

Abschlusswiderstand im LMN-Bus

Messungen an einer Einzelzähler-Installation

RS-485 · 921 600 bit/s · 120 Ω · messtechnische Untersuchung

Kurzantwort

Ein Gateway, ein Zähler, kurze Leitung: Ein 120- Ω -Abschlusswiderstand ist nicht erforderlich. Bei typischen Leitungslängen im Zählerschrank (bis ca. 3 m) liegen die gemessenen Reflexionen unter 7 % der Bitperiode, der Differenzpegel bleibt mit 1,56 V weit über der Empfängerschwelle von ± 200 mV. Ein Abschluss schadet aber auch nicht.

Empfohlen wird ein 120- Ω -Abschluss am physikalischen Busende ab etwa 5 m Leitungslänge sowie bei mehreren Zählern, vielen Steckverbindern bzw. T-Abzweigen oder zusätzlich angeschlossenen Monitoring-Geräten.

1,085 μ s

Bitperiode bei 921 600 bit/s

26–74 ns

Klingeln ohne Abschluss bis 3 m

1,56 VDifferenzpegel (Schwelle $\pm 0,2$ V)

1 Fragestellung

In der Praxis fragen Messstellenbetreiber und Installateure regelmäßig: Muss am LMN-Bus ein 120- Ω -Abschlusswiderstand gesetzt werden, auch wenn am Gateway nur ein einziger Zähler hängt und die Leitung nur wenige Dezimeter lang ist? Und wenn ja, an welchem Ende? Die Lehrbuchregel für RS-485 lautet, die Leitung mit ihrem Wellenwiderstand abzuschließen. Im Zählerschrank liegen Gateway und Zähler jedoch oft so nah beieinander, dass der Nutzen fraglich erscheint.

Das technische Team der DIINNO GmbH hat diese Frage mit Oszilloskop-Messungen in einer realen Kommunikationsumgebung untersucht. Im Mittelpunkt stehen drei Fragen:

- Ist bei einer Einzelzähler-Installation ein Abschluss notwendig?
- Ab welcher Leitungslänge werden Reflexionen relevant?
- Wie wirkt ein 120- Ω -Abschluss am Leitungsende auf Signalform und Pegel?

2 Technische Grundlagen

2.1 RS-485-Differenzsignal

RS-485 überträgt Daten als Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen A und B. Nach TIA/EIA-485 erkennt der Empfänger bei $U_A - U_B \geq +200$ mV eine logische 1 und bei ≤ -200 mV eine logische 0; dazwischen ist der Zustand undefiniert. Ausgewertet wird deshalb stets das Differenzsignal, im Oszilloskop als MATH-Kanal CH1 – CH2.

2.2 Reflexion und Klingeln

Trifft eine Signalfanke auf ein Leitungsende, dessen Impedanz nicht dem Wellenwiderstand Z_0 entspricht, wird ein Teil der Energie reflektiert. Der Reflexionsfaktor beträgt $\Gamma = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0)$. Ein offenes Ende ($Z_L \rightarrow \infty$) reflektiert nahezu vollständig ($\Gamma \approx +1$); ein Abschluss mit $Z_L \approx Z_0 \approx 120 \Omega$ unterdrückt die Reflexion ($\Gamma \approx 0$). Bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von etwa 0,66 c (ca. 0,2 m/ns) benötigt eine Reflexion auf 30 m Leitung für Hin- und Rückweg rund 300 ns.

2.3 Kenngrößen des LMN-Busses

Kenngrößen

Datenrate (LMN nach FNN-Lastenheft)	921 600 bit/s
Bitperiode	1,085 μ s
Wellenwiderstand RS-485-Leitung	100–120 Ω
Abschlusswiderstand	120 Ω
Empfängerschwelle	± 200 mV (TIA/EIA-485)
Gemessener Differenzpegel V_{pp}	1,56 V (in allen Messungen)

3 Versuchsaufbau und Methodik

3.1 Prüfmittel

Aufbau

Gateway	handelsübliches Smart-Meter-Gateway mit LMN-Schnittstelle
Zähler	Holley eHZ-Basiszähler mit RJ12-LMN-Schnittstelle
Oszilloskop	digitales Speicheroszilloskop, 4 Kanäle
Tastköpfe	passiv, 10:1
Buskabel	DIINNO LMN-BKF (RJ12)
T-Abzweig / Messpunkt	DIINNO LMN-BS3 (passiv, 3 $\times$ RJ12)
Abschlusswiderstand	DIINNO LMN-BAW, 120 Ω (RJ12)
Variable Leitung	RS-485-Leitung, verdreht

3.2 Messschaltung

Tastkopf CH1 liegt an Leitung A (+), Tastkopf CH2 an Leitung B (–), beide Massen an GND. Der MATH-Kanal bildet CH1 – CH2. Einstellungen: 500 mV/div, DC-Kopplung, Bandbreitenbegrenzung 20 MHz; Trigger auf die Flanke des LMN-Abfragetelegramms des Gateways. Je Leitungslänge wurde einmal ohne und einmal mit 120 Ω zwischen A und B am physikalischen Leitungsende gemessen.

In den Oszillogrammen ist **CH1 (A) gelb**, **CH2 (B) türkis** und das **Differenzsignal MATH = A – B violett** dargestellt.

3.3 Anschlussverifikation

Vor den Messreihen wurden RJ12-Pin 1/6, die beiden Tastkopfleitungen und die Kanäle CH1/CH2 gegeneinander getauscht. Die beobachteten Reflexionen wanderten mit dem Leitungsaufbau, nicht mit einem bestimmten Kanal oder einer bestimmten Tastkopfleitung. Ein Messmittelfehler als Ursache ist damit ausgeschlossen.

3.4 Zwei Messreihen

Gruppe A variiert die Länge einer Stichleitung hinter dem Zähler bis zum Messpunkt (0 bis 30 m). Damit wird sichtbar, wie sich eine Fehlanpassung am Leitungsende mit wachsender Länge auswirkt, bis hin zu einem bewusst extremen Fall.

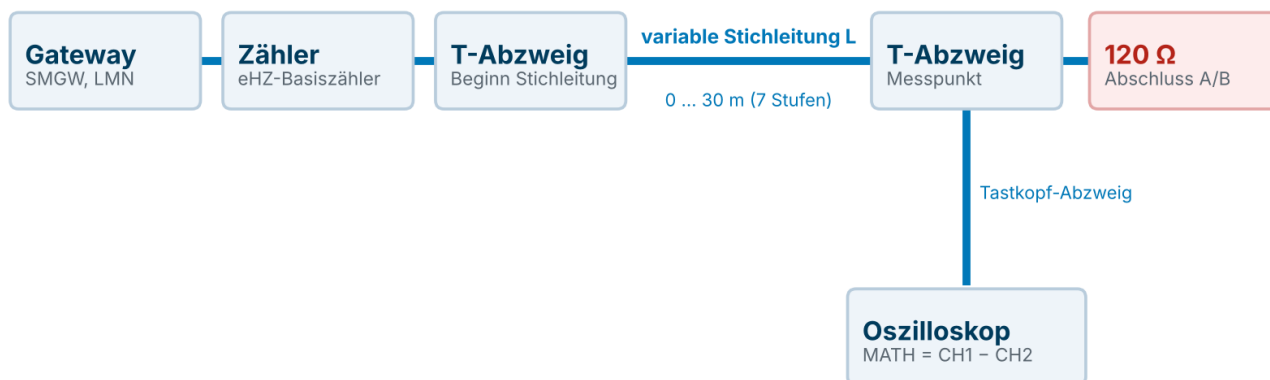


Bild 1: Messaufbau Gruppe A, variable Stichleitung L hinter dem Zähler.

Gruppe B entspricht der praxisnahen Einzelzähler-Installation: Die Leitungslänge L zwischen Gateway und Zähler-Abzweig wird von 0,3 bis 9 m verändert; Zähler, Messpunkt und Abschlussposition bleiben fest.



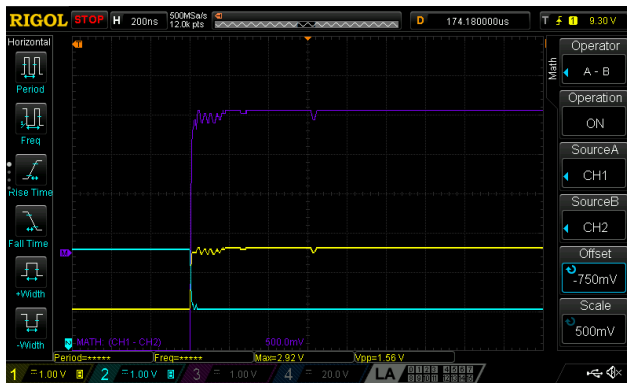
Bild 2: Messaufbau Gruppe B, variable Leitung L zwischen Gateway und Zähler.

4 Ergebnisse Gruppe A: Stichleitung am Leitungsende

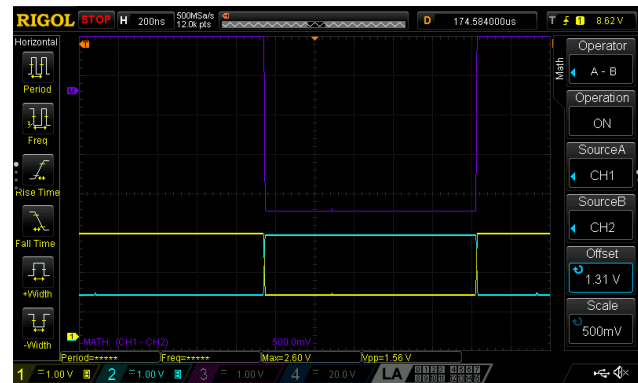
Alle 14 Messungen (7 Längen, jeweils ohne und mit 120 Ω) zeigen denselben Differenzpegel $V_{pp} = 1,56$ V. Unterschiedlich sind Zeitpunkt, Dauer und Anzahl der Reflexionen.

Nr.	Stichleitung	120 Ω	Zeitbasis [ns/div]	Max [V]	Beobachtung
A-01	0 m	ohne	20	2,92	einzelner Unterschwinger ca. 20 ns
A-02	0 m	mit	20	2,72	kein Klingeln, glatte Flanke
A-03	0,3 m	ohne	50	2,96	Unterschwinger 26 ns, 560 mV
A-04	0,3 m	mit	50	2,80	minimale Schwingung 17 ns
A-05	0,5 m	ohne	50	3,08	Unterschwinger 26 ns, 860 mV
A-06	0,5 m	mit	50	2,88	kleine Schwingung 28 ns, klingt schnell ab
A-07	1 m	ohne	50	2,80	Unterschwinger 38 ns, 580 mV
A-08	1 m	mit	50	3,00	minimale Schwingung 37 ns
A-09	3 m	ohne	100	2,84	Klingeln 74 ns, 740 mV
A-10	3 m	mit	100	2,92	minimale Schwingung, sauber
A-11	12 m	ohne	500	2,92	zwei Reflexionen, Abstand 254 ns
A-12	12 m	mit	500	3,04	Restschwingung 110 mV
A-13	30 m	ohne	200	2,92	starkes Klingeln ca. 300 ns, > 5 Reflexionen
A-14	30 m	mit	200	2,60	sauberes Rechteck

$V_{pp} = 1,56$ V in allen Messungen. Max = automatisch gemessener Spitzenwert des Differenzsignals.



30 m, ohne Abschluss: starkes Klingeln (200 ns/div)

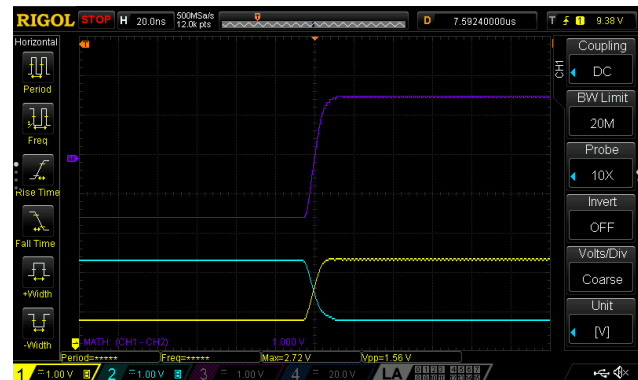


30 m, mit 120 Ω : sauberes Rechteck (200 ns/div)

Bild 3: Der deutlichste Fall. Mit 120 Ω am Leitungsende verschwinden die Mehrfachreflexionen vollständig.



0 m, ohne Abschluss: Unterschwinger ca. 20 ns (20 ns/div)



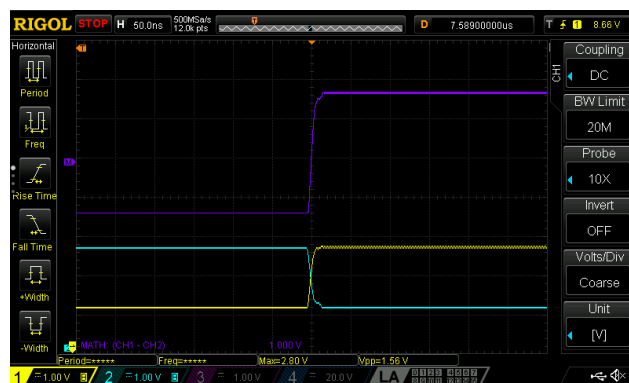
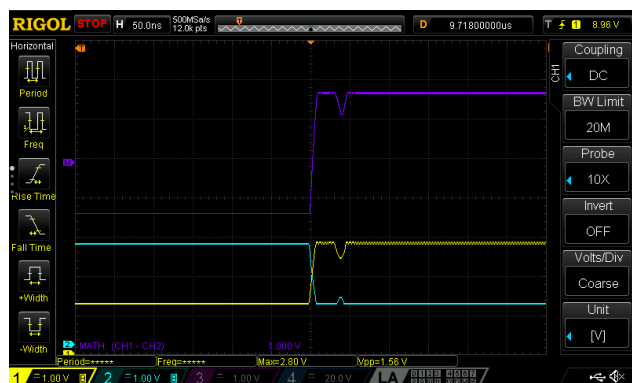
0 m, mit 120 Ω : glatte Flanke (20 ns/div)

Bild 4: Referenz ohne zusätzliche Leitung.



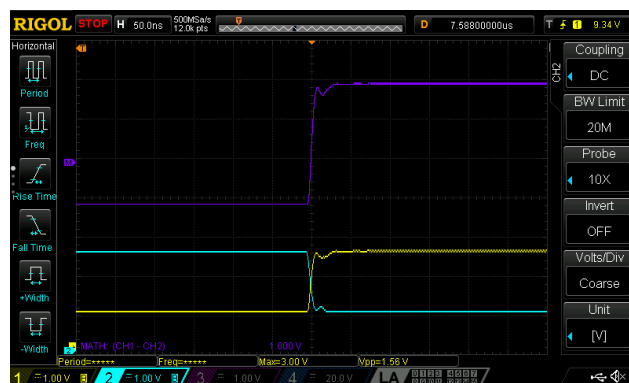
0,3 m, ohne Abschluss (50 ns/div)

Bild 5: 0,3 m Stichleitung.

0,3 m, mit 120 Ω (50 ns/div)

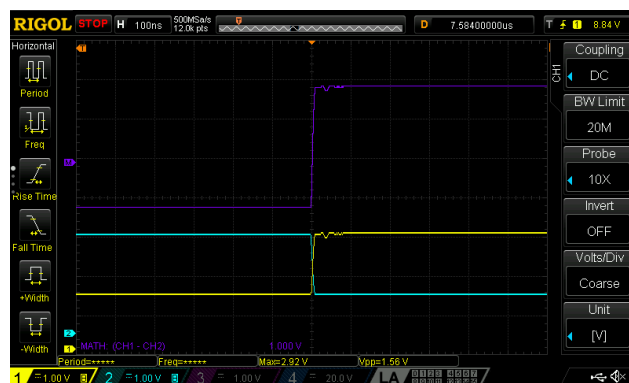
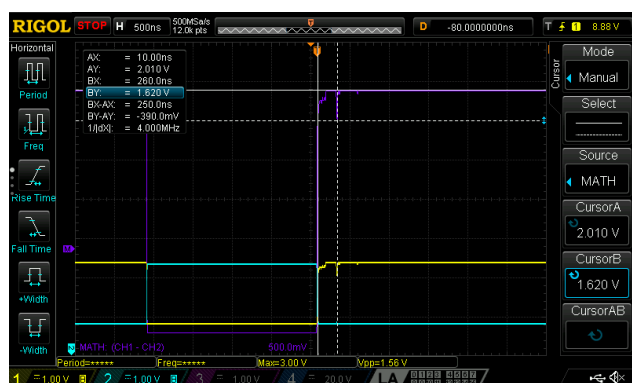
1 m, ohne Abschluss (50 ns/div)

Bild 6: 1 m Stichleitung.

1 m, mit 120 Ω (50 ns/div)

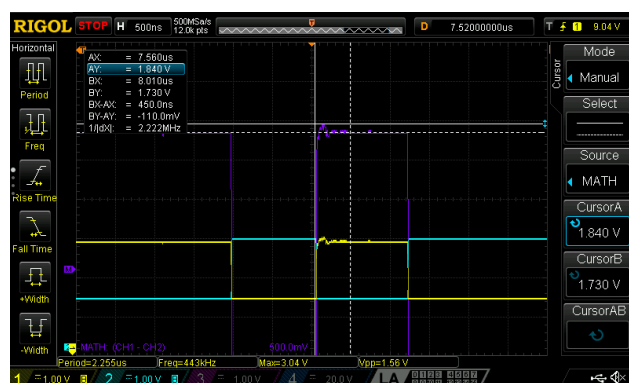
3 m, ohne Abschluss (100 ns/div)

Bild 7: 3 m Stichleitung. Das Klingeln endet nach ca. 74 ns, weit vor der Bitmitte.

3 m, mit 120 Ω (100 ns/div)

12 m, ohne Abschluss (500 ns/div)

Bild 8: 12 m Stichleitung.

12 m, mit 120 Ω (500 ns/div)

5 Ergebnisse Gruppe B: Abstand Gateway – Zähler

Diese Messreihe bildet die typische Einzelzähler-Installation ab. Ohne Abschluss verschiebt sich die erste Hauptreflexion systematisch mit der Leitungslänge: von ca. 26 ns bei 0,3 m auf ca. 190–196 ns bei 9 m. Das bestätigt, dass es sich um Leitungsreflexionen handelt. Der Differenzpegel beträgt in allen Fällen ca. 1,56 V.

Nr.	Länge L	120 Ω	1. Reflexion	Beobachtung
B-01	0,3 m	ohne	26 ns	kleine Senke ca. 340 mV
B-02	0,3 m	mit	–	saubere Flanke, Fernreflexion minimal
B-03	0,5 m	ohne	32 ns	Senke ca. 420 mV
B-04	0,5 m	mit	–	kleine Schwingung, schnelle Erholung
B-05	1 m	ohne	41 ns	deutliche Senke ca. 860 mV
B-06	1 m	mit	–	lokale Störung reduziert
B-07	2 m	ohne	61 ns	zweite Welle bei ca. 137 ns
B-08	2 m	mit	–	Fernreflexion reduziert
B-09	3 m	ohne	75 ns	zweite Welle bei ca. 171 ns
B-10	3 m	mit	–	stabileres Plateau
B-11	4 m	ohne	95–96 ns	zweite Welle bei ca. 208–210 ns
B-12	4 m	mit	–	deutlich weniger Mehrfachreflexionen
B-13	5 m	ohne	116–118 ns	zweite Welle bei ca. 252 ns
B-14	5 m	mit	–	schnellere Erholung
B-15	6 m	ohne	132–144 ns	Mehrfachechos bei 286–306 / 444 / 604–652 ns
B-16	6 m	mit	–	Fernreflexion absorbiert, lokale Reststörung
B-17	9 m	ohne	190–196 ns	Folgeechos bei 406–412 / 626 / 836 ns
B-18	9 m	mit	–	Echofolge deutlich unterdrückt

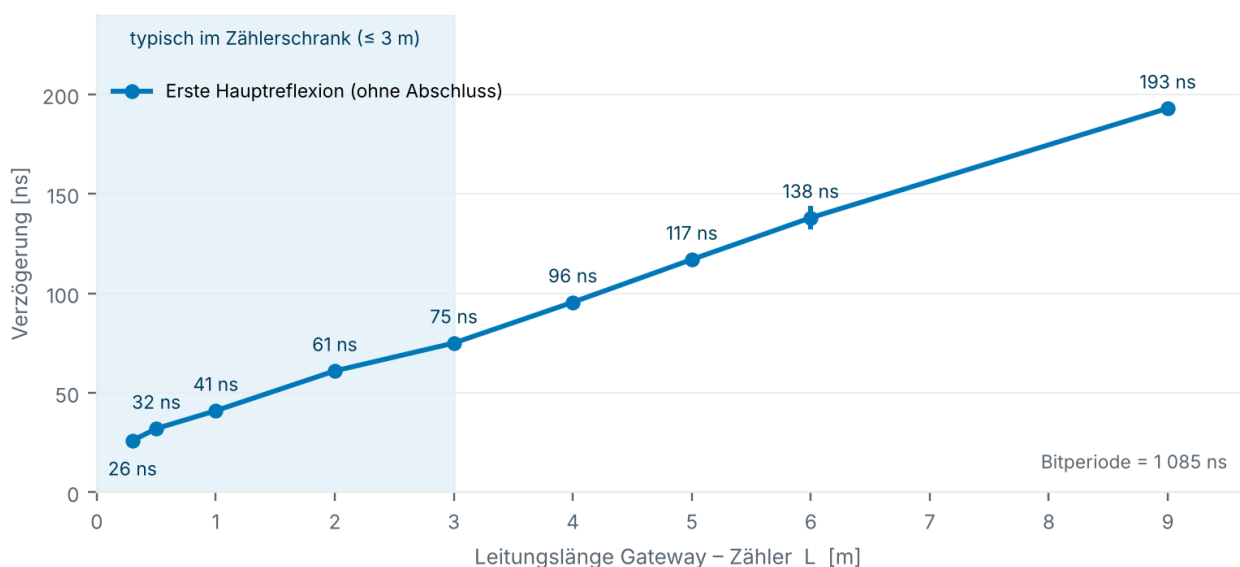
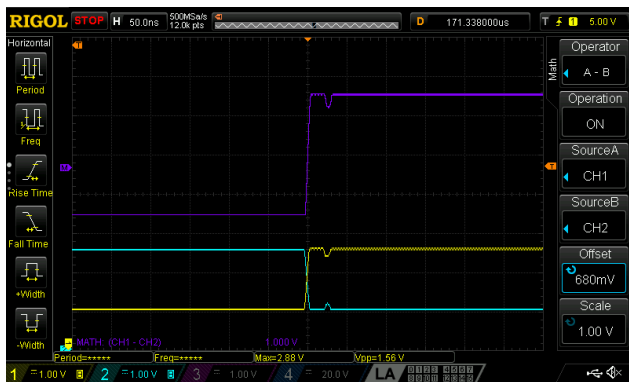
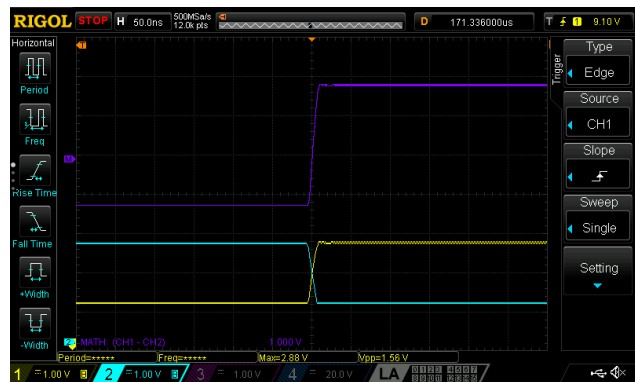


Bild 9: Verzögerung der ersten Hauptreflexion ohne Abschluss. Selbst bei 9 m liegt sie unter 20 % der Bitperiode; kritischer sind die Folgeechos bei längeren Leitungen.



0,3 m, ohne Abschluss

Bild 10: 0,3 m, typische Leitungslänge im Zählerschrank.



0,3 m, mit 120 Ω

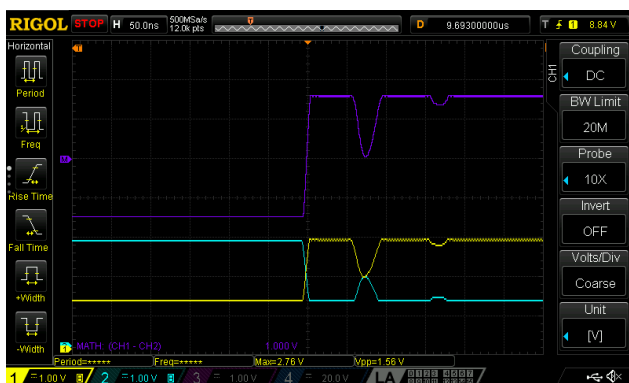


1 m, ohne Abschluss

Bild 11: 1 m.

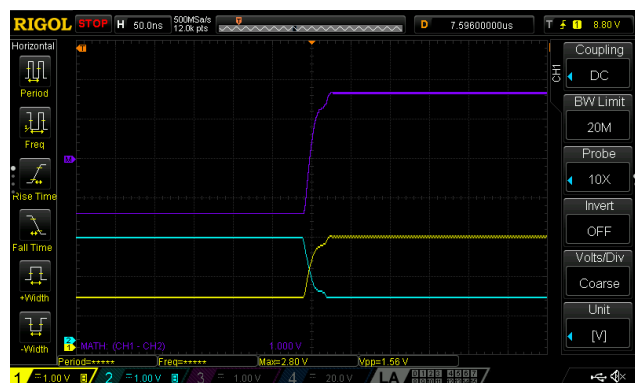


1 m, mit 120 Ω

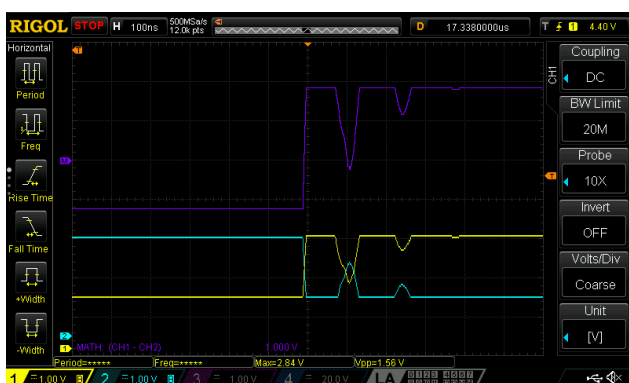


3 m, ohne Abschluss

Bild 12: 3 m.

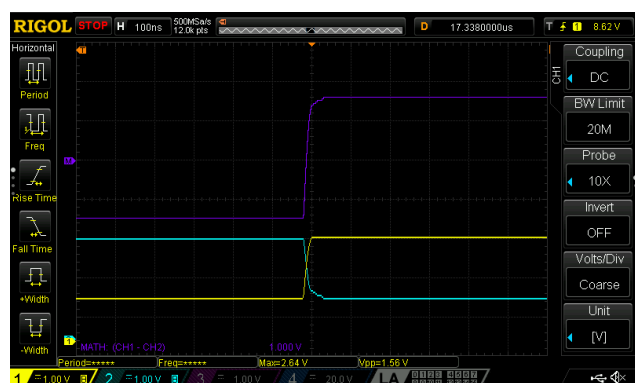


3 m, mit 120 Ω



5 m, ohne Abschluss

Bild 13: 5 m.



5 m, mit 120 Ω

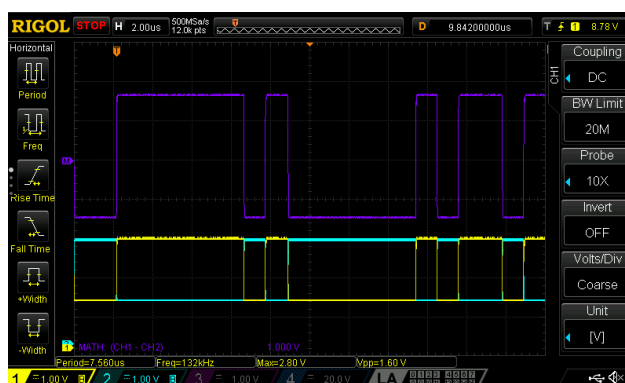
6 m, ohne Abschluss (Übersicht 2 μ s/div)6 m, mit 120 Ω (Übersicht 2 μ s/div)

Bild 14: 6 m. Ohne Abschluss sind vier abklingende Reflexionsanteile erkennbar.

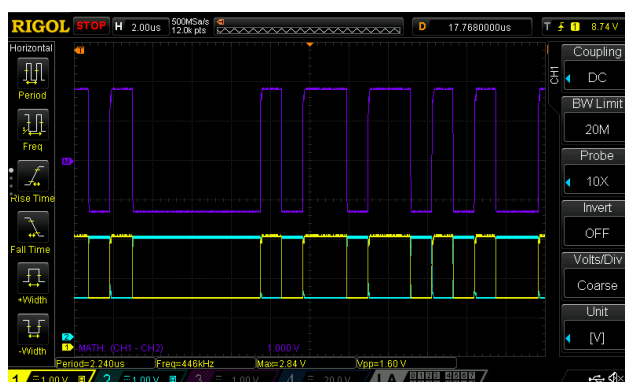
9 m, ohne Abschluss (Übersicht 2 μ s/div)9 m, mit 120 Ω (Übersicht 2 μ s/div)

Bild 15: 9 m, Gesamtbild eines Telegrammausschnitts. Ohne Abschluss: erste Reflexion ca. 192 ns, zweite ca. 406 ns.

5.1 Ergänzung: Einfluss der Verbindungsstruktur

Bei gleicher Gesamtlänge von ca. 6 m wurden zwei Aufbauten verglichen. Die Gesamtlänge bestimmt den Zeitpunkt der Hauptreflexion; zusätzliche T-Abzweige und kurze Teilstücke erhöhen die lokale Störung.

Aufbau (ca. 6 m, ohne Abschluss)	1. Reflexion	2. Reflexion	Bewertung
3 m + 3 m, 1 T-Abzweig	132–136 ns; 2,16–2,28 V	286–292 ns; 0,82–0,94 V	Gesamtlänge dominiert
0,5 + 0,5 + 1 + 1 + 3 m, 4 T-Abzweige	ca. 144 ns; 2,38 V	ca. 306 ns; 0,98 V	stärkere lokale Störung

6 Bewertung

6.1 Bezug zur Bitperiode

Bei 921 600 bit/s dauert ein Bit ca. 1,085 μ s. Bis 3 m endet das Klingeln nach 26–74 ns, also nach 2,4–6,8 % der Bitperiode und lange vor dem Abtastzeitpunkt. Auf Protokollebene hat das keinen Einfluss.

Bei 6 m und 9 m treten ohne Abschluss mehrere abklingende Echos auf; kurzzeitig wird dabei die ± 200 -mV-Schwelle berührt. Bei 9 m liegt das Differenzsignal zum Zeitpunkt der zweiten Reflexion (ca. 406–412 ns) noch bei +1,12 bis +1,18 V. Ein stabiler Bitfehler wurde bis 9 m nicht nachgewiesen, die Entscheidungsreserve nimmt jedoch ab.

Im Extremfall von 30 m klingt das Signal erst nach mehreren Umläufen ab; die gesamte Einschwingzeit kann eine Bitperiode überschreiten. Hier besteht ein Risiko für Intersymbolinterferenz (ISI). Mit 120 Ω am Leitungsende ist das Signal wieder ein sauberes Rechteck.

6.2 Einfluss des Abschlusses auf den Pegel

Mit $120\ \Omega$ sinkt der Spitzenwert des Differenzsignals leicht, z. B. bei 30 m von 2,92 V auf 2,60 V, weil der Widerstand den Treiber ohmsch belastet. Der Wert liegt weiterhin weit über der Schwelle von 0,2 V.

Bei kurzen Leitungen (1 bis 12 m) liegt der Spitzenwert mit Abschluss dagegen teils etwas höher (z. B. 1 m: 2,80 V $\rightarrow$ 3,00 V). Ursache: Die Flanke wird steiler, während ohne Abschluss der sofort folgende Unterschwinger den automatisch gemessenen Maximalwert senkt. V_{pp} bleibt in beiden Fällen 1,56 V.

7 Empfehlung für die Praxis

Installation	Messbefund	Empfehlung
1 Zähler, Leitung ≤ 3 m (typisch im Zählerschrank)	Reflexionen $< 7\%$ der Bitperiode, kein Einfluss auf die Kommunikation	Abschluss nicht erforderlich; optional, schadet nicht
1 Zähler, Leitung 3–5 m	Erste und zweite Reflexion sichtbar, ausreichende Reserve	optional
1 Zähler, Leitung > 5 m	Mehrfachechos, kurzzeitige Annäherung an die Schwelle	120 Ω empfohlen
mehrere Zähler, viele Steckverbinder/T-Abzweige, Monitoring-Geräte	nicht Gegenstand dieser Messreihen; zusätzliche Stoßstellen erhöhen die Störung	120 Ω empfohlen

Position: Der Abschluss gehört an das physikalische Ende des Busses, also an das vom Gateway entfernte Leitungsende hinter dem letzten Teilnehmer, nicht an einen Abzweig in der Mitte. Hinweise des Gateway-Herstellers zur internen Busbeschaltung sind zu beachten.

Gültigkeit und Grenzen

Die Messungen wurden mit einem Gateway-Typ, einem Zählertyp und jeweils einem Zähler unter Laborbedingungen durchgeführt. Die physikalischen Zusammenhänge sind übertragbar, absolute Werte können bei anderen Geräten und Leitungen abweichen. Messreihen mit mehreren Zählern und weiteren Gateways sind in Vorbereitung.

Fragen oder eigene Messergebnisse? Wir tauschen uns gern aus und freuen uns über technische Zusammenarbeit: info@diinno.de



DIINNO GmbH

Brunsbütteler Damm 93 · 13581 Berlin · Deutschland

Telefon +49 30 2388 3766 · info@diinno.de · www.diinno.de

Sitz der Gesellschaft: Berlin · Registergericht: Amtsgericht Charlottenburg, HRB 286974 B

Geschäftsführer: Haibo Wang · USt-IdNr.: DE352760870

WEEE-Reg.-Nr. DE 47199100 · Verpackungsregister LUCID DE1379452151884