



Ostfalia

Hochschule für angewandte
Wissenschaften

Ostfalia Fakultät Fahrzeugtechnik

Bussysteme II

Labordokumentation

Vorgelegt von:

[REDACTED]

Matrikelnummer : [REDACTED]

Studiengang: IUE

Semester: 5

[REDACTED]

Matrikelnummer: [REDACTED]

Studiengang: IUE

Semester: 5

[REDACTED]

Matrikelnummer: [REDACTED]

Studiengang: IUE

Semester: 5

Geprüft durch:

Prof. Dr. D. Sabbert

R. Quednau, Dipl.-Ing.

Durchgeführt am:

16.12.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Versuche mit einem Highspeed-CAN („CAN A“)	6
1.1	Physikalische Parameter und Datenframe	6
1.1.1	Versuchsaufbau	6
1.1.2	Versuchsdurchführung	6
1.1.3	Versuchsauswertung	7
1.2	Abschlusswiderstand, Physikalische Busfehler	12
1.2.1	Versuchsaufbau	12
1.2.2	Versuchsdurchführung	12
1.2.3	Versuchsauswertung	12
1.3	Verwenden eines einfachen Tools zur Busanalyse	17
1.3.1	Versuchsaufbau	17
1.3.2	Versuchsdurchführung	17
1.3.3	Versuchsauswertung	17
1.4	Fehlerverhalten eines Teilnehmers, Fall 1	19
1.4.1	Versuchsaufbau	19
1.4.2	Versuchsdurchführung	19
1.4.3	Versuchsauswertung	19
1.5	Fehlerverhalten eines Teilnehmers, Fall 2	21
1.5.1	Versuchsaufbau	21
1.5.2	Versuchsdurchführung	21
1.5.3	Versuchsauswertung	21
2	Versuche mit einem CAN FD („CAN B“)	23
2.1	Bitraten	23
2.1.1	Versuchsaufbau	23
2.1.2	Versuchsdurchführung	23
2.1.3	Versuchsauswertung	23
2.2	Erstellen einer Kommunikationsmatrix	25
2.2.1	Versuchsaufbau	25
2.2.2	Versuchsdurchführung	25
2.2.3	Versuchsauswertung	25
2.3	Erstellen einer Datenbasis für CANoe	26
2.3.1	Versuchsaufbau	26
2.3.2	Versuchsdurchführung	26
2.3.3	Versuchsauswertung	26
3	CAN-Gesamtnetzwerk, Gateway, Buslast	27
3.0.1	Versuchsaufbau	27
3.0.2	Versuchsdurchführung	27
3.0.3	Versuchsauswertung	29
4	Literaturverzeichnis	32

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau CAN-A [1]	6
2	Teilnehmer auf Datenbus [1]	6
3	Oszilloskopbild des CAN-HIGH Signals, gegen Masse, des CAN-Highspeed Busses. Die eingezeichneten Linien stellen die theoretischen Spannungspegel des CAN-HIGH Signals dar. Die Obere, gestrichelte Linie ist bei 3.5V, die untere bei 2.5V	7
4	Oszilloskopbild des CAN-LOW Signals, gegen Masse, des CAN-Highspeed Busses. Die eingezeichneten Linien stellen die theoretischen Spannungspegel des CAN-LOW Signals dar. Die Obere, gestrichelte Linie ist bei 2.5V, die untere bei 1.5V	7
5	Oszilloskopbild der CAN-Highspeed Botschaft, wobei das CAN-HIGH Signal gegen dem CAN-LOW Signal gemessen wurde. Die eingezeichneten Linien stellen die theoretischen Spannungspegel des CAN-Highspeed Signals dar. Die obere, gestrichelte Linie liegt bei 2.5V, die untere bei 0V	8
6	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-HIGH Signal gegen dem CAN-LOW Signal gemessen wurde. Die eingezeichneten Linien auf der Zeitachse (vertikal) liegen jeweils bei dem Anfang und Ende eines Bits. Der Gemessene Zeitunterschied zwischen den beiden Linien, r�presentiert die Zeit eines Bits T_{Bit} in μs . In diesem Fall ist die gemessene Bitzeit $T_{Bit} = 2 \mu s$	9
7	Oszilloskopbild der CAN-Highspeed Botschaft, wobei das CAN-HIGH Signal gegen dem CAN-LOW Signal gemessen wurde. Das Bild wurde vergrößert, sodass die Werte der einzelnen Pegel in roter Schrift eingezeichnet werden konnten.	9
8	Oszilloskopbild der CAN-Highspeed Botschaft aus Abbildung 7 mit den separierten Segmenten. Das unbeschriftete Bit stellt einen Stuffbit dar.	10
9	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals, über einen Zeitraum von 100 ms wobei die Zykluszeit T_{zyklus} rot eingezeichnet ist.	10
10	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals aus Abbildung 7 (schwarzes Signal) mit der Botschaft, die während dem Knopfdruck gesendet wird (gelbes Signal). Beide Signale wurden auf einem Bild dargestellt, um den Unterschied sichtbar zu machen. Zwar ist die Abbildung etwas unübersichtlich, jedoch ist klar, dass die Botschafts ID gleich bleibt, sodass nur das Datenfeld verändert ist. Zudem kommt aufgrund des veränderten Datensatzes ein zusätzlicher Stuffbit hinzu.	11
11	Oszilloskopbild eines CAN-Highspeed Bits, wobei das CAN-HIGH Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal nicht abklingt, und ein plausiblen Wert nicht innerhalb des Abtastzeitpunktes erreicht wird.	12
12	Oszilloskopbild eines CAN-Highspeed Bits, wobei das CAN-LOW Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal nicht abklingt, und ein plausiblen Wert nicht innerhalb des Abtastzeitpunktes erreicht wird.	13
13	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-HIGH Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal zwar weitgehend abklingt, allerdings erst kurz vor Ende der Bitzeit.	14
14	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-LOW Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal zwar weitgehend abklingt, allerdings erst kurz vor Ende der Bitzeit.	15
15	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-HIGH Signal gegen das CAN-LOW Signal gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal völlig uneinlesbar ist.	16

16	Die obigen Bildschirmausdrücke zeigen die, mit dem PCAN-View eingelesenen, Botschaften des CAN-Highspeed Busses. Sichtbar ist, dass die Werte für den nicht-gedrückten und gedrückten Knopf des Senders, jeweils 76_H und 77_H entsprechen. Diese Werte stimmen mit den, in Abschnitt 1.1 bestimmten, Werten überein.	17
17	Der obige Bildschirmausdruck zeigt die, mit dem PCAN-View eingelesene, maximal-Buslast von 0.5 % , sowie eine durchschnittliche Buslast von 0.2 %	18
18	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, ohne dass ein anderer Teilnehmer mit dem Bus verbunden ist. Sichtbar ist, dass zwischen den Botschaften ein Passiver Error Frame, aus mehreren rezessiven Pegeln, existiert. Die zwei Cursor zeigen den Zeitabstand von $36\mu s$, welches die kleinstmögliche Error-Frame Länge darstellt. Es ist sichtbar, dass dieser Teilnehmer so konfiguriert ist, dass er eine deutlich längere Error Frame sendet, um mehr Busruhe zu gewährleisten als von dem CAN-Highspeed Protokoll vorgesehen ist.	19
19	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, ohne dass ein anderer Teilnehmer mit dem Bus verbunden ist. In diesem Oszilloskopbild, sind die Cursor der Zeitachse so positioniert, dass die Länge des Error-Frames gemessen wird. In diesem Fall, beträgt die Länge des Error-Frames $52\mu s$	20
20	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, wobei die Botschaften von dem PCAN-Tool zerstört werden. In diesem Oszilloskopbild, sind die Cursor auf der Zeitachse so positioniert, dass die Länge zwischen den Error Frames und der nächsten Botschaft gemessen wird. Sichtbar ist, dass nicht alle Botschaften zerstört wurden, da dies nur funktioniert wenn an der zu zerstörenden Stelle der Sender versucht ein rezessives Bit zu senden. Zudem ist der Tool nicht bei jedem Versuch erfolgreich, den Bitwert zu manipulieren.	21
21	Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, wobei die Botschaften von dem PCAN-Tool zerstört werden. In diesem Oszilloskopbild, sind die Cursor auf der Zeitachse so positioniert, dass die Länge des passiven Teil des aktiven Error Frames gemessen wird. Diese Länge beträgt $3ms$	22
22	Versuchsaufbau CAN B [1]	23
23	Oszilloskopbild des CAN-FD Signals wobei das CAN-LOW Signal gegen dem CAN-HIGH Signal gemessen wurde. Die veränderte Datenrate im Daten- und CRC-Feld ist gut sichtbar. Die Cursor sind bei den jeweiligen Spannungen $0V$ und $2V$ positioniert. Der Spannungswert des größeren, dominanten Pegels liegt bei ca. $2.36V$	23
24	Zwei Oszilloskopbilder, mit Teilen der CAN-FD Botschaft des 3. Teilnehmers. Sichtbar ist, dass sich die Baudraten in den beiden Bildern unterscheiden. Die Cursor in dem ersten Bild wurden auf der vertikalen Zeitachse mit einem Zeitabstand von $2\mu s$	24
25	Bildschirm-Ausdruck des CANoe Editors mit der erstellten CAN-Kommunikationsmatrix für den CAN-B Bus. Die Informationen, aus der die Matrix besteht stammen aus der Tabelle 3.	26
26	Vernetzungsdiagramm der CAN-A und CAN-B Busse	27
27	Beschreibung der CAN-B Teilnehmerfunktionen	28
28	Bildschirm-Ausdruck des CANoe Editors mit dem CAN-A und dem CAN-B Bus offen. Es werden alle möglichen Botschaften angezeigt. Sichtbar ist, dass die Botschaften des CAN-B Busses an den CAN-A Bus weitergeleitet werden. Die weitergeleiteten Botschaften bekommen eine ID mit welche mit 7_H anfängt, sodass diese leicht von den anderen Botschaften unterschieden werden können.	29

29	Bildschirm-Ausdruck des CANoe Editors mit der CAN-A (CAN 2) und der CAN-B (CAN 1) Buslast. Die gemessene Buslast bei dem CAN-A beträgt 8.33%, und bei dem CAN-B sind es 1.75%	30
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

1 Versuche mit einem Highspeed-CAN („CAN A“)

Dieser Versuch gliedert sich in fünf Teilversuche, die jeweils an einem Highspeed-CAN durchgeführt werden. Der grundsätzliche Versuchsaufbau besteht aus drei Busteilnehmern, die wie in Abbildung 1 zu sehen ist, an dem Datenbus angeschlossen sind. Die Abbildung 2 stellt die Verbindungen eines einzelnen Busteilnehmers zum Datenbus dar. Jeder Teilnehmer kann über den roten Taster ein- und ausgeschaltet werden und über die grünen und blauen Bananenbuchsen vom Datenbus abgetrennt werden. Die Signale auf den Busleitungen lassen sich über die blauen (CAN_{LOW}), bzw. grünen (CAN_{HIGH}) Bananenbuchsen und über die Sub-D9-Buchse abgreifen. Darüber hinaus kann die Masse und V_{BAT} (= 12V) abgegriffen werden. [1] Ferner steht zur Bearbeitung der folgenden Teilversuche ein Oszilloskop, das CAN-Analysetool „PCAN-VIEW“ und „PCAN-USB Pro“ sowie das CAN-Analysetool „CANoe“ und passende Hardware zur Verfügung.

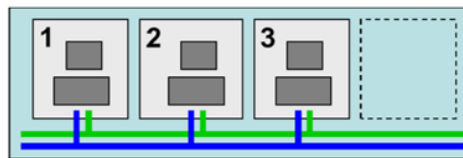


Abbildung 1: Versuchsaufbau CAN-A [1]

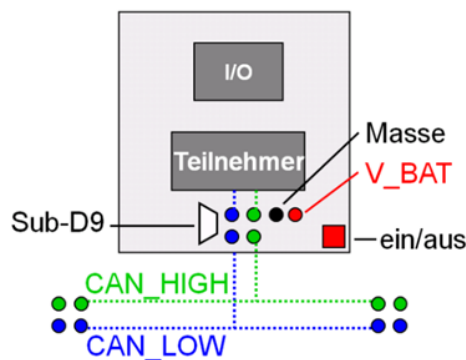


Abbildung 2: Teilnehmer auf Datenbus [1]

1.1 Physikalische Parameter und Datenframe

1.1.1 Versuchsaufbau

Für diesen Teilversuch werden die Teilnehmer Nr. 1 und Nr. 2 des Datenbusses „CAN A“ aktiviert und mit den Busleitungen verbunden.

1.1.2 Versuchsdurchführung

Auf dem Datenbus wird eine Botschaft gesendet. Mithilfe des Oszilloskops werden zunächst die einzelnen Signalpegel gegen Masse gemessen. Anschließend wird der Differenzpegel zwischen den Signalleitungen gemessen. Es werden die einzelnen Botschaftsteile aufgezeichnet und für die spätere Versuchsauswertung abgespeichert. Ferner werden mit dem Oszilloskop charakteristische Werte wie Bitzeit, Baudrate und Zykluszeit ermittelt, auf welche in der Versuchsauswertung genauer eingegangen wird.

1.1.3 Versuchsauswertung

Analyse des CAN-HIGH und CAN-LOW Signals

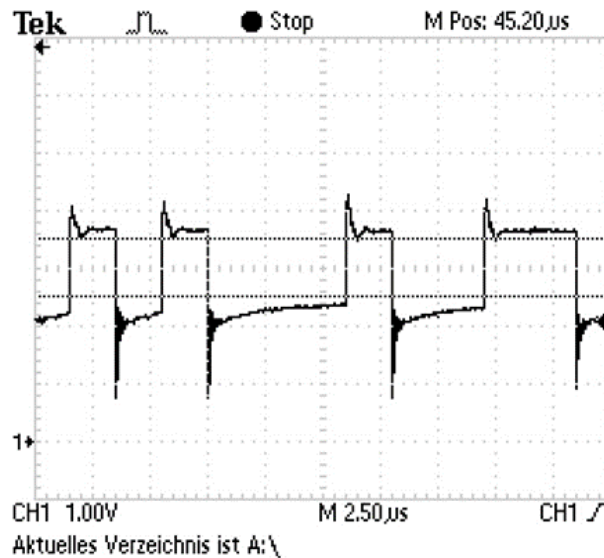


Abbildung 3: Oszilloskopbild des CAN-HIGH Signals, gegen Masse, des CAN-Highspeed Busses. Die eingezeichneten Linien stellen die theoretischen Spannungspegel des CAN-HIGH Signals dar. Die Obere, gestrichelte Linie ist bei 3.5V, die untere bei 2.5V

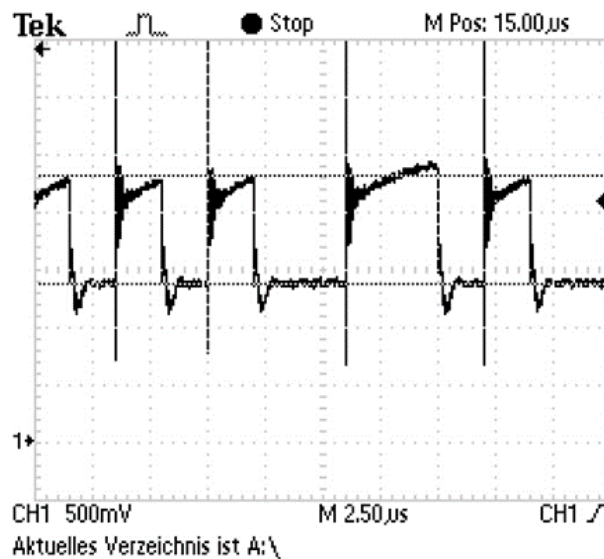


Abbildung 4: Oszilloskopbild des CAN-LOW Signals, gegen Masse, des CAN-Highspeed Busses. Die eingezeichneten Linien stellen die theoretischen Spannungspegel des CAN-LOW Signals dar. Die Obere, gestrichelte Linie ist bei 2.5V, die untere bei 1.5V

Gemäß ISO 11898-2,3, ist der größere Spannungswert von **3.5V** bei dem **CAN-HIGH Signal**, der **dominante 0-Pegel**, während der geringere Spannungswert von **2.5V** bei dem **CAN-HIGH Signal** den **rezessiven 1-Pegel** entspricht. Bei dem CAN-LOW Signal entspricht der geringere Spannungswert von **1.5V**, den **dominanten 0-Pegel** wobei der größere Spannungswert von **2.5V** dem **rezessiven 1-Pegel** entspricht.

Analyse des CAN-Highspeed Gesamtsignals (CAN-HIGH gegen CAN-LOW)

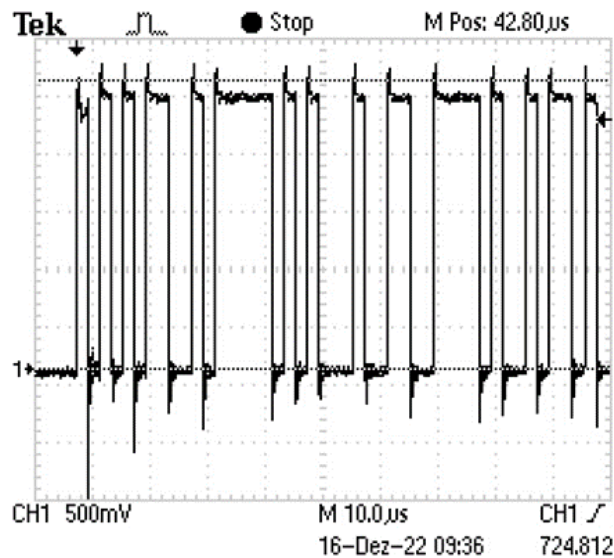


Abbildung 5: Oszilloskopbild der CAN-Highspeed Botschaft, wobei das CAN-HIGH Signal gegen dem CAN-LOW Signal gemessen wurde. Die eingezeichneten Linien stellen die theoretischen Spannungspegel des CAN-Highspeed Signals dar. Die obere, gestrichelte Linie liegt bei 2.5V, die untere bei 0V

Sichtbar ist, dass bei dem Gesamtsignal eine deutlich geringere Abklingzeit observierbar ist. Dies ist unter anderem auf die verdrehte Leitungsgeometrie zurückzuführen, die ein Ausgleichen der Störeinflüsse ermöglicht. Das Oszilloskopbild zeigt, dass verdrehte Leitungen eine deutlich höhere Störfestigkeit ermöglichen, als Eindrahtleitungen. Die alternierenden Positionen der einzelnen Leitungen, relativ zur Störquelle führen dazu, dass die induzierten Störsignale auf den jeweiligen Leitungen einen geringen Einfluss auf das Differenzspannungssignal haben.

Ermittlung der Baudrate aus dem Gesamtsignal

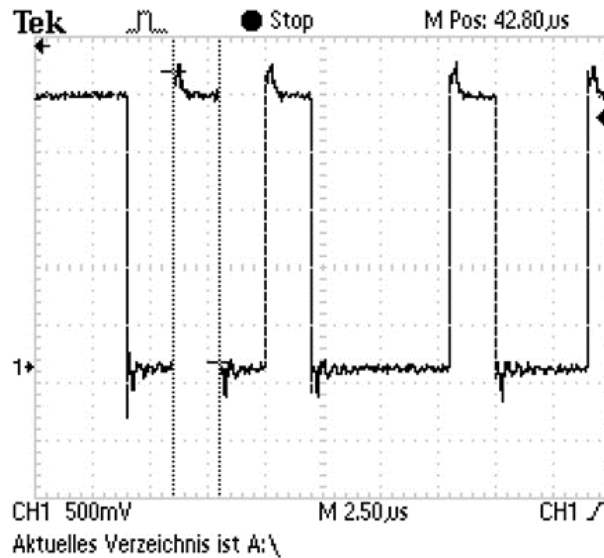


Abbildung 6: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-HIGH Signal gegen dem CAN-LOW Signal gemessen wurde. Die eingezeichneten Linien auf der Zeitachse (vertikal) liegen jeweils bei dem Anfang und Ende eines Bits. Der Gemessene Zeitunterschied zwischen den beiden Linien, r präsentiert die Zeit eines Bits T_{Bit} in μs . In diesem Fall ist die gemessene Bitzeit $T_{Bit} = 2 \mu s$

Die Baudrate kann mithilfe der Folgenden Formel 1, sowie der, in Abbildung 6 ermittelten, Bitzeit $T_{Bit} = 2 \mu s$ berechnet werden:

$$B = 1/T_{Bit} = 1/2\mu s = 500kBit/s \quad (1)$$

Ermittlung der Botschaftswerte aus Oszilloskopbild

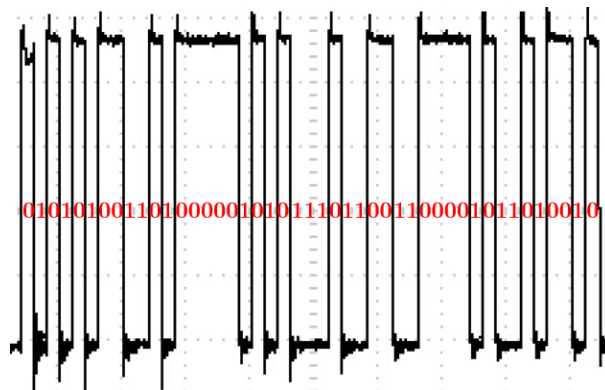


Abbildung 7: Oszilloskopbild der CAN-Highspeed Botschaft, wobei das CAN-HIGH Signal gegen dem CAN-LOW Signal gemessen wurde. Das Bild wurde vergrößert, sodass die Werte der einzelnen Pegel in roter Schrift eingezeichnet werden konnten.

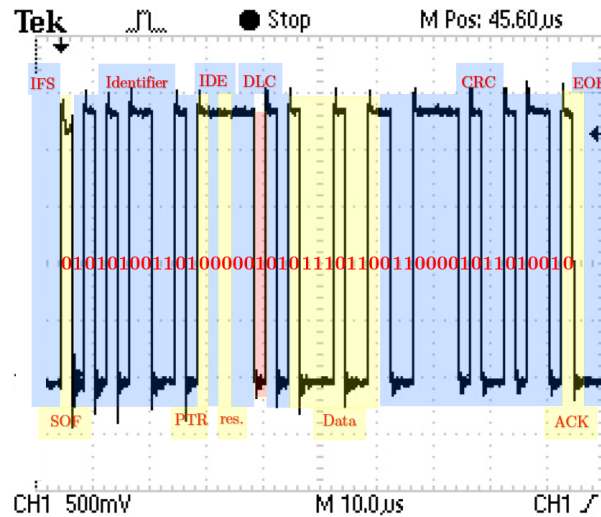


Abbildung 8: Oszilloskopbild der CAN-Highspeed Botschaft aus Abbildung 7 mit den separierten Segmenten. Das unbeschriftete Bit stellt einen Stuffbit dar.

Mithilfe der obigen Abbildungen 7 und 8 konnten nun die Werte der Botschaften ermittelt werden. Diese wurden in der untenliegenden Tabelle 2 eingezeichnet.

Segment	Werte		
	Hex.	Bin.	Dez.
11-Bit ID	54D	10101001101	1357
DLC	1	0001	1
Datenfeld	76	01110110	118

Tabelle 1: Analyse der in Abbildung 8 dargestellten, zyklischen CAN-Highspeed Botschaft.

Ermittlung der Zykluszeit der Botschaft

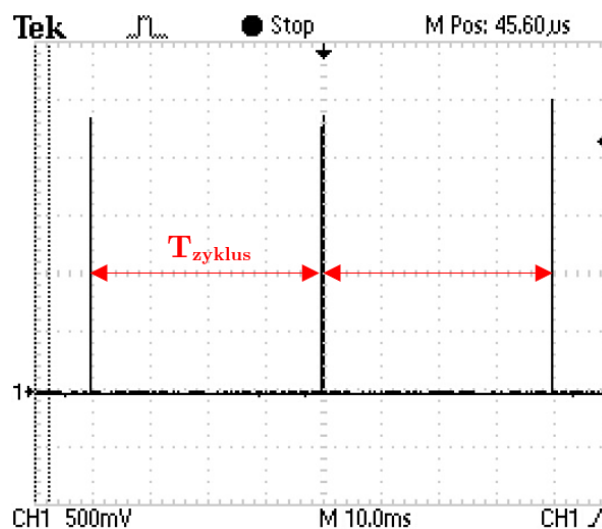


Abbildung 9: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals, über einen Zeitraum von 100 ms wobei die Zykluszeit T_{zyklus} rot eingezeichnet ist.

Aus der obigen Abbildung 9 wurde die Zykluszeit $T_{zyklus} = 40 \text{ ms}$ der Botschaft mit der ID $54D_H$ ermittelt.

Änderung der Botschaft bei Knopfdruck

Im Folgenden soll analysiert werden, in wiefern sich die Botschaft ändert, wenn der Knopf auf dem sendenden Teilnehmer TN1 gedrückt wird.

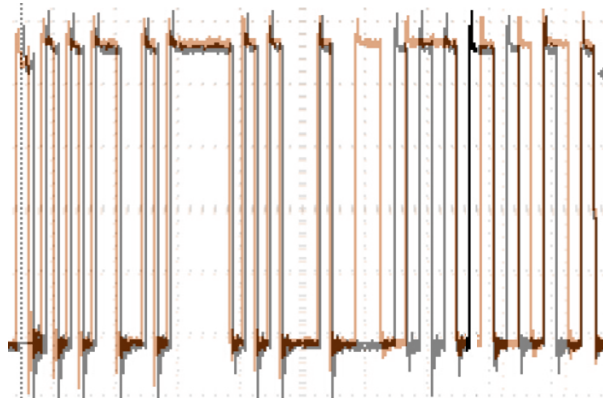


Abbildung 10: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals aus Abbildung 7 (schwarzes Signal) mit der Botschaft, die während dem Knopfdruck gesendet wird (gelbes Signal). Beide Signale wurden auf einem Bild dargestellt, um den Unterschied sichtbar zu machen. Zwar ist die Abbildung etwas unübersichtlich, jedoch ist klar, dass die Botschafts ID gleich bleibt, sodass nur das Datenfeld verändert ist. Zudem kommt aufgrund des veränderten Datensatzes ein zusätzlicher Stufbit hinzu.

Um den Unterschied der beiden Botschaften in einer übersichtlicheren Form zu analysieren, wurden die Werte der Botschaft ermittelt und mit denen aus Tabelle 2 verglichen:

Segment	Werte		
	Hex.	Bin.	Dez.
ID (Knopf nicht gedrückt)	54D	10101001101	1357
ID (Knopf gedrückt)	54D	10101001101	1357
DLC (Knopf nicht gedrückt)	1	0001	1
DLC (Knopf gedrückt)	1	0001	1
Datenfeld (Knopf nicht gedrückt)	76	01110110	118
Datenfeld (Knopf gedrückt)	77	01110111	119

Tabelle 2: Analyse der in Abbildung 8 dargestellten CAN-Highspeed Botschaft.

Die Analyse zeigt, dass bei gedrücktem Knopf, der Wert des Datenfeldes in der Botschaft um 1 inkrementiert wird. Ansonsten bleibt die Botschaft unverändert. Der Knopf befindet sich auf dem **sendenden Teilnehmer 1, der eine Botschaft sendet welche von dem Teilnehmer 2 empfangen wird** der eine Lampe ansteuert.

1.2 Abschlusswiderstand, Physikalische Busfehler

1.2.1 Versuchsaufbau

Für diesen Teilversuch werden wie beim vorherigen Teilversuch die Teilnehmer Nr. 1 und Nr. 2 des Datenbusses "CAN A" aktiviert und mit den Busleitungen verbunden.

1.2.2 Versuchsdurchführung

Es werden zunächst beide Abschlusswiderstände entfernt, daraufhin wird einer der Abschlusswiderstände wieder aufgesteckt. Abschließend wird noch ein Kurzschluss zwischen den beiden Busleitungen erzeugt. Es wird jeweils mit dem Oszilloskop die Signalqualität aufgezeichnet und überprüft, ob der Empfänger die CAN-Signale noch erkennen kann.

1.2.3 Versuchsauswertung

Analyse des Signals ohne Abschlusswiderstände

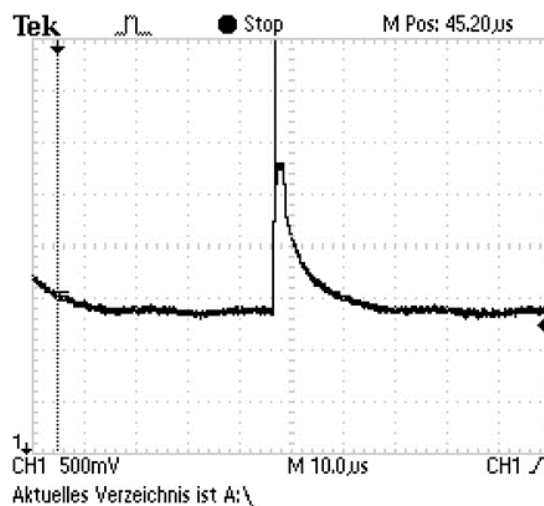


Abbildung 11: Oszilloskopbild eines CAN-High-Speed Bits, wobei das CAN-HIGH Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal nicht abklingt, und ein plausiblen Wert nicht innerhalb des Abtastzeitpunktes erreicht wird.

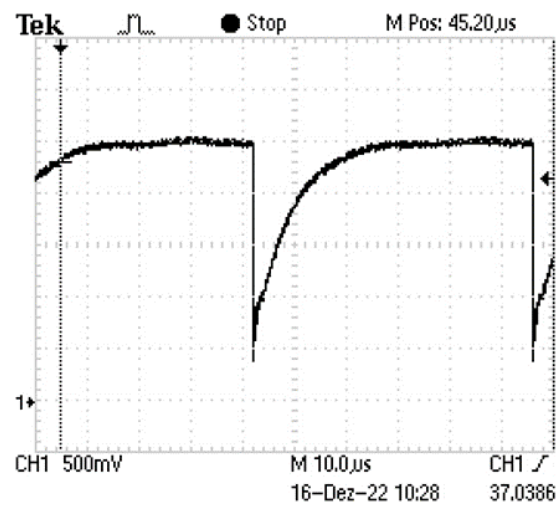


Abbildung 12: Oszilloskopbild eines CAN-Highspeed Bits, wobei das CAN-LOW Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal nicht abklingt, und ein plausiblen Wert nicht innerhalb des Abtastzeitpunktes erreicht wird.

Sichtbar ist, dass die Signale bei fehlendem Abschlusswiderstand kaum erkennbar sind. Grund hierfür ist, dass der Übergang von dem Busleiter (Kupfer) zu dem Abschlusswiderstand, welches in diesem Fall gegen Unendlich groß ist, zu hoch ist, sodass die Reflektion der Signale so hoch ist, dass das Abklingen nicht rechtzeitig, also vor dem Abtastzeitpunkt, geschieht. Zudem ist die Abklingzeit deutlich größer als die eigentliche Bitzeit, sodass es nicht weiter möglich ist überhaupt einzelne Bits zu übertragen. Dies führt dazu, dass unplausible CAN-HIGH, CAN-LOW und gesamt-Signale entstehen, die von dem Empfänger nicht ausgewertet werden können. Das Verhalten wird bestätigt, in dem der Knopf gedrückt wurde und die Lampe des empfangenden Teilnehmers nicht an geht, wie sie es eigentlich tun soll.

Dieses Verhalten kann anhand einiger Rechnungen beschrieben werden. Die Formel 2 stammt aus Quelle [2].

Der Reflektionsfaktor r kann anhand des Abschlusswiderstandes Z_{AB} und Leitungswiderstandes Z_L bestimmt werden. Zur Vereinfachung der Rechnung wird angenommen, dass bei fehlenden Abschlusswiderständen, der Abschlusswiderstand nahezu unendlich groß ist, also $Z_{AB} \approx \infty$.

$$r = \frac{Z_{AB} - Z_L}{Z_{AB} + Z_L} = \frac{\infty - Z_L}{\infty + Z_L} = 1 \quad (2)$$

Es gilt, dass bei einem Reflektionsfaktor $r = 1$, die hinlaufende Welle vollständig reflektiert wird, nachdem sie das Ende der Leitung erreicht hat [2]. Aufgrund des unendlich großen Widerstandes, kann die Welle nur sehr wenig Energie abbauen, und wird somit mehrfach zwischen den Leitungs-Enden reflektiert, wo sie durch den Zusammenstoß mit den Hin-laufenden Wellen \hat{u}_{hin} , welche von den Busteilnehmern erzeugt werden, sowie von entgegenkommenden Reflexionen \hat{u}_{rek} ihre Energie abbauen kann. Dies führt zu dem in Abbildung 11 und 12 gezeigtem Verhalten.

Analyse des Signals mit einem zu hohen, einseitigen Abschlusswiderstand

Im folgenden Abschnitt, sollen die Signale der CAN-HIGH und CAN-LOW Leitungen, sowie das Gesamtsignal des CAN-Highspeed Netzwerkes im Falle eines zu hohen Abschlusswiderstandes analysiert werden. Hierzu wird eines der beiden Abschlusswiderstände $Z_{AB} = 120\Omega$ an einem der beiden Leitungsenden angeschlossen.

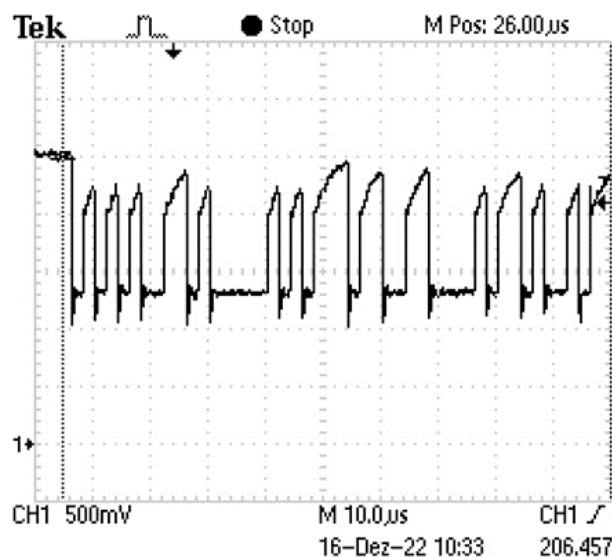


Abbildung 13: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-HIGH Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal zwar weitgehend abklingt, allerdings erst kurz vor Ende der Bitzeit.

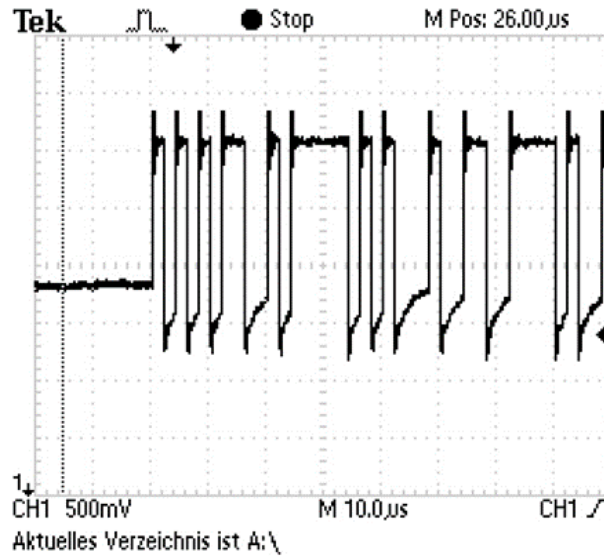


Abbildung 14: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-LOW Signal gegen Masse gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal zwar weitgehend abklingt, allerdings erst kurz vor Ende der Bitzeit.

Die Abbildungen 13 und 14 zeigen, dass der zu große Abschlusswiderstand $Z_{AB} = 120\Omega$ zu einem plausiblen, wenn auch unsauberen Signal führen. Da das Abklingen des Signals bereits vor dem Abtastzeitpunkt geschieht, ist das Signal von dem Empfänger auswertbar, was durch das Drücken des Knopfes am Sender und die Reaktion des Empfängers (Lampe leuchtete) bestätigt wurde.

Der Reflektionsfaktor r kann anhand des Abschlusswiderstandes Z_{AB} und Leitungswiderstandes Z_L bestimmt werden. Zur Vereinfachung der Rechnung wird angenommen, dass bei der Wellenwiderstand der Leitung die Standardmäßige $Z_L = 60\Omega$ entspricht, da es sich hier um eine Verdrillte Zweidrahtleitung handelt [2].

$$r = \frac{Z_{AB} - Z_L}{Z_{AB} + Z_L} = \frac{120\Omega - 60\Omega}{120\Omega + 60\Omega} = 0.33 \quad (3)$$

Sichtbar ist, dass bei einem zu Hohen Leitungswiderstand, der Reflektionsfaktor positiv ist, in diesem Fall $r = \frac{1}{3}$, sodass $\frac{1}{3}$ der Wellenenergie reflektiert wird. Diese Energie führt zu einer Störung des CAN-Highspeed Signals, welches in den Abbildungen 13 und 14 sichtbar ist. Die Gesamtpegel sind also größer als die Hinlaufenden Pegel, was anhand der großen Spitzen in den Signalen erkennbar ist.

Dadurch dass im CAN-Highspeed die Teilnehmer recht tolerant sind, was Spannungswerte angeht, sind die Signale trotzdem einlesbar. Dieses Merkmal kann mithilfe der Formel 4 erklärt werden, welche besagt, dass der Abtastpunkt t_{abtast} eines Pegels erst nach einem gewissen Zeitpunkt von $\frac{5}{7}$ der Gesamtbitzeit liegen soll [2].

$$t_{abtast} = \frac{5}{7} \cdot T_{Bit} = \frac{5}{7} \cdot 2\mu s = 1,4\mu s \quad (4)$$

Vergleicht man diesen Abtastzeitpunkt mit den Pegeln in Abbildungen 13 und 14, wird ersichtlich, dass die Werte der Pegel zu den jeweiligen Abtastzeitpunkten innerhalb der für den CAN-Highspeed definierten Schwellwerten liegen.

Analyse des Signals bei Kurzschluss der Leitungsenden

In diesem Abschnitt wurde einer der beiden Abschlusswiderstände durch einen Kurzschluss ersetzt. Somit wurde der Gesamte Abschlusswiderstand auf $Z_{AB} = 0 \Omega$ verringert.

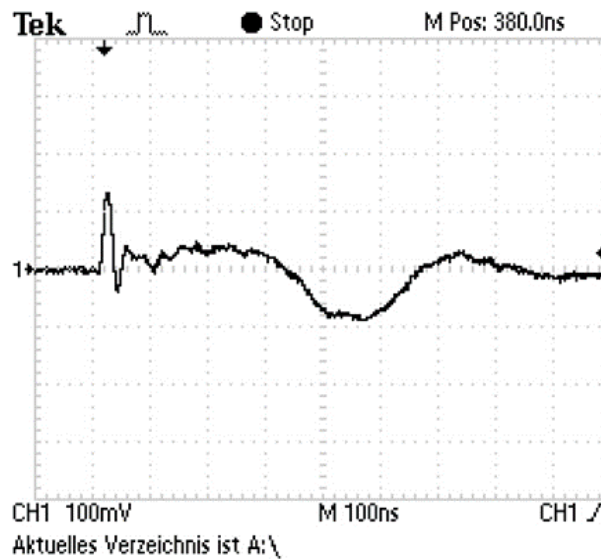


Abbildung 15: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals wobei das CAN-HIGH Signal gegen das CAN-LOW Signal gemessen wurde. Sichtbar ist, dass das Signal völlig uneinslesbar ist.

Im Falle eines Leitungskurzschlusses, lässt sich der Reflektionsfaktor unter der Annahme eines Abschlusswiderstandes von $Z_{AB} \approx 0$ mithilfe der Formel 5 aus der Quelle [2] wie folgt berechnen:

$$r = \frac{Z_{AB} - Z_L}{Z_{AB} + Z_L} = \frac{0 - Z_L}{0 + Z_L} = -1 \quad (5)$$

Ein Reflektionsfaktor von $r = -1$ bedeutet dass, das Hinlaufende Signal vollständig und invertiert reflektiert wird, sodass sich eine Gesamtspannung von $0V$ ergibt. Die aus dem Zusammenstoß der Wellen \hat{u}_{hin} und \hat{u}_{rueck} resultierende Gesamtwellen \hat{u}_{gesamt} besitzt also eine Amplitude $A = 0V$, da sich die Beiden Signale vollständig ausgleichen [2].

Da der CAN-Highspeed nicht eindrahtfähig ist, wie z.B. der CAN-Lowspeed, können die Empfänger bei einem Kurzschluss der CAN-HIGH und CAN-LOW Leitungen weder senden noch empfangen, was im Labor durch das Drücken des Knopfes am Sender bestätigt wurde, da die Lampe an dem Empfänger nicht angesteuert wurde. Bei einem eindrahtfähigen Bussystem, wären die Controller in der Lage ein Signal gegen Masse zu senden, welches die Empfänger entsprechend gegen Masse einlesen könnten.

1.3 Verwenden eines einfachen Tools zur Busanalyse

1.3.1 Versuchsaufbau

Für diesen Teilversuch werden wie beim vorherigen Teilversuch die Teilnehmer Nr. 1 und Nr. 2 des Datenbusses "CAN A" aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Zusätzlich wird noch der Laptop mit der Software PCAN-VIEW und der zugehörigen Hardware PCAN-USB Pro über ein Sub-D9-Kabel mit dem Datenbus verbunden.

1.3.2 Versuchsdurchführung

Es werden die von den beiden Teilnehmern gesendeten Botschaften hinsichtlich ID, DLC, Werte der Datenfelder, Veränderung bei Tastendruck an den In-Out-Boxen der Teilnehmer Nr. 1 und Nr. 2, Sendemodus analysiert und mithilfe von Screenshots am Laptop aufgezeichnet. Des Weiteren wird die durch die Botschaft des Teilnehmers Nr.1 erzeugte Buslast gemessen.

1.3.3 Versuchsauswertung

Einlesen der Botschaften der Teilnehmer des CAN-A Busses

Mithilfe des PCAN-VIEW Tools konnten die Botschaften der Teilnehmer eingelesen werden, um diese mit den Werten aus dem vorherigen Aufgabenteilen 1.1 und 1.2 zu vergleichen.

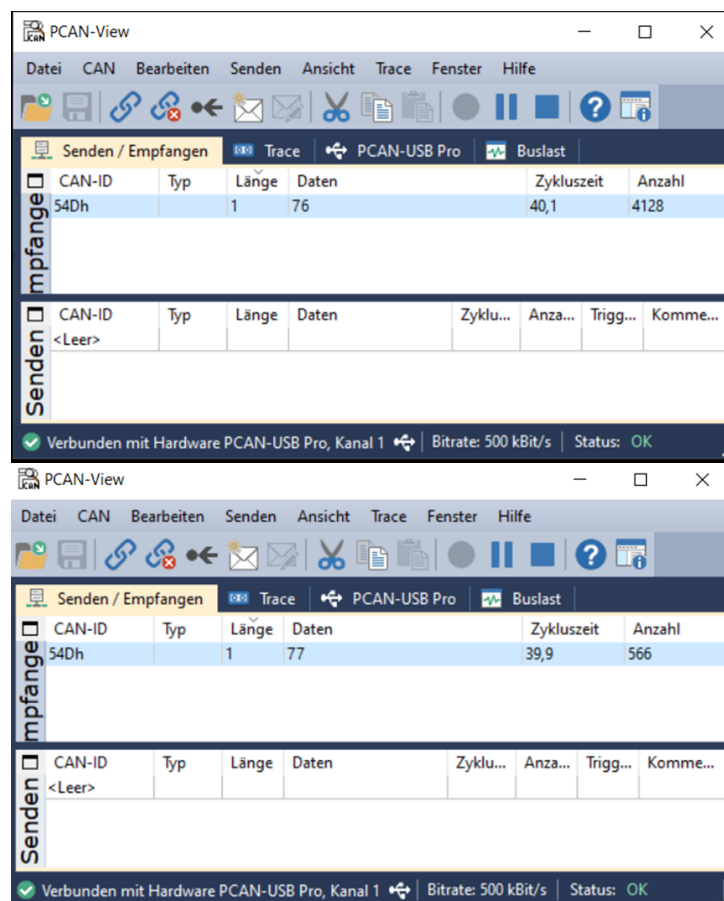


Abbildung 16: Die obigen Bildschirmausdrücke zeigen die, mit dem PCAN-View eingelesenen, Botschaften des CAN-Highspeed Busses. Sichtbar ist, dass die Werte für den nicht-gedruckten und gedruckten Knopf des Senders, jeweils 76_H und 77_H entsprechen. Diese Werte stimmen mit den, in Abschnitt 1.1 bestimmten, Werten überein.

Ermittlung der Buslast des CAN-A Busses

Zudem wurde die Buslast des CAN-A Busses mithilfe des PCAN-VIEW Tools bestimmt. Sichtbar ist, dass diese sehr gering ist, da zu diesem Zeitpunkt nur eine einzige Botschaft (zyklisch) gesendet wird.

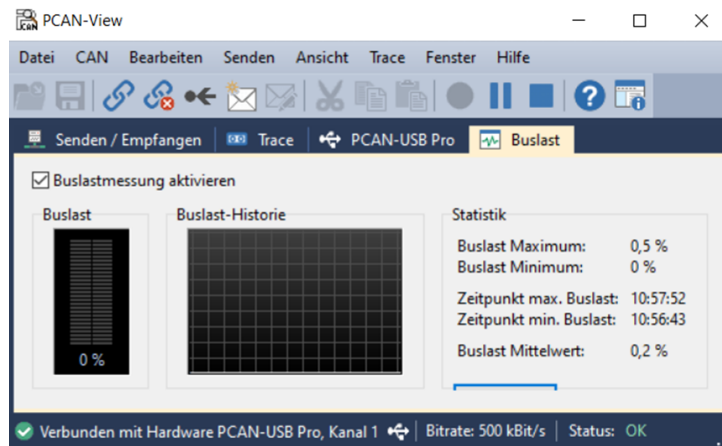


Abbildung 17: Der obige Bildschirmausdruck zeigt die, mit dem PCAN-VIEW eingelesene, **maximal-Buslast von 0.5 %**, sowie eine **durchschnittliche Buslast von 0.2 %**.

Die Buslast ergibt sich aus der Formel 6 [2]. Wird hier die, aus dem vorherigen Aufgabenteil 1.1, bekannte Botschaftslänge von 45 Bits + 10 EOF/IFS Bits eingesetzt, ergibt sich folgende theoretische Buslast:

$$Buslast = \frac{T_{Nachricht}}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{B} \cdot Botschaftslänge}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{500kBit/s} \cdot 55}{40ms} = 0,275 \% \quad (6)$$

Wird jedoch für die Botschaftslänge, die theoretische maximal-Anzahl von Stuffbits eingesetzt, kann die Botschaftslänge wie folgt bestimmt werden:

$$Maximallänge = 55Bits + (45DIV5)Stuffbits = 64Bits \quad (7)$$

Mit der theoretischen Maximallänge der Botschaft, also im Fall, dass 9 Stuffbits erforderlich sind, wird die Theoretische Buslast in Formel 8

$$Buslast = \frac{T_{Nachricht}}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{B} \cdot Botschaftslänge}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{500kBit/s} \cdot 64}{40ms} = 0,32 \% \quad (8)$$

Offenbar existiert eine Abweichung zwischen der, von dem PCAN-VIEW, ermittelten und der, in Formel 6, berechneten Buslast von jeweils 0,2% und 0,275%. Jedoch ist **diese Abweichungen weniger als 0,1%**, sodass von einer erfolgreichen Durchführung ausgegangen werden kann. Die etwas größere Abweichung der in Formel 8 berechneten, Buslast von 0,32% liegt natürlich daran, dass in der Botschaft deutlich weniger Stuffbits verwendet wurden, wie in der theoretischen Maximallänge nach Formel 7.

1.4 Fehlerverhalten eines Teilnehmers, Fall 1

1.4.1 Versuchsaufbau

Für diesen Teilversuch wird nur der Teilnehmer Nr. 2 des Datenbusses "CAN A" aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Das Busanalysetool PCAN-VIEW ist wie in der vorherigen Teilaufgabe aktiviert und mit den Busleitungen verbunden.

1.4.2 Versuchsdurchführung

Es wird mit- und ohne Anbindung des Busanalysetools eine Botschaft durch den Teilnehmer Nr. 2 auf dem Datenbus gesendet. Jeweils wird überprüft, ob der Sender die Botschaft erfolgreich absetzen kann. Mit dem Oszilloskop wird zusätzlich der Sendebetrieb bzw. die Sendeversuche des Teilnehmers auf dem Bus aufgezeichnet.

1.4.3 Versuchsauswertung

In diesem Versuchsteil wird der Teilnehmer 2 als alleiniger Teilnehmer auf dem CAN-A Bus angeschlossen. Die, von dem Teilnehmer 2, gesendeten Botschaften wurden mit einem Oszilloskop erfasst.

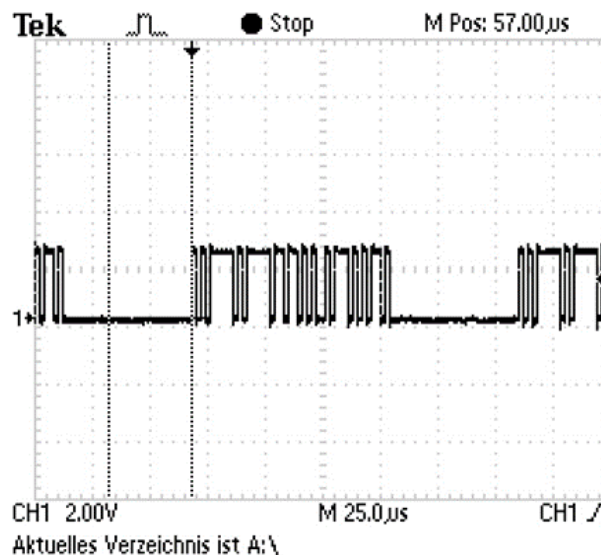


Abbildung 18: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, ohne dass ein anderer Teilnehmer mit dem Bus verbunden ist. Sichtbar ist, dass zwischen den Botschaften ein Passiver Error Frame, aus mehreren rezessiven Pegeln, existiert. Die zwei Cursor zeigen den Zeitabstand von 36µs, welches die kleinstmögliche Error-Frame Länge darstellt. Es ist sichtbar, dass dieser Teilnehmer so konfiguriert ist, dass er eine deutlich längere Error Frame sendet, um mehr Busruhe zu gewährleisten als von dem CAN-Highspeed Protokoll vorgesehen ist.

Die Abbildung 18 zeigt, dass der ACK-Bit, also der letzte Bit der Botschaft, in dem rezessiven Zustand bleibt. Daraufhin reagiert der Sender, in dem er einen passiven Error-Frame von 52µs sendet, welches, bei einer Bitzeit von 2µs, 26 (rezessive) Bits entspricht. **Somit befindet sich der alleinige Teilnehmer in einem Fehler-Passiven Zustand.** Der CAN-Highspeed Protokoll sieht vor, dass ein Passiver Error-Frame minimal 18 rezessive Bits entsprechen soll, ohne Stuffbits. Die passiven Error-Frames dienen dazu, eine Busruhe zu schaffen, worin andere Teilnehmer weiterhin Botschaften senden können, ohne von dem Fehler-Passiven Teilnehmer gestört zu werden. Im Falle, dass der ACK von dem Sender nicht empfangen wird, bzw. von keinem Empfänger gesetzt wird, führt nicht zu einem aktiven Fehlerstatus, welcher eventuell zu einem Neustart des Fehler-Aktiven Teilnehmers führen würde.

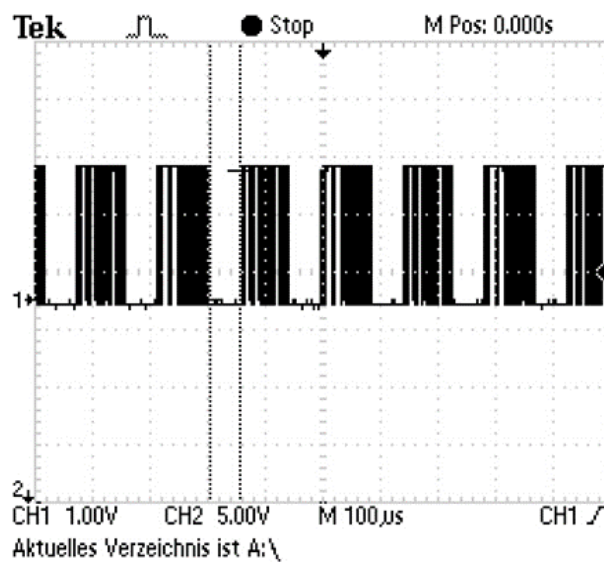


Abbildung 19: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, ohne dass ein anderer Teilnehmer mit dem Bus verbunden ist. In diesem Oszilloskopbild, sind die Cursor der Zeitachse so positioniert, dass die Länge des Error-Frames gemessen wird. In diesem Fall, beträgt die Länge des Error-Frames 52µs.

1.5 Fehlerverhalten eines Teilnehmers, Fall 2

1.5.1 Versuchsaufbau

Wie in dem vorherigen Teilversuch wird nur der Teilnehmer Nr. 2 des Datenbusses "CAN A" aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Das Busanalysetool PCAN-VIEW ist wie in der vorherigen Teilaufgabe aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Es wird das Fenster "Fehler-Generator" des Busanalysetools aktiviert.

1.5.2 Versuchsdurchführung

Die Dauerstörungsoption des Fehlergenerators ist aktiviert, während der Teilnehmer Nr. 2 versucht Botschaften zu senden. Mit dem Oszilloskop wird das Verhalten am Bus anhand des Sendeversuches einer Botschaft beobachtet und aufgezeichnet.

1.5.3 Versuchsauswertung

Bei aktivierter Dauerzerstörungsoption in dem PCAN-VIEW, wurde dann die Botschaften die sich auf dem Bus befanden mit dem Oszilloskop aufgenommen und abgespeichert.

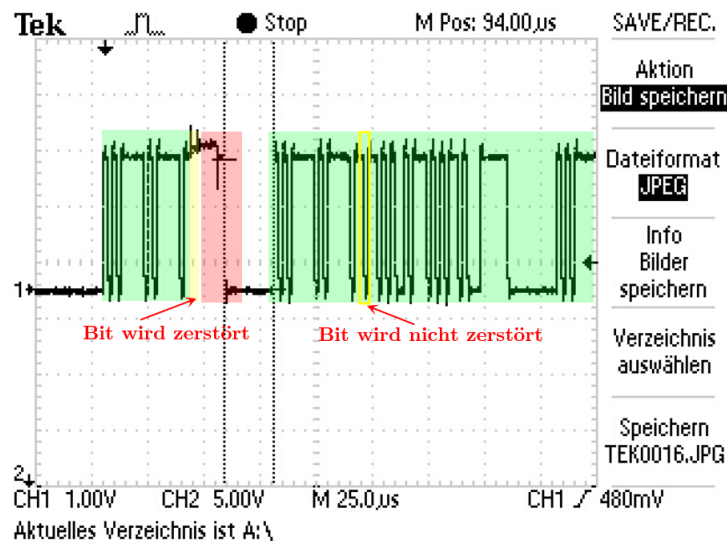


Abbildung 20: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, wobei die Botschaften von dem PCAN-Tool zerstört werden. In diesem Oszilloskopbild, sind die Cursor auf der Zeitachse so positioniert, dass die Länge zwischen den Error Frames und der nächsten Botschaft gemessen wird. Sichtbar ist, dass nicht alle Botschaften zerstört wurden, da dies nur funktioniert wenn an der zu zerstörenden Stelle der Sender versucht ein rezessives Bit zu senden. Zudem ist der Tool nicht bei jedem Versuch erfolgreich, den Bitwert zu manipulieren.

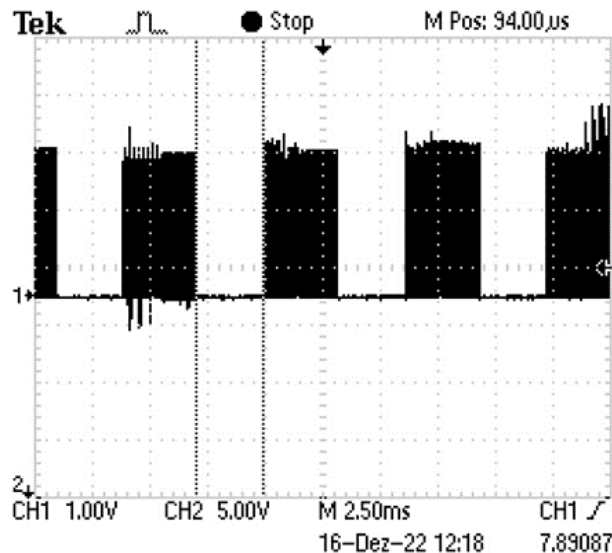


Abbildung 21: Oszilloskopbild des CAN-Highspeed Signals welche von dem Teilnehmer 2 gesendet wird, wobei die Botschaften von dem PCAN-Tool zerstört werden. In diesem Oszilloskopbild, sind die Cursor auf der Zeitachse so positioniert, dass die Länge des passiven Teil des aktiven Error Frames gemessen wird. Diese Länge beträgt 3ms.

Die Abbildung 20 stellt den Zerstörvorgang des PCAN-VIEW Tools dar, wobei **die Nachricht des 2. Teilnehmers zerstört wird, sodass ein Aktives Error-Frame** ausgelöst wird. Die Abbildung 21 zeigt den Verlauf des Senders in einer weiteren Stufe von dem fehleraktiven Status. In dieser Stufe hat der Sendefehler Counter einen bestimmten Wert überschritten, welcher in der Software des Teilnehmergerätes hinterlegt ist, ab dem er beginnt längere, passive Error Frames zu schicken, wodurch andere Busteilnehmer von diesem Teilnehmer nicht gestört werden können. Das dient dazu, den Bus vor einem "Babbling-Idiot" zu schützen. Damit ist gemeint, dass ein Teilnehmer den Busbetrieb mit einer sehr hohen Anzahl an aktiven Fehlerbotschaften und Sendeversuchen stört, was natürlich unerwünscht wäre. Die längeren, rezessiven Error Frames sollen die, durch Fehler erzeugte, Buslast reduzieren. Sollte der Teilnehmer weiterhin Sendefehler registrieren, so führt dies irgendwann zu einem Neustart des Steuergerätes.

2 Versuche mit einem CAN FD („CAN B“)

Dieser Versuch gliedert sich in drei Teilversuche, die jeweils an einem CAN FD durchgeführt werden. Der grundsätzliche Versuchsaufbau besteht aus drei Busteilnehmern, die wie in Abbildung 22 zu sehen an dem Datenbus angeschlossen sind. Zusätzlich ist auch ein Gateway mit dem Datenbus verbunden. Die Busteilnehmer sind wie im ersten Versuch in Abbildung 1-2 gezeigt, mit dem Datenbus verbunden. Es stehen dieselben Hilfsmittel wie im ersten Versuch erläutert, zur Verfügung.

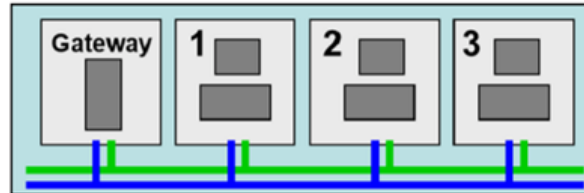


Abbildung 22: Versuchsaufbau CAN B [1]

2.1 Bitraten

2.1.1 Versuchsaufbau

Für diesen Teilversuch werden alle Teilnehmer des Datenbusses "CAN B" sowie das Gateway aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Nach kurzer Wartezeit werden Teilnehmer Nr. 1 und Nr. 2 vom den Busleitungen getrennt. Dann wird der Teilnehmer Nr. 3 in den Sendebetrieb geschaltet.

2.1.2 Versuchsdurchführung

Es wird mit dem Oszilloskop für die gesamte Botschaft und an den für die Bitraten entscheidenden Stellen, die Differenzspannung zwischen den Busleitungen aufgezeichnet.

2.1.3 Versuchsauswertung

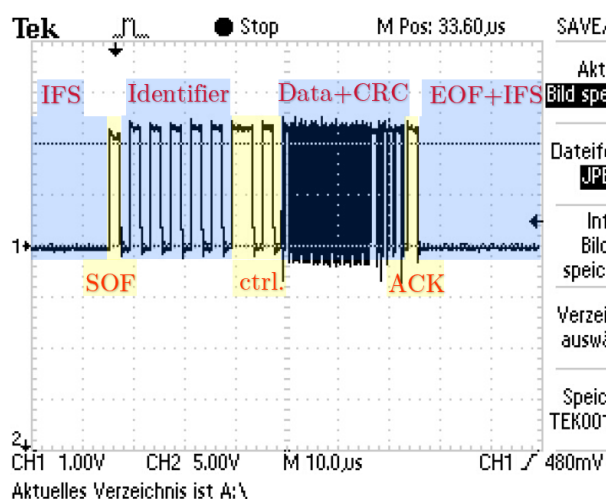


Abbildung 23: Oszilloskopbild des CAN-FD Signals wobei das CAN-LOW Signal gegen dem CAN-HIGH Signal gemessen wurde. Die veränderte Datenrate im Daten- und CRC-Feld ist gut sichtbar. Die Cursor sind bei den jeweiligen Spannungen 0V und 2V positioniert. Der Spannungswert des größeren, dominanten Pegels liegt bei ca. 2.36V.

Die Abbildung 23 zeigt den gesamten Verlauf einer CAN-FD Botschaft, wobei das CRC- und Datenfeld mit einer 8-fachen Baudrate übermittelt werden, im Verhältnis zum Botschaftsbeginn.

Um die Bitzeiten bzw. Baudraten der Botschaften zu ermitteln, wurden die Bitzeiten mithilfe des Oszilloskopes erfasst.

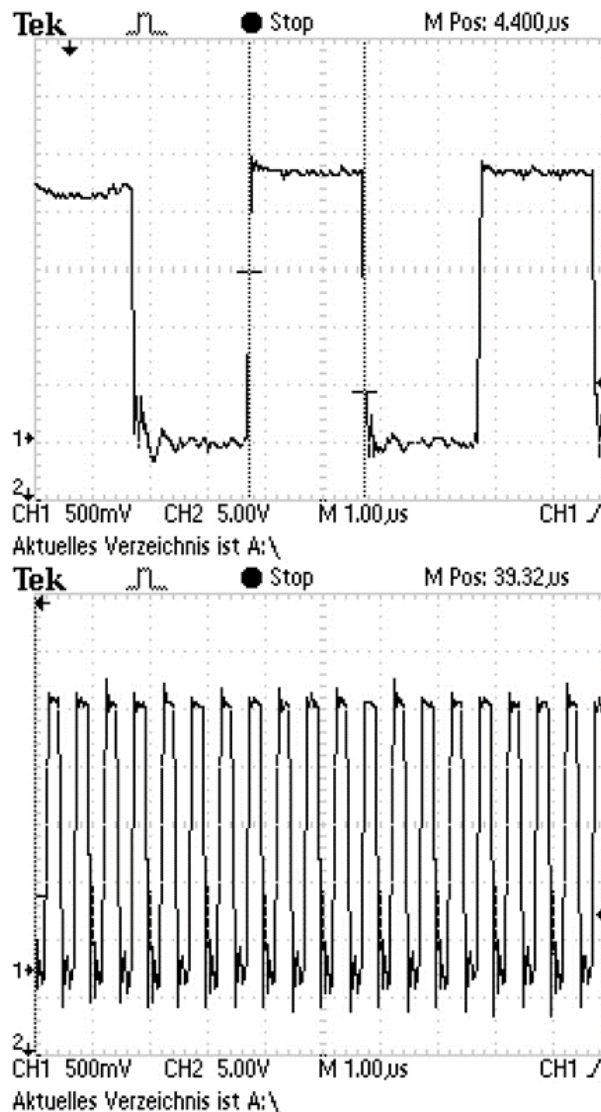


Abbildung 24: Zwei Oszilloskopbilder, mit Teilen der CAN-FD Botschaft des 3. Teilnehmers. Sichtbar ist, dass sich die Baudraten in den beiden Bildern unterscheiden. Die Cursor in dem ersten Bild wurden auf der vertikalen Zeitachse mit einem Zeitabstand von $2 \mu s$

platziert, welches die Bitzeit $T_{Bit} = 2 \mu s$ entspricht. In dem schnellen Teil, wurde die Bitzeit $T_{Bit} = 0.25 \mu s$ anhand von mehreren Bits gemessen, woraus der Durchschnitt berechnet werden konnte.

Die Abbildung 24 veranschaulicht die unterschiedlichen Bitzeiten der beiden Botschaftsabschnitte der CAN-FD Botschaft. Da, im Verhältnis zum CAN-Highspeed, bei dem CAN-FD eine 8-fach höhere Baudrate in dem Datenfeld vorhanden ist, sowie eine 8-mal größere Datenfeldlänge von 64 Byte möglich ist, können 8-mal soviel Datenbits in einer CAN-FD Botschaft übertragen werden, wie in einer CAN-Highspeed Botschaft, ohne die zeitliche-Botschaftslänge zu vergrößern.

2.2 Erstellen einer Kommunikationsmatrix

2.2.1 Versuchsaufbau

Für diesen Teilversuch werden alle Teilnehmer des Datenbusses CAN B“ aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Der Teilnehmer Nr. 3 bzw. das Display wird in den Empfangsmodus zurückgeschaltet. Die Analyse des Busverkehrs erfolgt mit CANoe nach dem Starten einer Messung.

2.2.2 Versuchsdurchführung

Über CANoe wird durch Probieren die funktionellen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilnehmern untersucht. Ferner werden die ausgetauschten Botschaften und deren zugehörige Sendemodi untersucht.

2.2.3 Versuchsauswertung

Mithilfe des CANoe Tools wurden die Botschaften auf dem CAN-B Bus analysiert und in Tabelle 3 protokolliert.

Botschafts ID	Werte (Dezimal)	Zykluszeit	Datenfeld
600 _H	0-180 Grad Winkel	10ms	8 Byte
605 _H	Temp1, Temp2 in °C	10ms	8 Byte
608 _H	0=AUS, 1=AN	Ereignisgesteuert	1 Byte
100 _H	0=Temp _{1&2} <30°C, 1=Temp _{1 2} >30°C	Ereignisgesteuert	1 Byte

Tabelle 3: Analyse der, mit CANoe ausgelesenen, CAN-FD Botschaften des CAN-B Busses.

Im folgenden sollen die jeweiligen Sender und Empfänger der Botschaften ermittelt werden. Dies wurde in den Tabellen 4 und 5 protokolliert.

Botschaft	Teilnehmer 1	Teilnehmer 2	Teilnehmer 3
600 _H	Sender	Empfänger	Empfänger
605 _H	Sender		Empfänger
608 _H	Sender	Empfänger	Empfänger
100 _H	Sender		Empfänger

Tabelle 4: Kommunikationsmatrix des CAN-B Busses

Botschafts ID	Erläuterung
600 _H	Drehhalter ist auf TN1, TN2 steuert Aktor mit empfangenen Winkel, TN3 zeigt Winkel auf Display
605 _H	Temp. Sensoren sind auf TN1, werden bei TN3 auf display angezeigt
608 _H	Knopf auf TN1 wird gedrückt um bei TN2 ein Licht anzusteuern, TN3 zeigt das Licht auch an
100 _H	TN2 und TN3 wurden getrennt, Signal wurde trotzdem gesendet

Tabelle 5: Analyse der, mit CANoe ausgelesenen, CAN-FD Botschaften des CAN-B Busses, mit Erläuterung der Botschaften.

2.3 Erstellen einer Datenbasis für CANoe

2.3.1 Versuchsaufbau

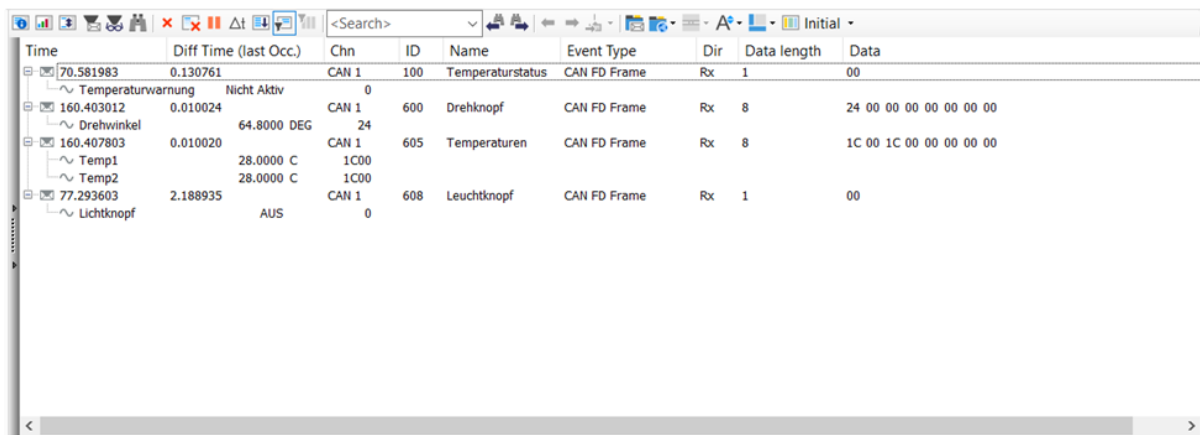
Wie bei dem vorangegangenen Teilversuch sind alle Teilnehmer des Datenbusses "CAN B" aktiviert und mit den Busleitungen verbunden. Ebenfalls ist auch CANoe wieder aktiviert.

2.3.2 Versuchsdurchführung

Mithilfe der Informationen aus der vorangegangenen Aufgabe wird aus CANoe heraus eine Datenbasis mit dem Datenbasis-Editor erstellt, in der die ermittelten Botschaften und die zugehörigen Signale eingegeben werden. Die Datenbasis wird in den CANoe geladen und eine Messung gestartet.

2.3.3 Versuchsauswertung

Die erzeugte Datenbasis ist in der Lage die Botschaften vollständig zu beschreiben. Einen Ausschnitt aus dem CANoe Editor ist in der Abbildung 25 zu sehen.



Time	Diff Time (last Occ.)	Chn	ID	Name	Event Type	Dir	Data length	Data
70.581983	0.130761	CAN 1	100	Temperaturstatus	CAN FD Frame	Rx	1	00
160.403012	0.010024	CAN 1	600	Drehknopf	CAN FD Frame	Rx	8	24 00 00 00 00 00 00 00
160.407803	0.010020	CAN 1	605	Temperaturen	CAN FD Frame	Rx	8	1C 00 1C 00 00 00 00 00
77.293603	2.188935	CAN 1	608	Leuchtknopf	CAN FD Frame	Rx	1	00

Abbildung 25: Bildschirm-Ausdruck des CANoe Editors mit der erstellten CAN-Kommunikationsmatrix für den CAN-B Bus. Die Informationen, aus der die Matrix besteht stammen aus der Tabelle 3.

Der Vorteil der in Abbildung 25 dargestellten CANoe Datenbasis ist, dass den Signalen eine Bedeutung, sowie einen Wert zugeordnet werden kann. Dies bringt den Vorteil, dass zukünftige Entwickler sich mit wenig Aufwand einen Überblick über die vorhandenen Botschaften und Signale verschaffen können. CANoe zeigt zusätzlich zu den, aus der Kommunikationsmatrix resultierenden, Beschreibungen auch die Rohwerte der Signale an, sodass Fehler in der Datenbasis leicht erkannt und behoben werden können.

3 CAN-Gesamtnetzwerk, Gateway, Buslast

In dem dritten Versuch werden die erläuterten Versuchsaufbauten aus dem ersten und zweiten Versuch zusammengeführt.

3.0.1 Versuchsaufbau

Für diesen Versuch werden alle Teilnehmer des Datenbusses "CAN B" sowie das Gateway und alle Teilnehmer des Datenbusses "CAN A" aktiviert. Über den zweiten Busanschluss des Gateways wird dieses über ein Sub-D9-Kabel mit dem Datenbus "CAN A" verbunden. Das Gateway ist somit an beide Datenbusse angeschlossen. Die Analyse des Busverkehrs erfolgt über CANoe. Die zugehörige Schnittstelle (Highspeed-Transceiver) des Bus-Interfaces VN1640A wird mit dem Highspeed-Datenbus "CAN A" verbunden, die andere Schnittstelle bleibt nach wie vor mit dem CAN FD Datenbus "CAN B" verbunden.

3.0.2 Versuchsdurchführung

Die Anzeige des CANoe wird so erweitert, dass die Botschaften des Highspeed-Datenbusses zusätzlich zu denen des CAN-FD-Datenbusses in einem weiteren Fenster angezeigt werden. Anschließend wird eine Messung gestartet. Es wird nun die Buslast auf den beiden Bussen mit Gateway und den einzelnen Bussen ohne Gateway ermittelt. Zusätzlich wird ermittelt welche Botschaften über das Gateway übertragen werden. Es wird der Umsetzungsmodus ermittelt bzw. welche Botschaft wird von wo nach wo auf welche Art wie umgesetzt wird.

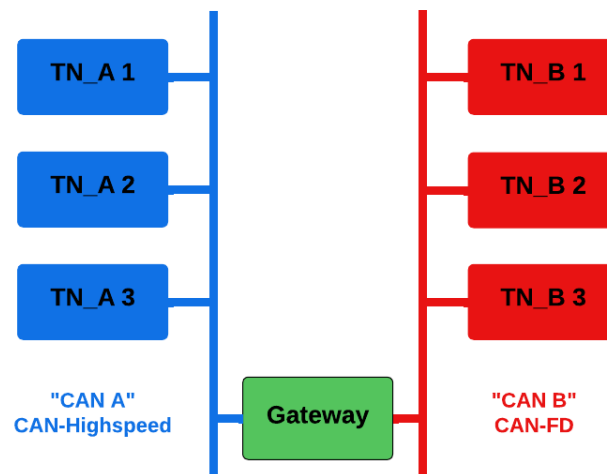


Abbildung 26: Vernetzungsdiagramm der CAN-A und CAN-B Busse

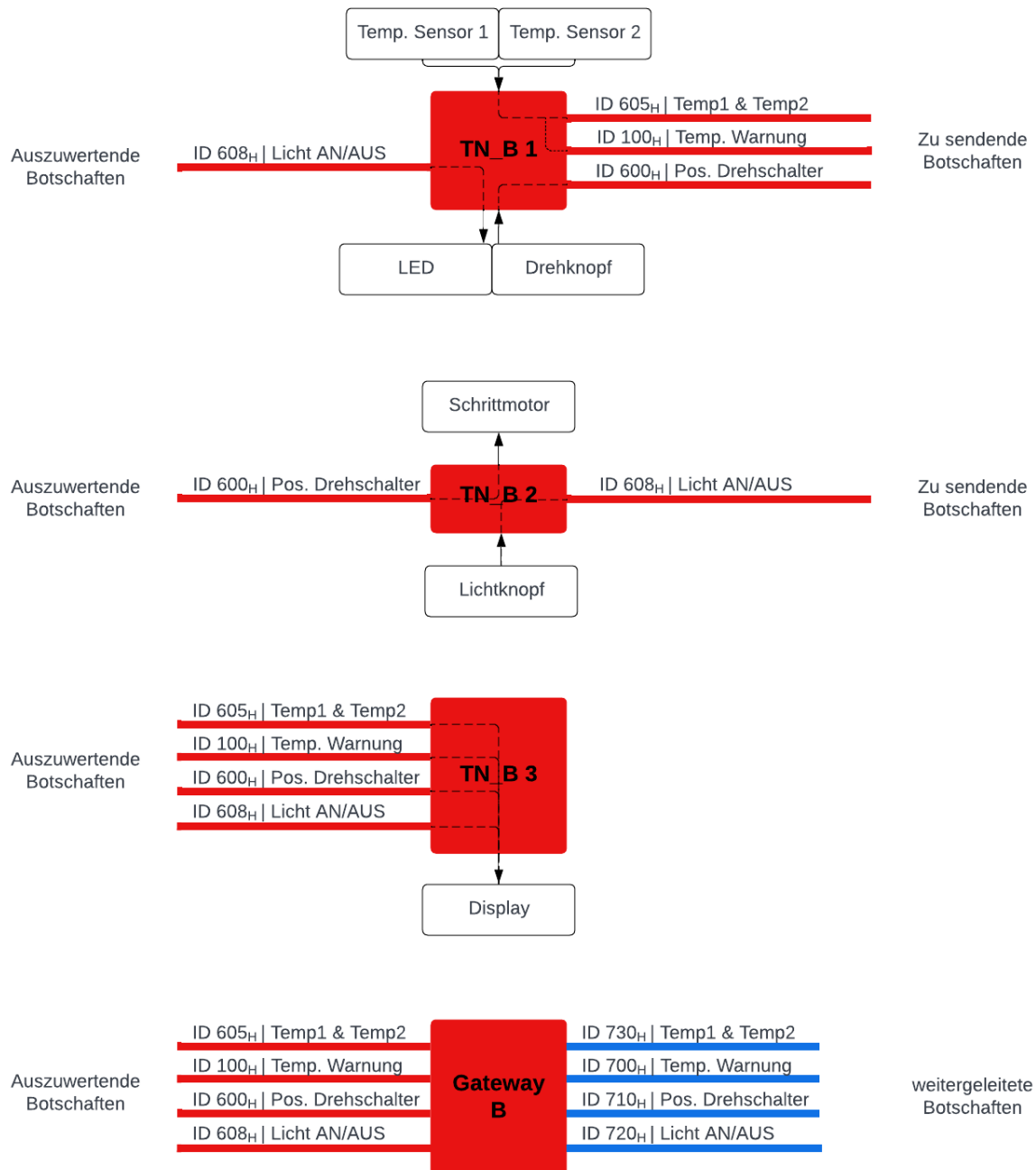


Abbildung 27: Beschreibung der CAN-B Teilnehmerfunktionen

3.0.3 Versuchsauswertung

Vorerst wurden die von dem CANoe erfassten Botschaften des CAN-A und CAN-B Busses analysiert und abfotografiert, siehe Abbildung 28.

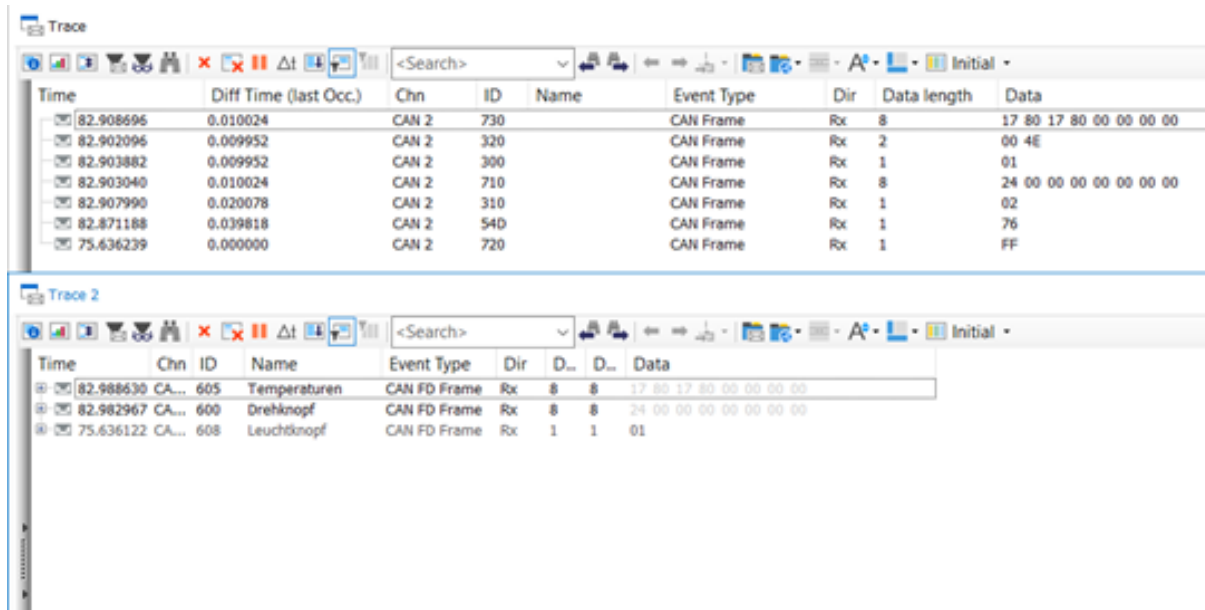


Abbildung 28: Bildschirm-Ausdruck des CANoe Editors mit dem CAN-A und dem CAN-B Bus offen. Es werden alle möglichen Botschaften angezeigt. Sichtbar ist, dass die Botschaften des CAN-B Busses an den CAN-A Bus weitergeleitet werden. Die weitergeleiteten Botschaften bekommen eine ID mit welcher mit 7_H anfängt, sodass diese leicht von den anderen Botschaften unterschieden werden können.

Die Tabelle 6 beinhaltet alle von dem Gateway auf dem CAN-B an CAN-A weitergeleiteten Botschaften.

Originale ID	ID auf CAN-A	Inhalt	Zykluszeit
600_H	710_H	Winkel Drehknopf	10ms
605_H	730_H	Temp1 und Temp2	10ms
608_H	720_H	Lichtknopf (AN/AUS)	Ereignisbez.
100_H	700_H	Temperaturwarnung	Ereignisbez.

Tabelle 6: Analyse der, mit CANoe ausgelesenen, CAN-FD Botschaften des CAN-B Busses.

Mithilfe des CANoe Editors konnte nun die Buslast der beiden Busse angezeigt werden. Die von CANoe erzeugte Tabelle ist in Abbildung 29 sichtbar.

Statistic	CAN 1	CAN 2
> Busload [%]	1.75	8.33
Errorframes [total]	0	0
Ext. Remote [total]	0	0
Ext. Remote [fr/s]	0	0
Std. Data [fr/s]	199	474
✓ Chip State	Active	Active

Abbildung 29: Bildschirm-Ausdruck des CANoe Editors mit der CAN-A (CAN 2) und der CAN-B (CAN 1) Buslast. Die gemessene Buslast bei dem CAN-A beträgt 8.33%, und bei dem CAN-B sind es 1.75%

Da bei dem CAN-B keine Nachrichten aus dem CAN-A Bus weitergeleitet werden, ist nur auf dem CAN-A Bus eine erhöhte Buslast zu sehen. Wie in der Abbildung 29 sichtbar ist, ist auf dem CAN-A Bus ohne weitergeleitete CAN-B Nachrichten, eine Buslast von 3.39% vorhanden, jedoch erhöht sich diese Last bei weiterleiten der CAN-B Nachrichten auf 8-10% Auslastung, je nachdem wieviele Ereignisbezogene Botschaften erzeugt werden. Diese Erhöhung der Buslast lässt sich anhand der Formeln 9 und 11 berechnen [2]. Bei dieser Berechnung, werden nur die Zyklischen Botschaften der ID 710_H und 730_H auf dem CAN-A Bus betrachtet. Wie in Abbildung 28 dargestellt wird, besitzen beide Botschaften eine Datenfeldgröße $DLC = 8$ bytes. Daraus kann anhand der Formel 9, welche auf der theoretischen Maximalanzahl von Stuffbits beruht, die Gesamtlänge L der Botschaften berechnet werden [2].

$$L = 111Bits + (99DIV5)Stufbits = 130Bits \quad (9)$$

$$L_{710H+730H} = 2 \cdot L = 260Bits \quad (10)$$

Um die daraus resultierende Buslast auf dem CAN-A Bus zu berechnen, wird die Länge $L_{710H+730H}$ aus Formel 9, sowie die Zykluszeit der beiden Nachrichten von $T_{zyklus}=10$ ms, in die Formel 11 eingesetzt [2].

$$Buslast = \frac{T_{Nachricht}}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{B} \cdot Botschaftslaenge}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{500kBit/s} \cdot 260}{10ms} = 5,2 \% \quad (11)$$

Somit ergibt sich eine zusätzliche Buslast von 5,2 % von den zyklisch weitergeleiteten Nachrichten des CAN-B Busses. Dieser Wert stimmt auch mit den von CANoe berechneten Werten überein.

Somit ist ersichtlich, dass diese Methode zur Weiterleitung der Botschaften in der aktuellen Konfiguration angemessen ist. Sollten jedoch weitere Teilnehmer in zukünftigen Projekten hinzukommen, kann es sein, dass durch die ineffiziente Weiterleitungsmethode unnötige Buslast verschwendet wird.

Die Botschaften besitzen beide eine Datenfeldlänge von 8 byte, obwohl sie nur maximal vier der 8 bytes für Daten verwenden. Somit könnte diese Weiterleitung verbessert werden, indem die zwei Botschaften der ID 710_H und 730_H in eine einzige Botschaft zusammengefasst werden um weiterhin mit einer Zykluszeit von 10ms versendet zu werden. Die Buslast wäre in dem Fall nur halb so groß wie es in der aktuellen Konfiguration ist, was anhand der Formeln 12 und 13 bestätigt wird [2]. Die zusammengefasste Nachricht besäße weiterhin 8 Datenbytes, sodass die kombinierte Nachrichtenlänge $L_{710H730H}$ so groß wäre wie die einzelnen Nachrichten in der aktuellen Konfiguration sind.

$$L_{710H\&730H} = 111Bits + (99DIV5)Stuf\ bits = 130Bits \quad (12)$$

Um die daraus resultierende Buslast auf dem CAN-A Bus zu berechnen, wird die Länge $L_{710H\&730H}$ aus Formel 12, sowie die Zykluszeit der Nachricht von $T_{zyklus}=10\text{ ms}$, in die Formel 13 eingesetzt [2].

$$Buslast = \frac{T_{Nachricht}}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{B} \cdot Botschaftslaenge}{T_{Zyklus}} = \frac{\frac{1}{500kBit/s} \cdot 130}{10ms} = 2,6\% \quad (13)$$

In dem automotiven Bereich sind solche Ersparnisse von großer Bedeutung, da es in vielen Systemen zu einer sehr hohen Buslast, aufgrund der vielen Teilnehmer, kommt. Daher muss an jeder Botschaft soviel wie möglich gespart werden, indem Botschaften verkürzt oder kombiniert werden und ggf. eine längere Zykluszeit bekommen. In dem **automotiven Bereich werden Bussysteme meistens so ausgelegt, dass eine Buslast von 60 % nicht überschritten** wird, um eine Zuverlässigkeit der damit verbundenen Komponenten zu gewährleisten. **Bei einer zu hohen Buslast, kann es dazu kommen, dass Nachrichten unterdrückt werden, sodass sie, wenn überhaupt, mit einer zu hohen, zeitlichen Verzögerung an die Empfänger ankommen.**

4 Literaturverzeichnis

- [1] Prof. Dr. D. Sabbert; R. Quednau Dipl.-Ing.: Laboranleitung für das Bussysteme Labor, Wintersemester 2022
- [2] Prof. Dr. D. Sabbert; R. Quednau Dipl.-Ing.: Skript Bussysteme 2, Wintersemester 2022