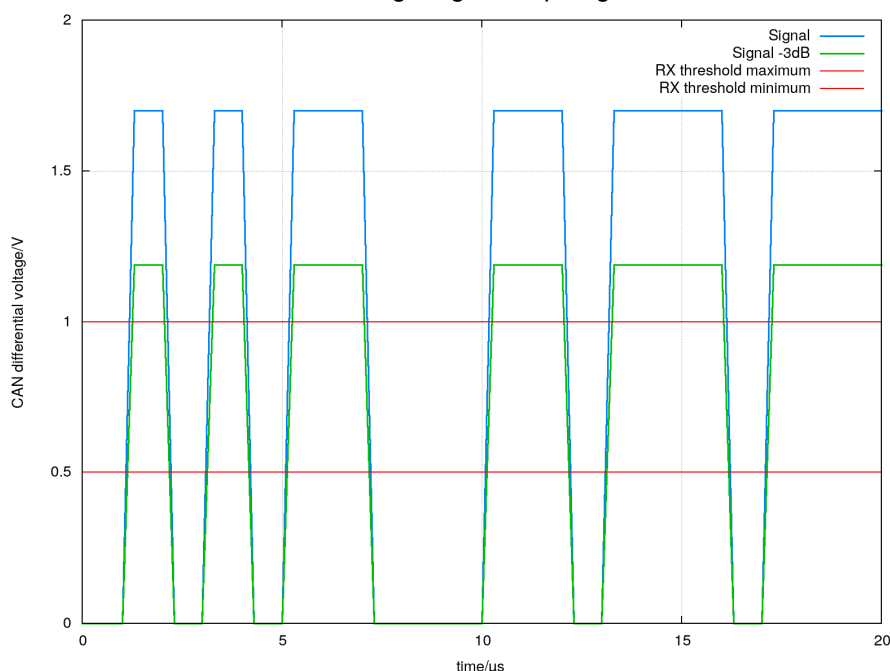


## Nutzung von Schwarzbeck Kopplungs/Entkopplungs-Netzwerken (CDN) für CAN Highspeed

Mit der Verbreitung von Bussystemen in der Automatisierungs- und Automobiltechnik ergibt sich auch die Notwendigkeit von Immunitätsmessungen an diesen Bussystemen. Dies stellt insbesondere im niedrigen Frequenzbereich eine besondere Herausforderung dar, da entsprechende Systeme bei niedrigen Datenraten und geringen Distanzen die Leitung als ideal annehmen können. Zusätzlich zeigt sich bei Prüfung und Betrieb der Nachteil, dass in den meisten Fällen Gleichstromanteile zu übertragen sind, womit sich eine Kopplung über Transformatoren verbietet.

Aufgrund der häufigeren Anwendung wird im Folgenden ausschließlich auf CAN eingegangen.

Im Fall CAN tritt zusätzlich das Problem auf, dass das Signal zwar symmetrisch, aber unipolar übertragen wird, so dass eingefügte Dämpfung das Signal gegenüber der Schaltschwelle des Empfängers zu verschieben scheint, so dass schon eine geringe Dämpfung zu massivem Verlust an Rauschabstand führt:



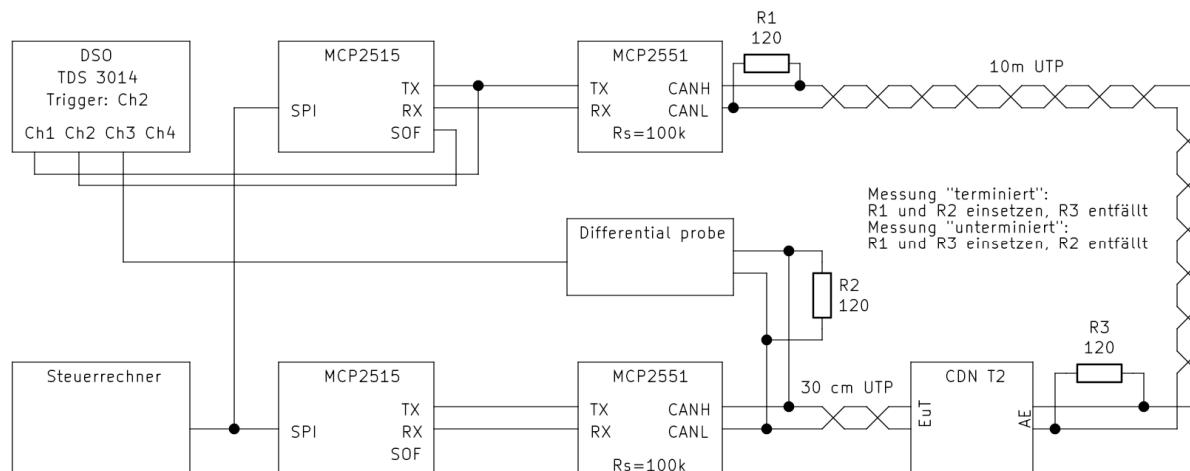
Diese Verschiebung erfordert außerdem eine recht hohe Flankensteilheit, damit das empfangene Signal bei Versatz der Schwellen nicht zu stark unsymmetrisch wird.

Der Prüfer steht nun vor dem Problem, an diesem von sich aus recht empfindlichen Bus noch ein CDN einzufügen, ohne bereits dadurch die Kommunikation zu stören. Hier werden an das CDN erhöhte Anforderungen gestellt: Es muss einerseits im gesamten Frequenzbereich von Gleichstrom bis zu einem Vielfachen der Bitrate eine geringe Dämpfung aufweisen, oder, im Fall von Stichleitungen auch eine hohe Lastimpedanz aufweisen. Dies beschränkt die möglichen Leitungslängen im CDN und stellt erhöhte Anforderungen an die Symmetriernetzwerke im CDN.

Ebenso muss die Übertragungsstrecke ausreichend resonanzarm sein, damit keine Nachschwingvorgänge die Signalübertragung stören.

Die bei Schwarzbeck-CDN T2 und T4 spezifizierten Dämpfungs- und Impedanzwerte legen nahe, dass eine störungsarme Signalübertragung möglich ist; im Rahmen dieses Dokumentes wird die Übertragung in der Praxis betrachtet.

## Messaufbau



Im Versuchsaufbau werden CAN-Controller und Transceiver von Microchip verwendet, die von einem PC per Serial Peripheral Interface (SPI) gesteuert werden. Die beiden Controller erhalten eigene Taktquellen, die geringfügig verstimmte wurden.

Ein Programm auf dem Steuerrechner sendet Standard Data Frames mit 8 zufälligen Bytes und konstanten Identifier (539<sub>h</sub>) durch den Bus, wobei Wiederholungen abgeschaltet sind. Nach der Übertragung kontrolliert das Programm die empfangenen Daten auf Korrektheit. So werden auch Fehler auf dem (nicht durch Prüfsummen o.Ä. geschützten) SPI erkannt.

Bedingt durch die begrenzte Taktrate des SPI ist die nutzbare Datenrate auf ca. 300 Frames/s begrenzt. Es ist allerdings ohnehin zweckmäßig, längere Lücken zwischen einzelnen Frames anzustreben, da dies einerseits realitätsnah ist, andererseits auch die Beurteilung von Nachschwingvorgängen ermöglicht.

Während der Übertragung kann das Signal auch auf dem Oszilloskop dargestellt werden, so dass zur Beurteilung der Signalqualität ein Oszillogramm des statischen Headers als auch ein Augendiagramm der zufälligen Daten erstellt werden kann. Zum Vergleich wird das zusätzlich das Eingangssignal des sendenden Bus-treibers dargestellt. Als Trigger dient der „Start of Frame“-Ausgang des sendenden Controllers.

Die Übertragungsstrecke besteht aus 10m LiY 0,25 mm<sup>2</sup>, verdreht mit ca. 100 mm Schlaglänge. Weitere 30 cm des gleichen Leitungstyps finden zum Anschluss des CDN Verwendung.

Für die Vergleichsmessungen wird das CDN durch eine direkte Verbindung ersetzt.

Während die Bitfehlerrate wegen des Zeitaufwands nur mit Terminierung vor dem CDN gemessen wurde, wurden für beide Fälle Oszillogramme aufgenommen. Hierbei wurde darauf geachtet, dass jeder Messung eine Vergleichsmessung ohne CDN gegenübergestellt wird, ohne die Einstellungen zu verändern.

## Ergebnisse

Die folgenden Oszillogramme enthalten drei Kanäle: Oben (rosa) ist die differentielle Spannung am Empfänger dargestellt. Unten (blau) die Steuerspannung des Senders (der Sender invertiert). In Türkis ist das Signal „Start of Frame“ dargestellt.

Insbesondere bei niedrigen Datenraten ist geringfügiges Nachschwingen zu erkennen, Die Signalqualität wird aber in allen Fällen kaum verschlechtert.

Bei der Messung der Fehlerrate ist lediglich bei 1 Mbit/s ein Übertragungsfehler aufgetreten, die Paketfehler-rate liegt unter 10<sup>-6</sup>.

Störungen der Signalübertragung sind daher äußerst unwahrscheinlich.

## Durchführung einer Immunitätsprüfung

Bei CAN und ähnlichen Bussystemen zeigt sich, dass sich durch die Hochohmigkeit der Eingänge schnell hohe Gleichtaktstörspannungen aufbauen können, die auch durch Gleichtaktdrosseln kaum beherrschbar sind. Zusammen mit dem beschränkten Gleichtakteingangsbereich ergibt sich daraus, dass ein Immunitätstest bereits bei Test Level 2 zum Scheitern verurteilt ist, da 3V<sub>eff</sub> mit 80% AM bereits eine Spitzenspannung von 7,5V darstellen, was bereits bei niedrigen Frequenzen ohne zusätzliche Resonanzeffekte den Gleichtak-

tbereich des Empfängers verlässt. Im Sendefall treten zusätzlich Überlagerungseffekte durch die je nach übertragenem Bit und anliegendem Gleichtaktpegel schwankende Impedanz auf.

Bei der Vorbereitung muss auch die Frage gestellt werden, ob die fragile Leitung nur CANH und CANL führt. Sofern bei der CAN-Leitung auf ganzer Länge in unmittelbarer Nähe eine Masse- oder Versorgungsspannungsleitung mitgeführt wird, kann diese auch durch das CDN geführt werden. Diese (effektiv kurzgeschlossene) Leitung verringert die Lastimpedanz enorm und hat daher großen Einfluss auf das Testergebnis. CDNs mit Mischbestückung (Versorgungs- und Datenleitungen) sind als Sonderanfertigung möglich.

## Rohdaten

```
Error: Sent 539(8): BF 1D 3A 82 FB 0B 50 13
      Got   539(8): D1 D2 DC 80 FF B3 C0 5A
```

### CAN testing summary

=====

Transceiver config: Prop=3 PS1=2 PS2=2 BRP=1

Bitrate: 1000 kbit/s

Packets: 11 bit SID, 8 bytes random data

Start Tue Feb 26 18:41:09 2019

End Tue Feb 26 22:03:28 2019

4000000 frames transmitted, 3999999 frames received, 1 errors FER 2.500000e-07 329 Packets/s

### CAN testing summary

=====

Transceiver config: Prop=3 PS1=2 PS2=4 BRP=1

Bitrate: 800 kbit/s

Packets: 11 bit SID, 8 bytes random data

Start Tue Feb 26 22:03:28 2019

End Wed Feb 27 01:26:34 2019

4000000 frames transmitted, 4000000 frames received, 0 errors FER 0.000000e+00 328 Packets/s

### CAN testing summary

=====

Transceiver config: Prop=3 PS1=8 PS2=4 BRP=1

Bitrate: 500 kbit/s

Packets: 11 bit SID, 8 bytes random data

Start Wed Feb 27 01:26:34 2019

End Wed Feb 27 04:49:44 2019

4000000 frames transmitted, 4000000 frames received, 0 errors FER 0.000000e+00 328 Packets/s

### CAN testing summary

=====

Transceiver config: Prop=3 PS1=8 PS2=4 BRP=2

Bitrate: 250 kbit/s

Packets: 11 bit SID, 8 bytes random data

Start Wed Feb 27 04:49:44 2019

End Wed Feb 27 08:34:15 2019

4000000 frames transmitted, 4000000 frames received, 0 errors FER 0.000000e+00 296 Packets/s

### CAN testing summary

=====

Transceiver config: Prop=3 PS1=8 PS2=4 BRP=4

Bitrate: 125 kbit/s

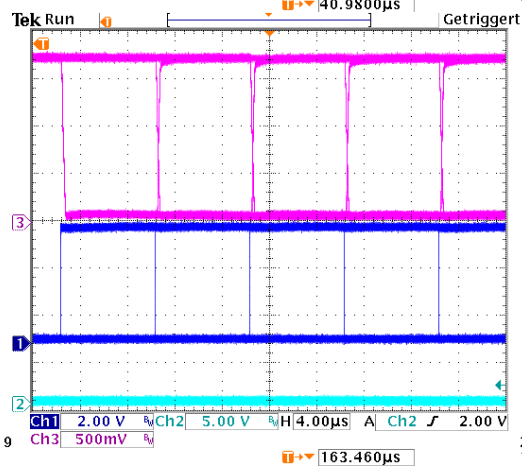
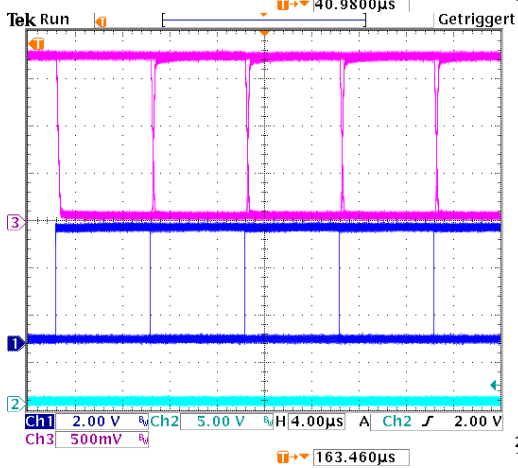
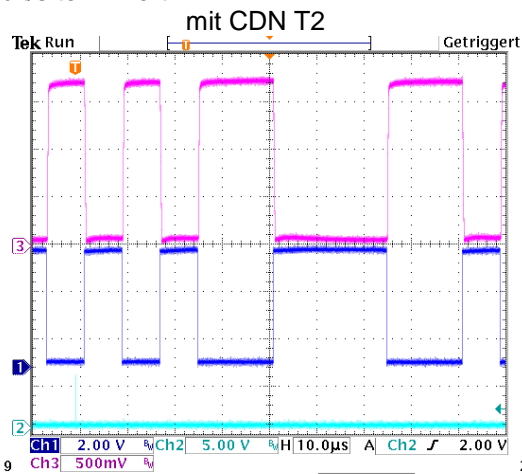
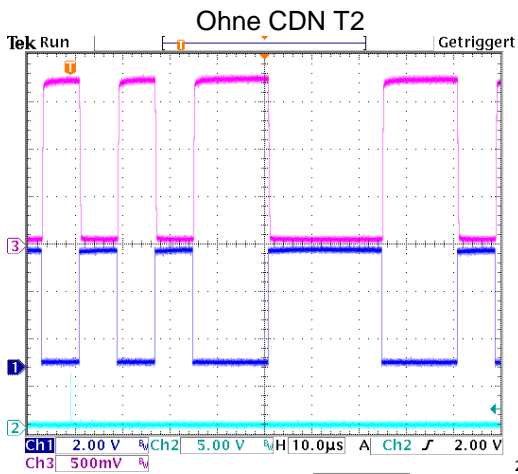
Packets: 11 bit SID, 8 bytes random data

Start Wed Feb 27 08:34:15 2019

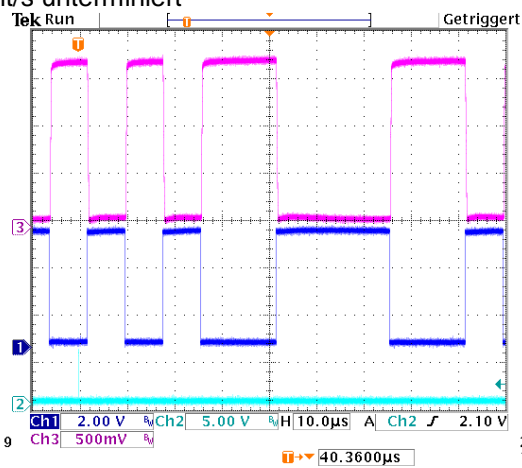
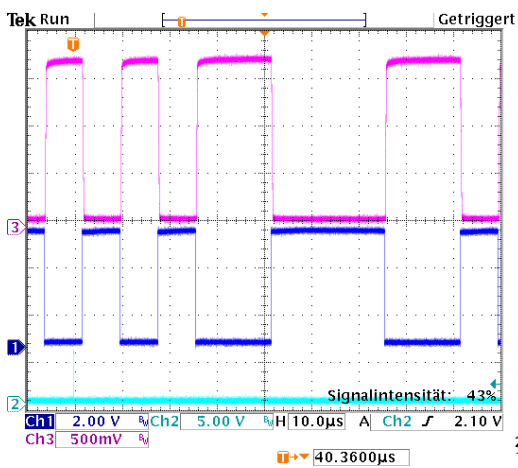
End Wed Feb 27 12:57:45 2019

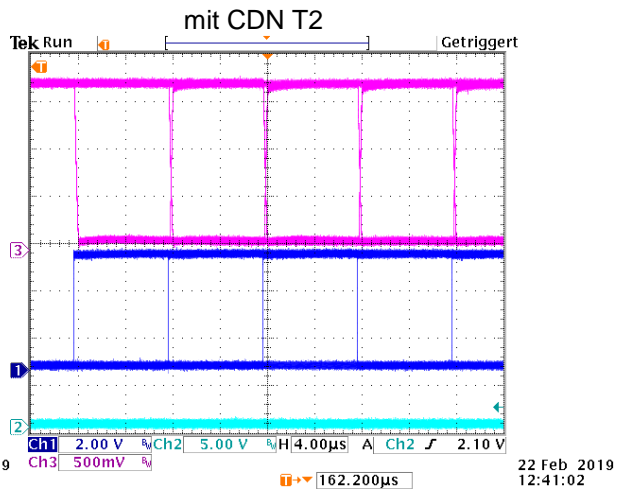
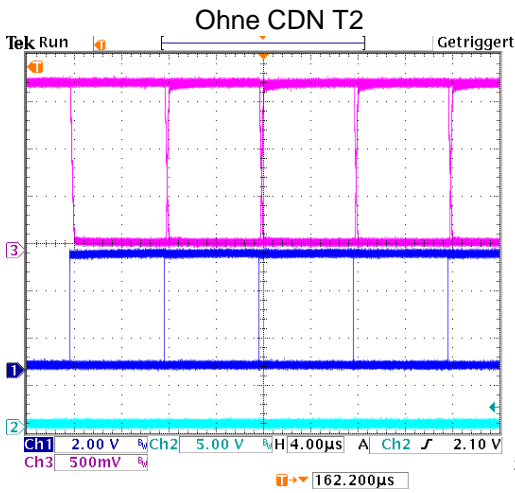
4000000 frames transmitted, 4000000 frames received, 0 errors FER 0.000000e+00 253 Packets/s

## 125 kbit/s terminiert

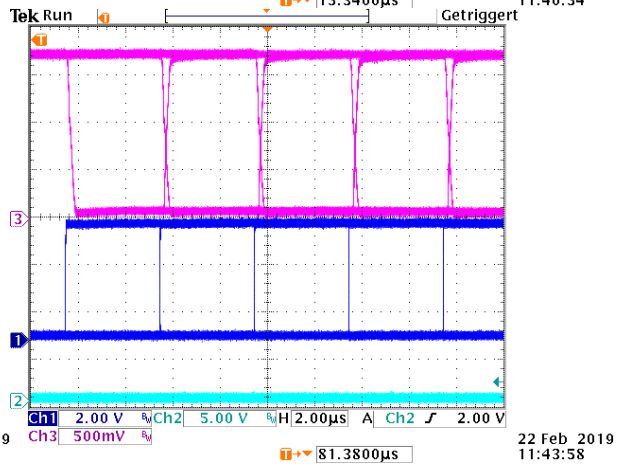
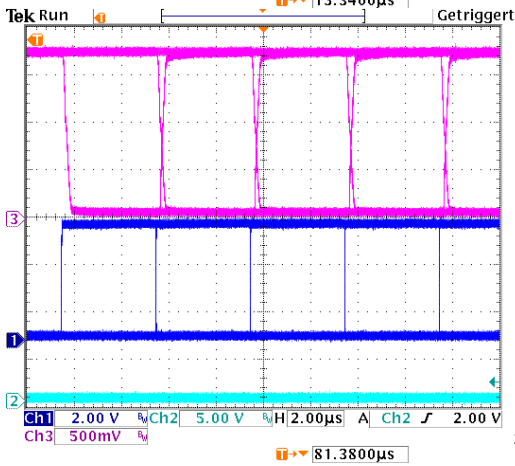
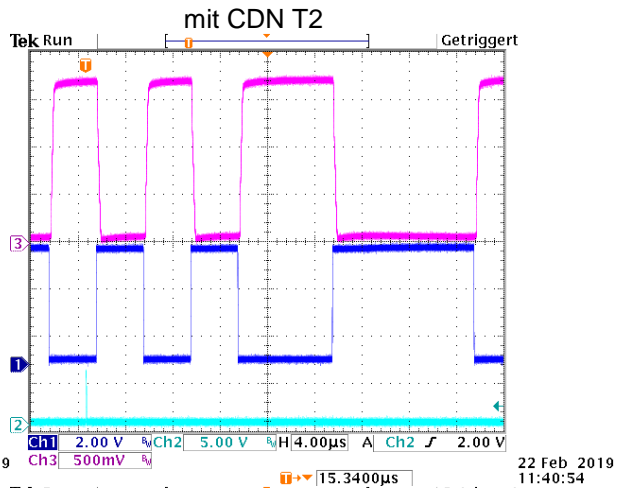
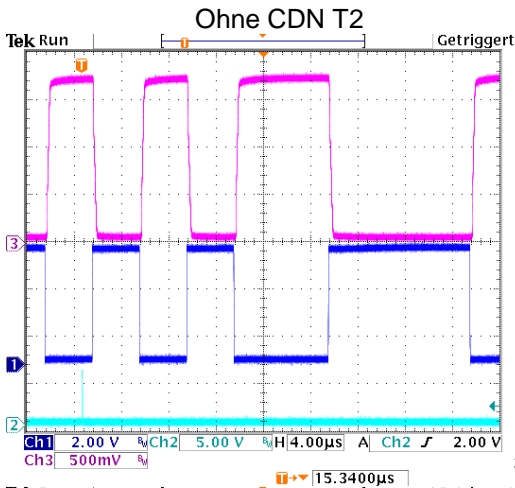


## 125 kbit/s unterminiert

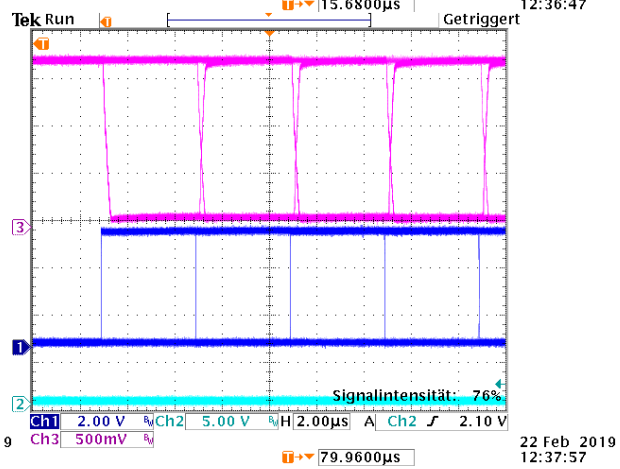
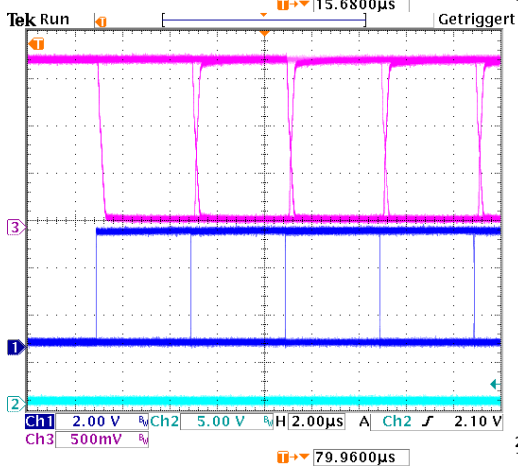
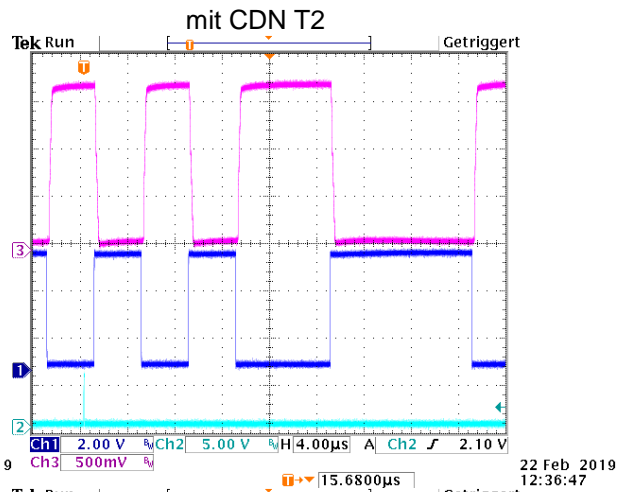
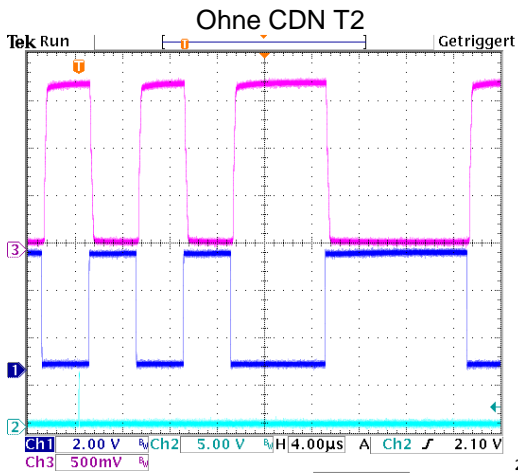




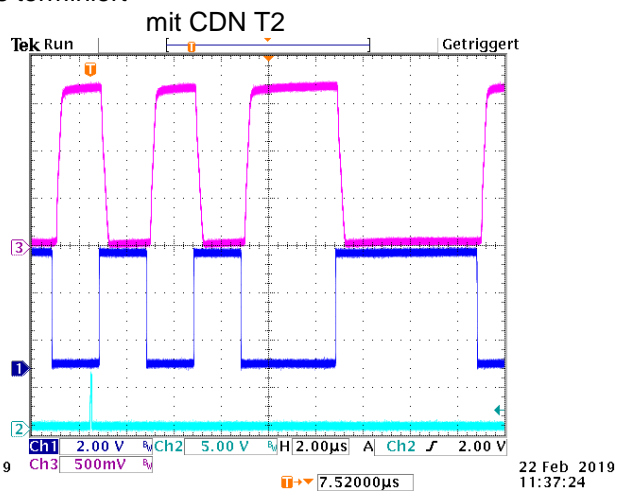
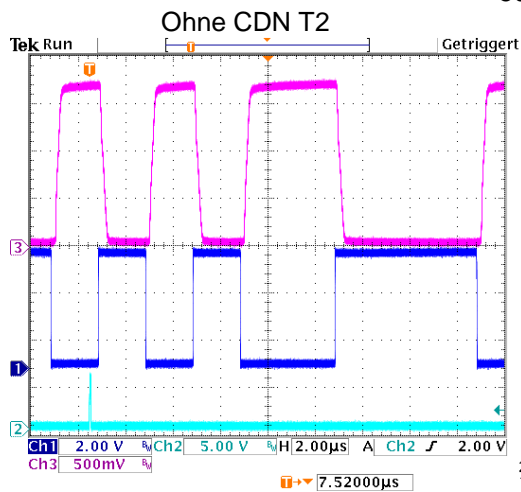
### 250 kbit/s terminiert

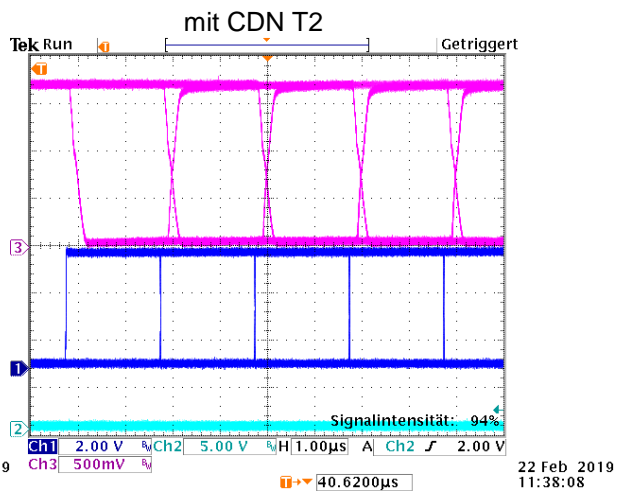
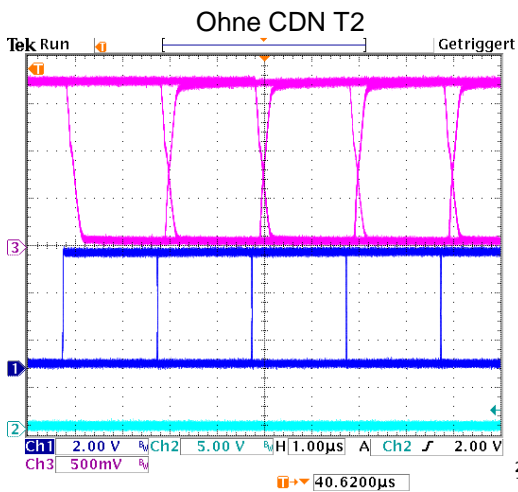


## 250 kbit/s unterterminiert

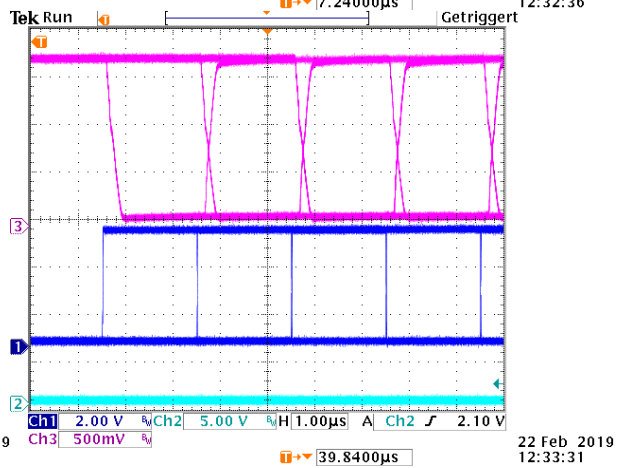
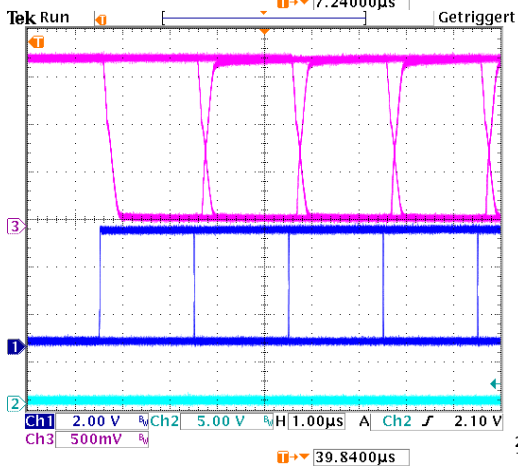
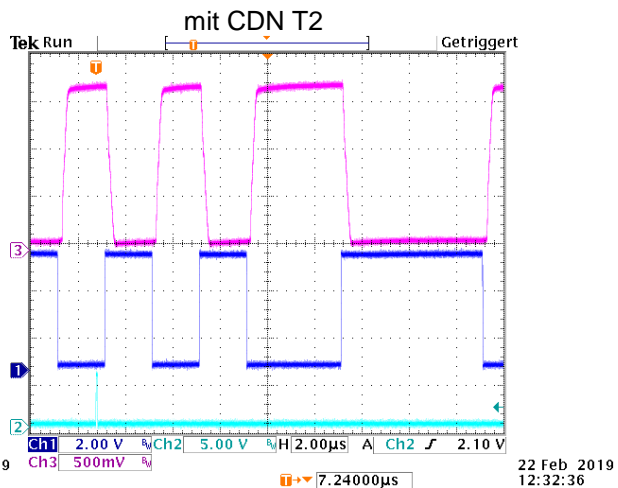
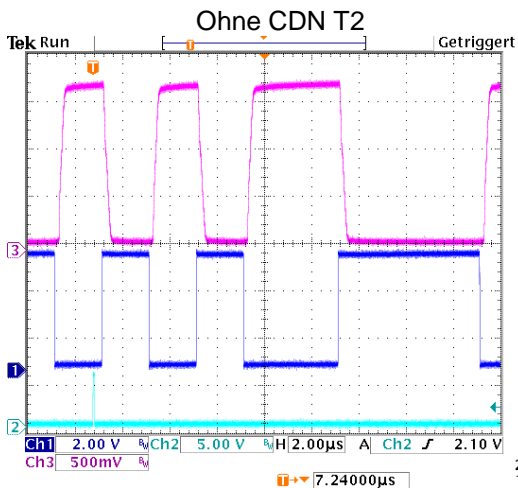


## 500 kbit/s terminiert

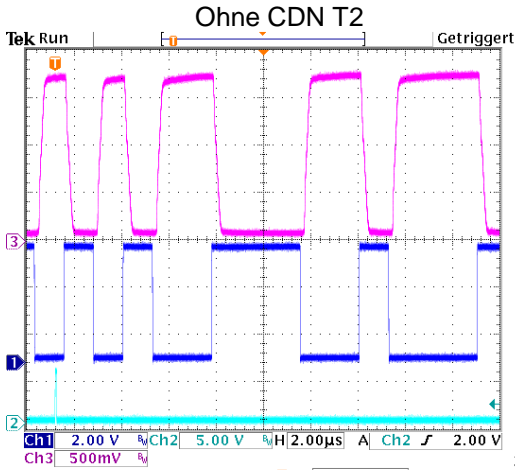




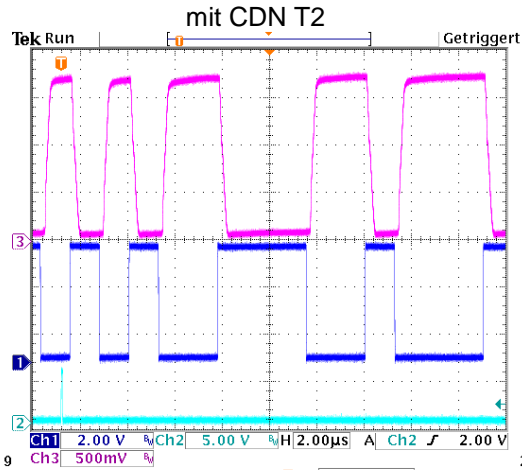
## 500 kbit/s unterminiert



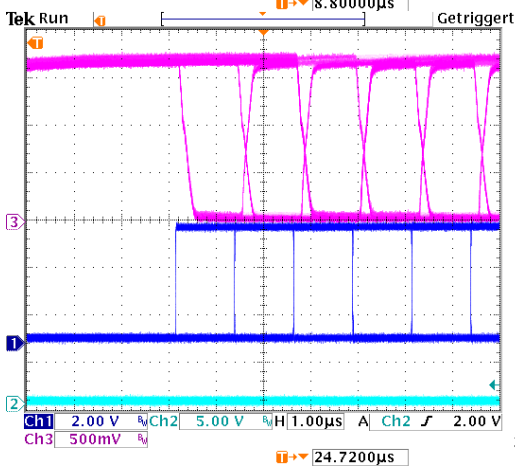
## 800 kbit/s terminiert



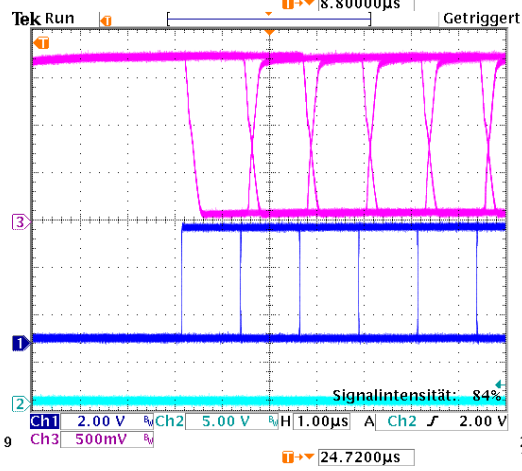
22 Feb 2019 11:28:38



22 Feb 2019 11:29:15

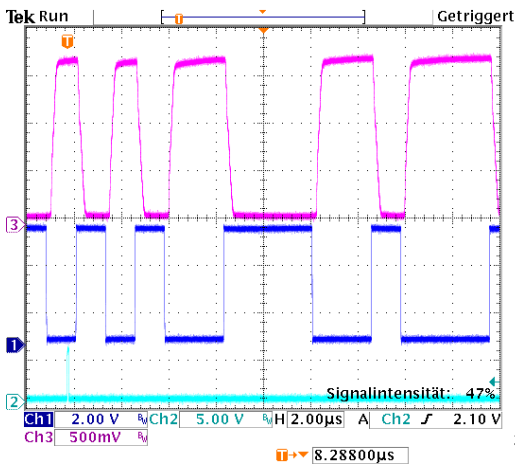


22 Feb 2019 11:30:23

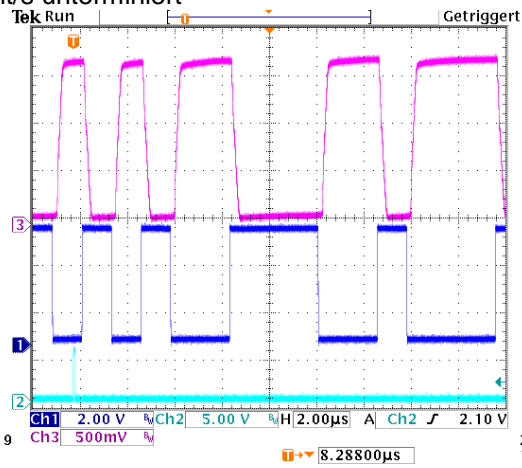


22 Feb 2019 11:29:51

## 800 kbit/s unterterminiert

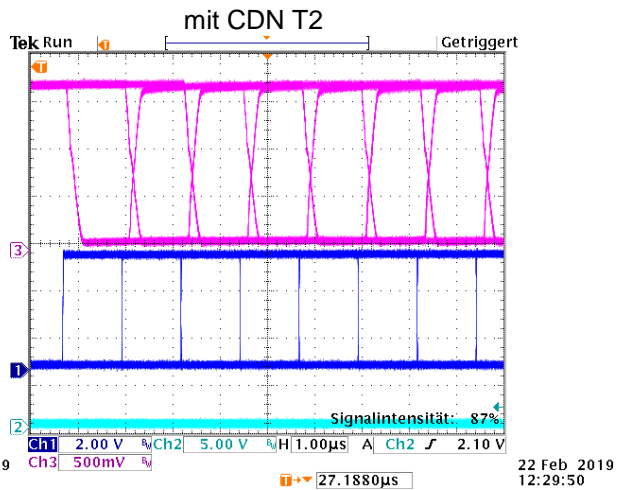
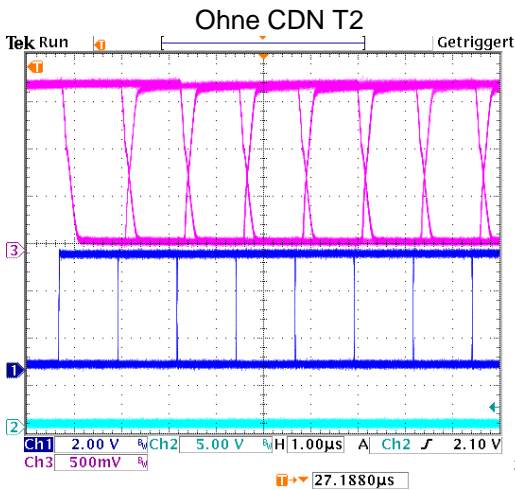


22 Feb 2019 12:28:47

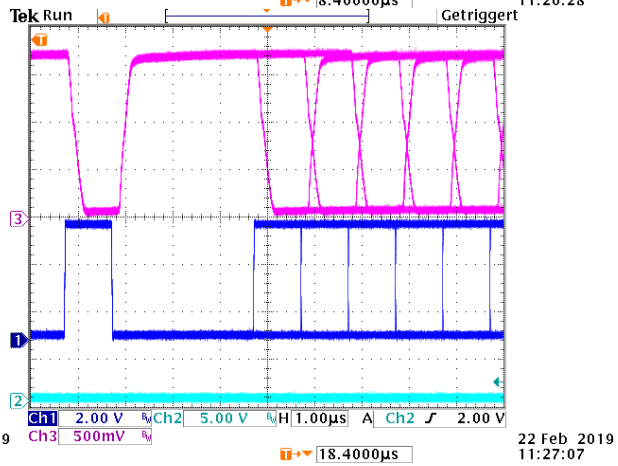
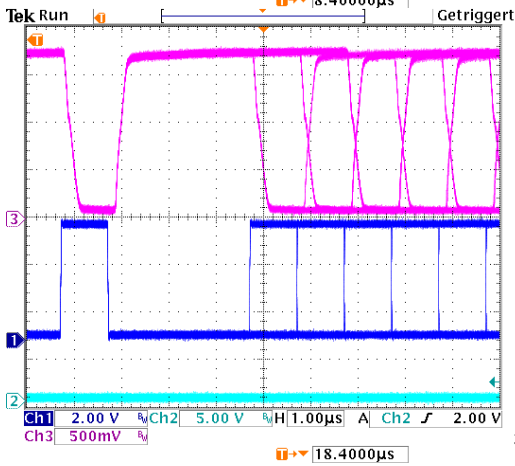
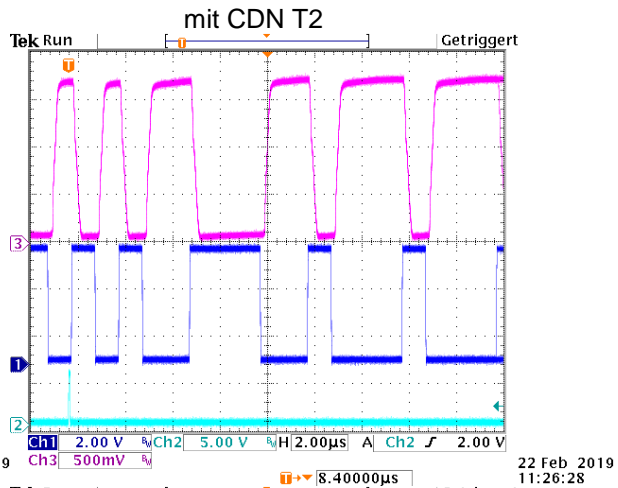
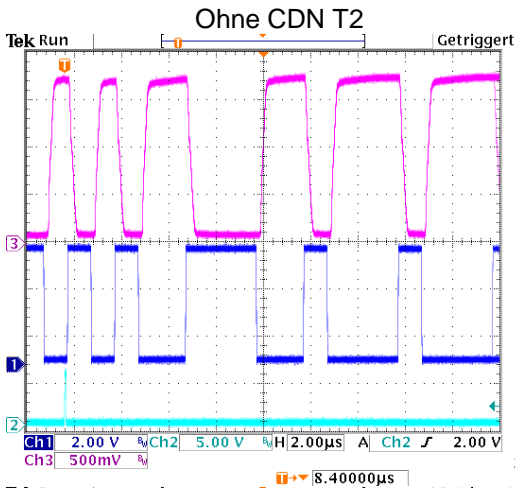


22 Feb 2019 12:29:20



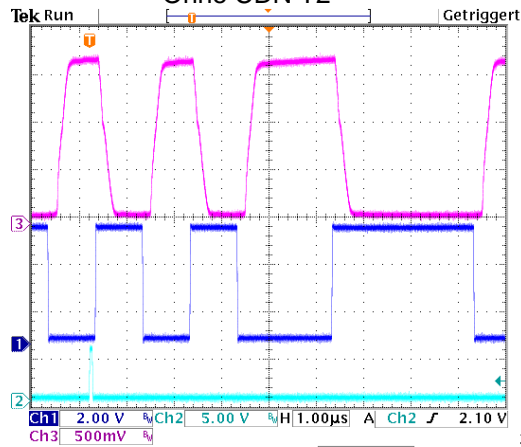


## 1 Mbit/s terminiert



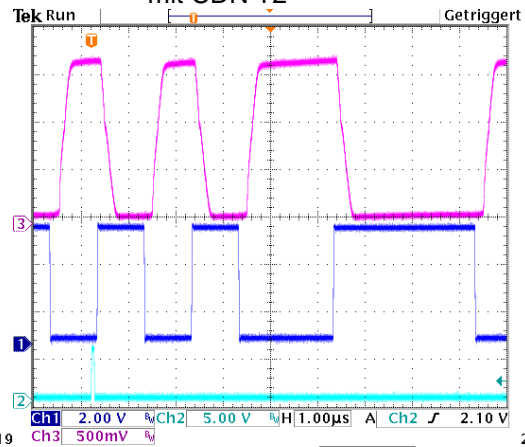
## 1 Mbit/s unterminiert

Ohne CDN T2



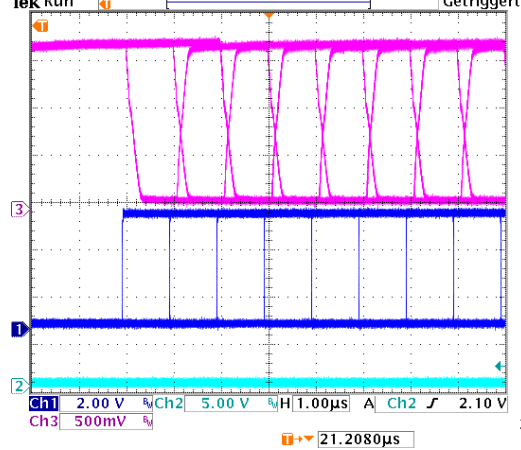
22 Feb 2019  
12:26:08

mit CDN T2



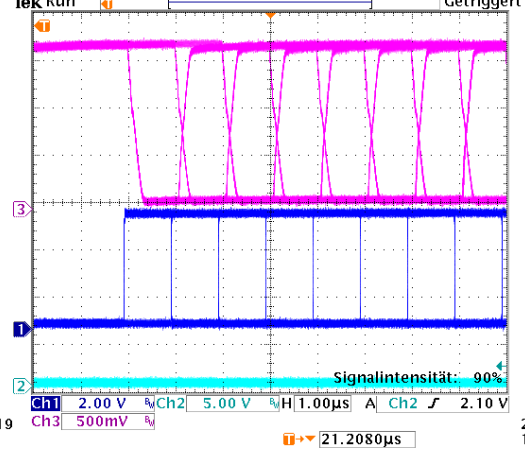
22 Feb 2019  
12:26:42

Ohne CDN T2



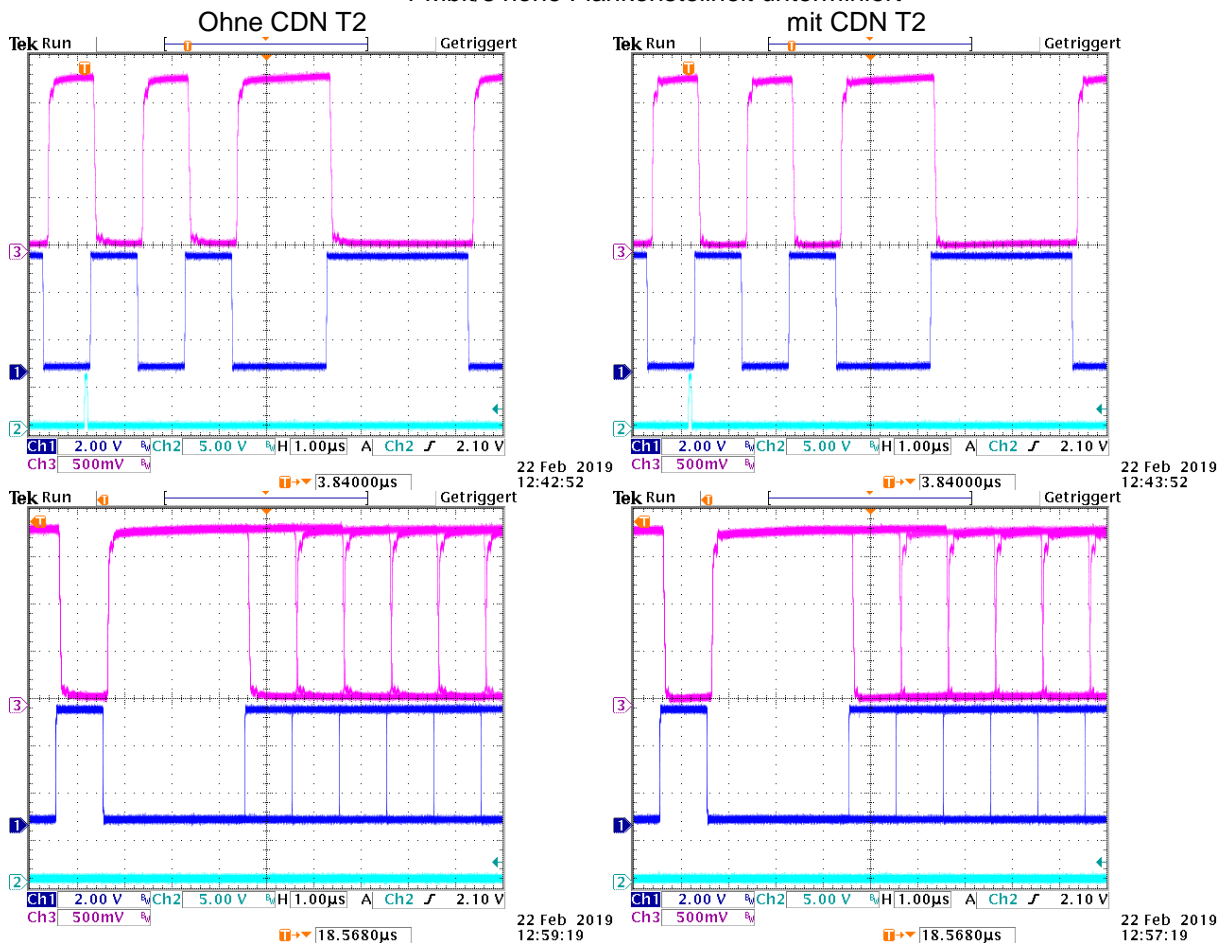
22 Feb 2019  
12:27:44

mit CDN T2



22 Feb 2019  
12:27:14

1 Mbit/s hohe Flankensteilheit unterminiert



Nachschwingen nach Paket (125 kbit/s terminiert)

