik
- Software
- Integration
- Kommunikation & Infotainment
- Next Generation InCar Online Services

[tieto.de/automotive](http://tieto.de/automotive) | [automotive@tieto.com](mailto:automotive@tieto.com)



gesendet und fehlerfrei über den Monitor empfangen, da alle anderen CAN-Teilnehmer über eine Arbitrierung verfügen ein Senden der höchst prioren Botschaft 0x0 nicht unterbrechen.

- : Fall 2 – Führt der aktuelle Testschritt zu einer Fehlabtastung aber nicht zu einer Kollision, erhält man Daten, die in 8 dargestellt sind. Beim Senden der Testsignale zwei und drei erkennt des DUT die erste Botschaft als korrekt, auf die zweite wird infolge der Fehlabtastung aber mit einem Fehlertelegramm reagiert. Ein Errorframe, dem unmittelbar die Botschaft 0x0 ohne Daten vorausgeht kennzeichnet eindeutig eine Fehlabtastung, 9.
- : Fall 3 – Führt der aktuelle Testschritt zu einer Kollision erhält man Daten, die in 10 dargestellt sind. Bereits auf die erste Botschaft des Testsignals reagieren sowohl vom DUT als der Monitor mit einem Fehlertelegramm, da der Generator jetzt gleichzeitig mit einem anderen CAN-Teilnehmer sendet (Kollision). Fehlertelegramme, denen nicht unmittelbar die Botschaft 0 x 0 ohne Daten vorausgeht, kennzeichnen also keine Fehlabtastung, sondern werden als Kollision behandelt. Wird eine solche Kollision erkannt, erfolgt eine Fehlerbehandlung und die Messung wird anschließend mit den gleichen Parametern wiederholt.

### FEHLERBEHANDLUNGS-MODUL

Je nachdem, ob bei der Kollision ein Sender oder eine Empfangsbotschaft des DUT gestört wurde, inkrementiert das DUT seinen entsprechenden internen Fehlerzähler. Deshalb wird bei einer erkannten Kollision sofort das Senden der Testsignale unterbrochen. Dadurch kann das DUT ungestört Senden und dekrementiert den intern Senderfehlerzähler. Gleichzeitig werden über den Monitor ungestörte Botschaften gesendet, um auch ein fehlerfreies Empfangen und dadurch ein dekrementieren des intern Empfangsfehlerzähler zu erreichen. Dadurch wird ein Erreichen des Bus-Off-Zustands im DUT oder im Monitor sicher verhindert.

### FAZIT

Das kollisionstolerante Verfahren zur Ermittlung des Abtastzeitpunkts am CAN-Bus kann an allen Netzwerktester nachgerüstet werden, und ist derzeit auf zirka 20 Systemen bei verschiedenen OEMs und Zulieferern im Einsatz.

### LITERATURHINWEISE

- [1] Lawrenz, Wolfhard Controller Area Network: CAN; Grundlagen und Praxis 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage Heidelberg: Hüthig 2000, ISBN 3-7785-2780-0
- [2] The Configuration of the CAN Bit Timing, Florian Hartwich, Armin Bassemir, Robert Bosch GmbH, Abt. K8/EIS, Tübinger Straße 123, 72762 Reutlingen
- [3] CAN Controller Area Network, Gang Huang
- [4] DE 10 2004 002 771 A1
- [5] Novák, Jirí, Sample Point Position Measurement of Controller Area Network Nodes



## AVL APPLIKATIONSSOFTWARE. MODULAR. EFFIZIENT. KUNDENSPEZIFISCH.

Unabhängige Lösungen für Prototypen- und Serien-Antriebe.

- E-Mobilitätslösungen für Hybride und reine Elektro-Fahrzeuge
- Direkteinspritzung inklusive Turboaufladung für Ottomotoren
- Abgasnachbehandlung, Luftpfad- und Einspritzlösungen für Diesel
- Applikationen für PKW, Nutzfahrzeuge- und Off-Road-Maschinen

Wir haben die Kompetenz. Wir haben die Möglichkeiten.  
Und wir sind ganz in Ihrer Nähe.

[www.avl.com/sw\\_electronics](http://www.avl.com/sw_electronics)



DOWNLOAD DES BEITRAGS  
[www.ATZonline.de](http://www.ATZonline.de)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE  
order your test issue now:  
[SpringerAutomotive@abo-service.info](mailto:SpringerAutomotive@abo-service.info)