

# Kabelradarmessungen: Fehler punktgenau finden

10 März 2016 | **Product Engineering** | [Jascha Eisenberg](#)

**Lesezeit:** 6 Minutes

Eine der täglichen Aufgaben in der Bahntechnik ist die Fehlerdiagnose. Alle Zugwagen werden periodisch in einer Routinekontrolle geprüft. Während dieser werden alle Funktionen, zum Beispiel das Öffnen der Türen oder das Betätigen von Tasten, Audio-Durchsagen etc., durchgecheckt. Wird ein Funktionsfehler auf einen Verdrahtungsfehler zurückgeführt, muss dieser oft in mühsamster Handarbeit gefunden werden. Bei den langen Leitungen, welche in Zugwagen unter den Bodenplatten oder in den Abteilungswänden verlegt sind, kann diese Fehlersuche viel Zeit benötigen. Eine Kabelradar-Messung beschleunigt die Fehlersuche, indem sie nicht nur die Art (Kurzschluss, Unterbruch) detektiert, sondern auch die Position liefert. Zudem kann die Kabelradarmessung vollautomatisch auf verschiedenen Leitungen durchgeführt werden.

## Das Messprinzip

Das Gerät sendet einen elektrischen Impuls auf die zu untersuchende Leitung und misst dessen Reflektionen. Stellen in der Leitung, welche eine Änderung im Wellenwiderstand haben, erzeugen Signalreflektionen:

- Kabelstellen, an denen sich der Wellenwiderstand erhöht, werden eine steigende Flanke erzeugen. Durch diese Reflektion wird sich die Spannung in der Leitung erhöhen.
- Positionen in der Leitung, die eine Verkleinerung des Wellenwiderstands haben, werden eine fallende Flanke aufweisen. Durch diese Reflektion wird die Spannung in der Leitung sinken. Damit werden unterschiedliche Störungsarten im Kabel erkannt. Diese sind im Bild 1 dargestellt. Im Rahmen des Projekts haben wir drei Fälle gemessen:
- Ein Unterbruch in der Leitung verursacht ein reflektiertes Signal mit einer steigenden Flanke auf die Spannung des Impulses (Zeitpunkt T2 im Bild 1.1, links).
- Ein Kurzschluss in der Leitung erzeugt eine Reflektion mit fallender Flanke auf 0 Volt (Zeitpunkt T2 im Bild 1.2, rechts).
- Am Ende der Leitung ist ein Abschlusswiderstand mit gleichem Wellenwiderstand, wie ihn die Leitung selbst aufweist, angebracht (die Leitung ist „terminiert“). Es gibt keine Reflektion. Aus der Zeitverzögerung zwischen dem Impuls und der Reflektion kann der Abstand zu der Störung im Kabel berechnet werden.

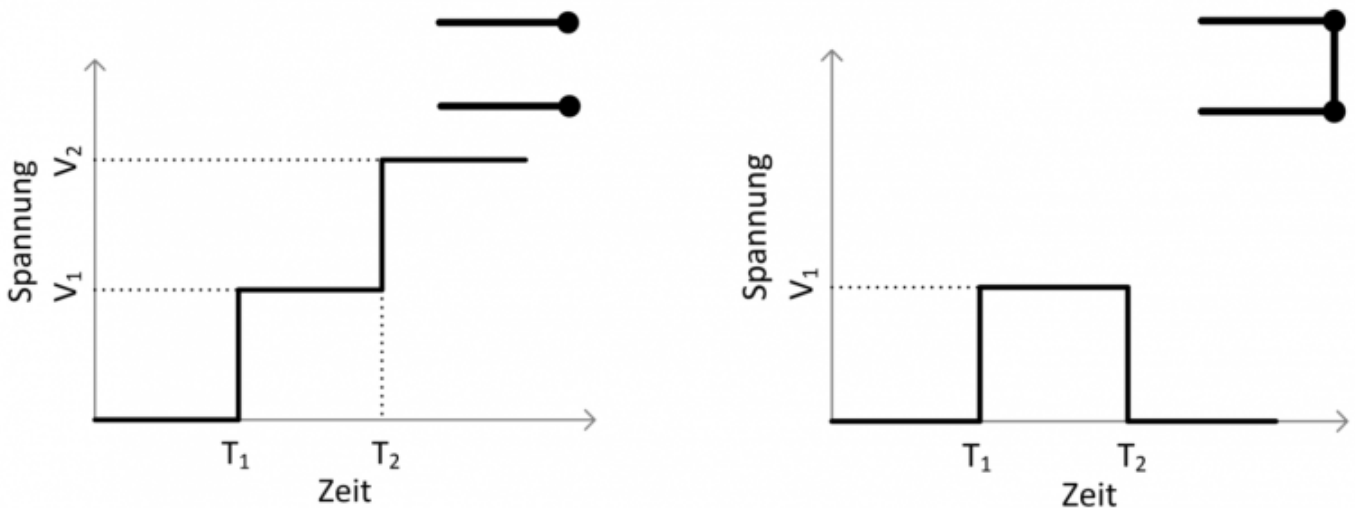


Bild 1 – Schematische Darstellung – Reflektionen von Unterbrüchen und Kurzschlüssen

## Aufbau der Messhardware

Ein Funktionsgenerator erzeugt das Impulssignal, welches über eine T-Verzweigung an zwei Geräte weitergeleitet wird. Ein Digitizer nimmt das Signal auf, damit es mit den Reflektionen, welche zu einem späteren Zeitpunkt im Digitizer ankommen, verglichen werden kann. Über die T-Verzweigung erreicht das Impulssignal auch eine hochfrequente Switch-Karte und kann so auf verschiedene Leitungen im Eisenbahnwagen gelegt werden. Störungen in den Leitungen reflektieren das Signal. Diese Reflektionen laufen durch die Switch-Karte und die T-Verzweigung zurück in den Digitizer, wo sie gemessen werden.

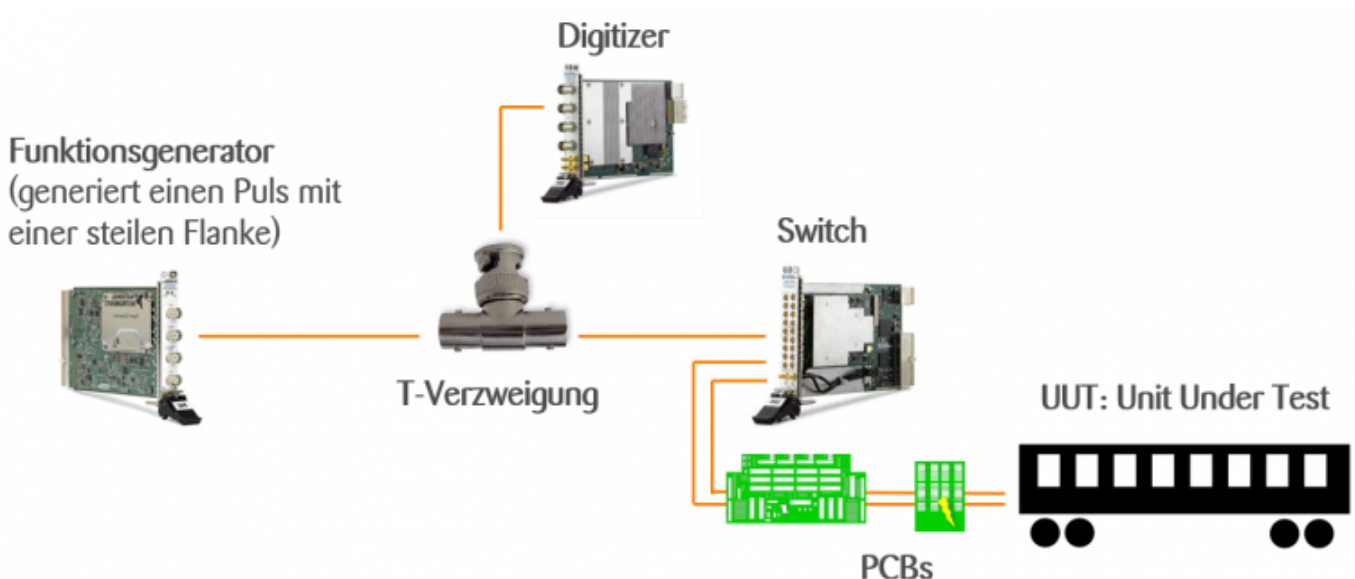


Bild 2 – Quellen: PXI Karten Bilder: National Instruments Webseite

## Erste Messungen im Labor

Um die Messhardware auszuprobieren und ein Gefühl für eine Kabelradarmessung zu

bekommen, haben wir als erstes ein Koaxialkabel angeschlossen. Das Koaxialkabel wurde in drei verschiedene Konfigurationen ausgemessen:

- als Leitung mit einem offenen Ende
- als Leitung mit einem kurzgeschlossenen Ende
- als terminierte Leitung.

Die Funktionsquelle liefert ein Impulssignal von 5 Volt. Bei einer offenen Leitung (Bild 3.1) steigt das Signal zuerst auf etwa 2.5 Volt an – die Hälfte der Amplitude des Impulssignals der Funktionsquelle. Das Signal bleibt bei diesem Wert, bis die Reflektion gemessen wird, wonach es auf 5 Volt ansteigt. Die Reflektion trifft  $2 \cdot 10^{-8}$  Sekunden nach dem Impulssignal beim Digitizer ein. Dies entspricht einer Kabellänge von 2 Meter:

$$\text{Entfernung} = \text{Geschwindigkeit} \cdot \frac{\text{Zeit}}{2} = \left(\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot \frac{(2 \cdot 10^{-8} \text{ s})}{2} = 2 \text{ Meter}$$

In dieser Berechnung müssen zwei Eigenschaften berücksichtigt werden. Erstens, in einem Koaxialkabel verläuft ein Signalpuls mit  $2/3$  der Lichtgeschwindigkeit. Zweitens, die Signallaufzeit muss halbiert werden, da der Puls in dieser Zeit die Entfernung zur Reflektionsstelle zweimal zurücklegt: einmal auf dem Hinweg und einmal auf dem Rückweg. Die Messung mit dem kurzgeschlossenen Kabel (Bild 3.2) ergibt ein ähnliches Resultat, ausser dass das Signal nach der Reflektion nicht auf 5 Volt steigt, sondern auf 0 Volt sinkt. Dies ist durch den Kurzschluss verursacht. An einem Kurzschluss kann der Strom, der durch die Spannung der Impulsquelle hervorgerufen wird, fließen. Dadurch gleicht sich die Spannung aus, und es werden 0 Volt gemessen.

Um das Koaxialkabel zu terminieren, haben wir ein 50 Ohm Widerstand am Kabelende angebracht. Da dies gleich dem Wellenwiderstand des Kabels war, ergab diese Konfiguration keine Signalreflektion. Dies ist in Bild 3.3 dargestellt.

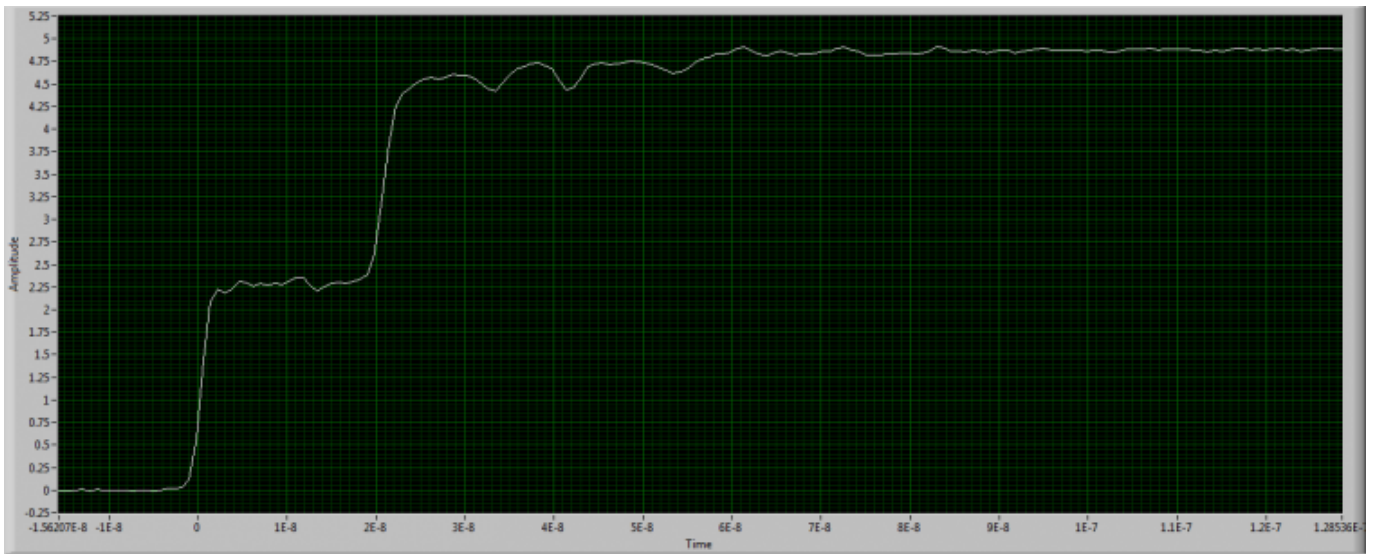


Bild 3.1 – Messung des Koaxialkabels mit offenem Ende

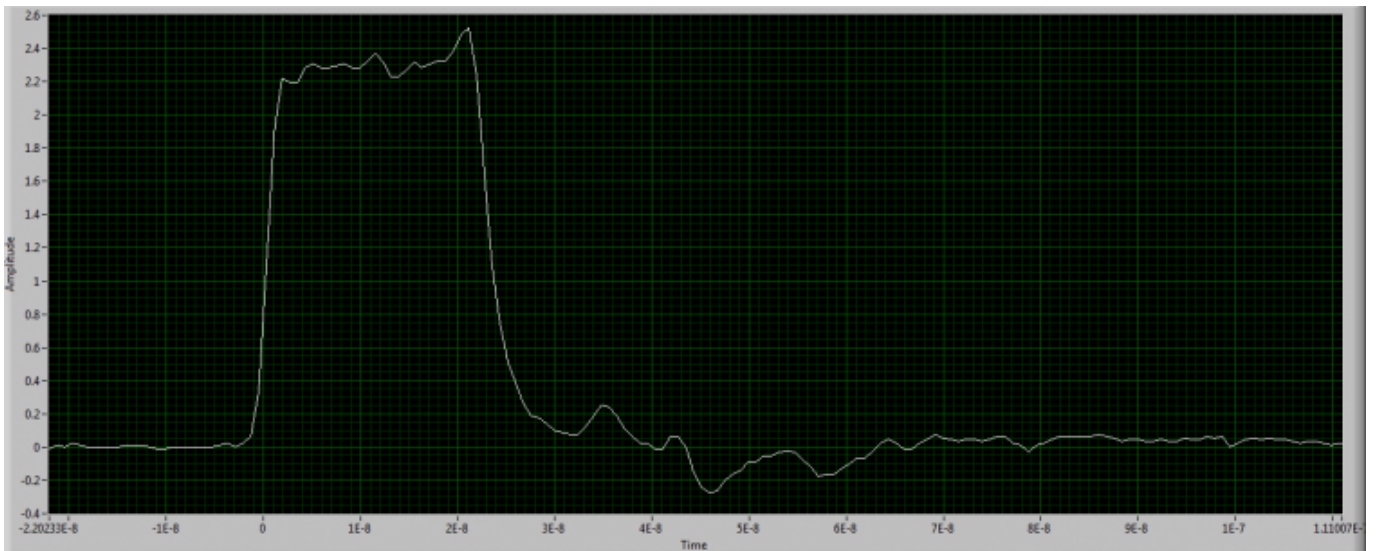


Bild 3.2 – Messung des kurzgeschlossenen Koaxialkabels

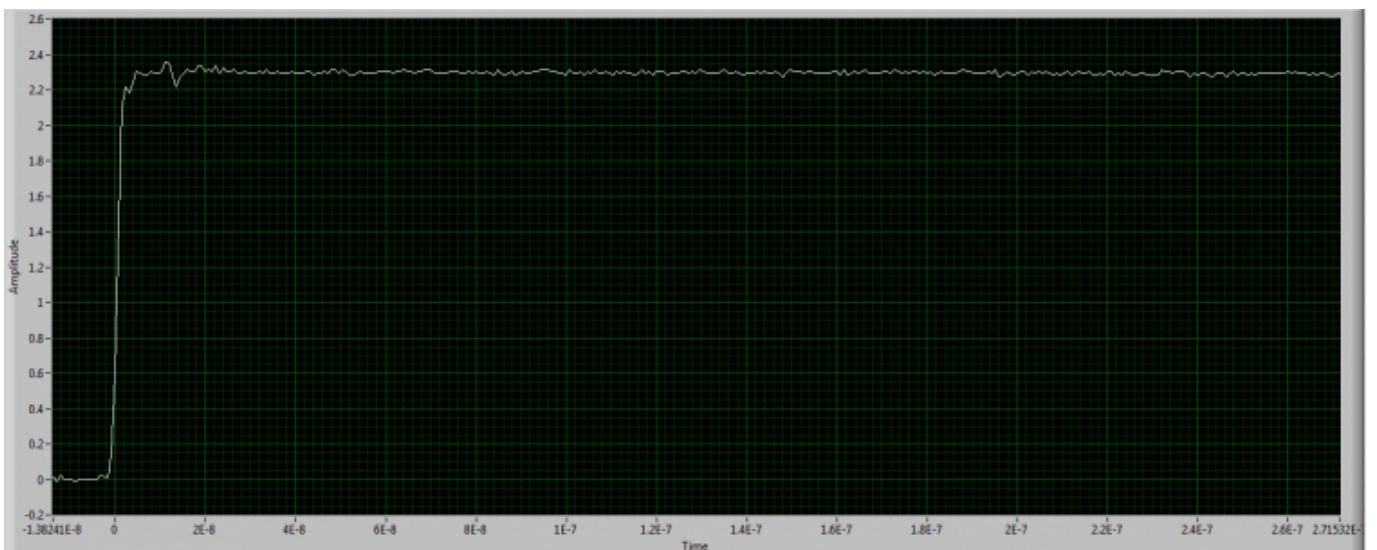
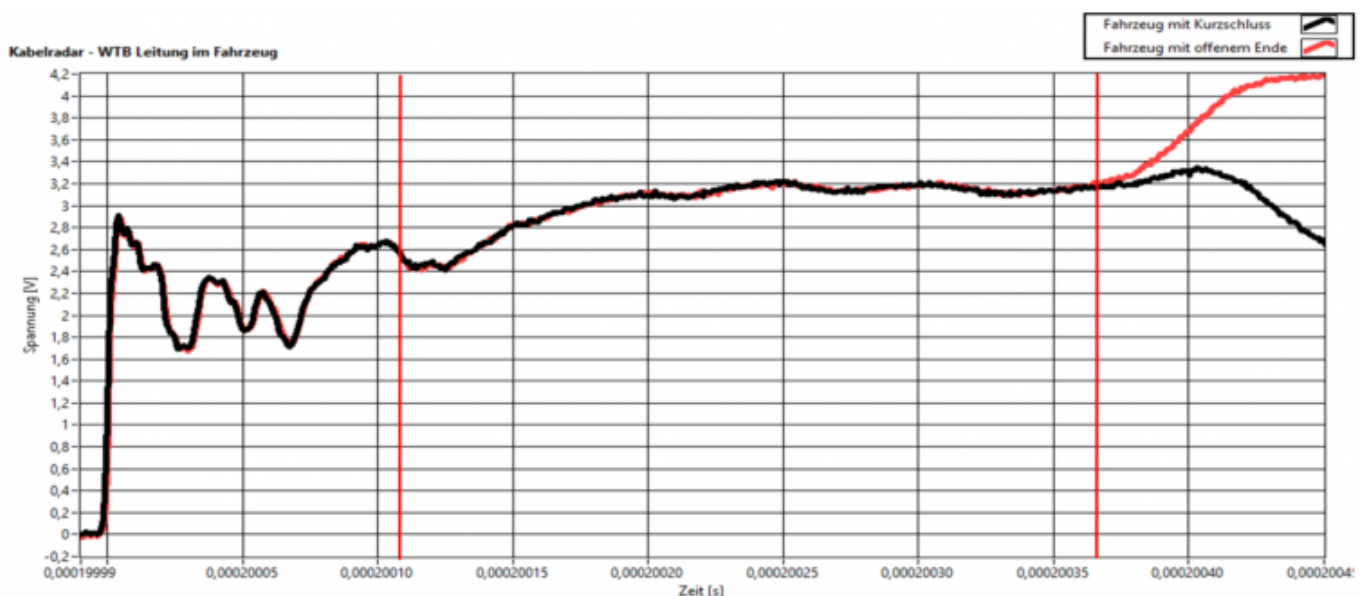


Bild 3.3 – Messung des terminierten Koaxialkabels

## Messungen am Fahrzeug

Am Eisenbahnwagen ist das gemessene Signal etwas komplizierter. Dies kommt daher, dass der Eisenbahnwagen nicht direkt an der T-Verzweigung der Messhardware angeschlossen ist. Es war notwendig, verschiedenen Verschaltungen und Sicherungen zwischen der Messhardware und dem Eisenbahnwagen auf einer Leiterplatte zu realisieren. Diese ermöglichen einen flexiblen Betrieb und schützen die empfindliche Messhardware vor den hohen Spannungen, welche in der Bahntechnik auftreten können. Jeder Übergang zwischen einem Verbindungskabel und einer Leiterplatte erzeugt jedoch eine Signalreflektion, da diese unterschiedliche Wellenwiderstände haben. Dadurch kommt es zu dem „wilden“ Signal am Anfang der Messung. Nach der 0,00020010 Sekunden Markierung erfolgt der Übergang in den Bahnwagen (linke rote Linie). Danach zeigt das Signal keine steilen Flanken auf, bis es kurz nach der 0,00020035 Sekunden Markierung den Zugwagen wieder verlässt (rechte rote Linie).

Zum Vergleich werden am Zugwagen werden zwei Kabelradarmessungen ausgeführt, welche verglichen werden. Der Bahnwagen wird zuerst ohne einen Kurzschluss ausgemessen. Danach wird an den zwei Messleitungen am Ende des Wagens ein Kurzschluss gesetzt und die Messung wird wiederholt. Aus dem Unterschied der beiden Messungen wird das Ende des Zugwagens ermittelt.



Da die Leitungen in einem Bahnwagen keine Koaxialkabel sind, hat das Impulssignal eine andere Geschwindigkeit. Diese muss über eine Kalibrationsmessung in einem Kabel mit bekannter Länge ermittelt werden. Ist die Pulsgeschwindigkeit in der Leitung bekannt, kann

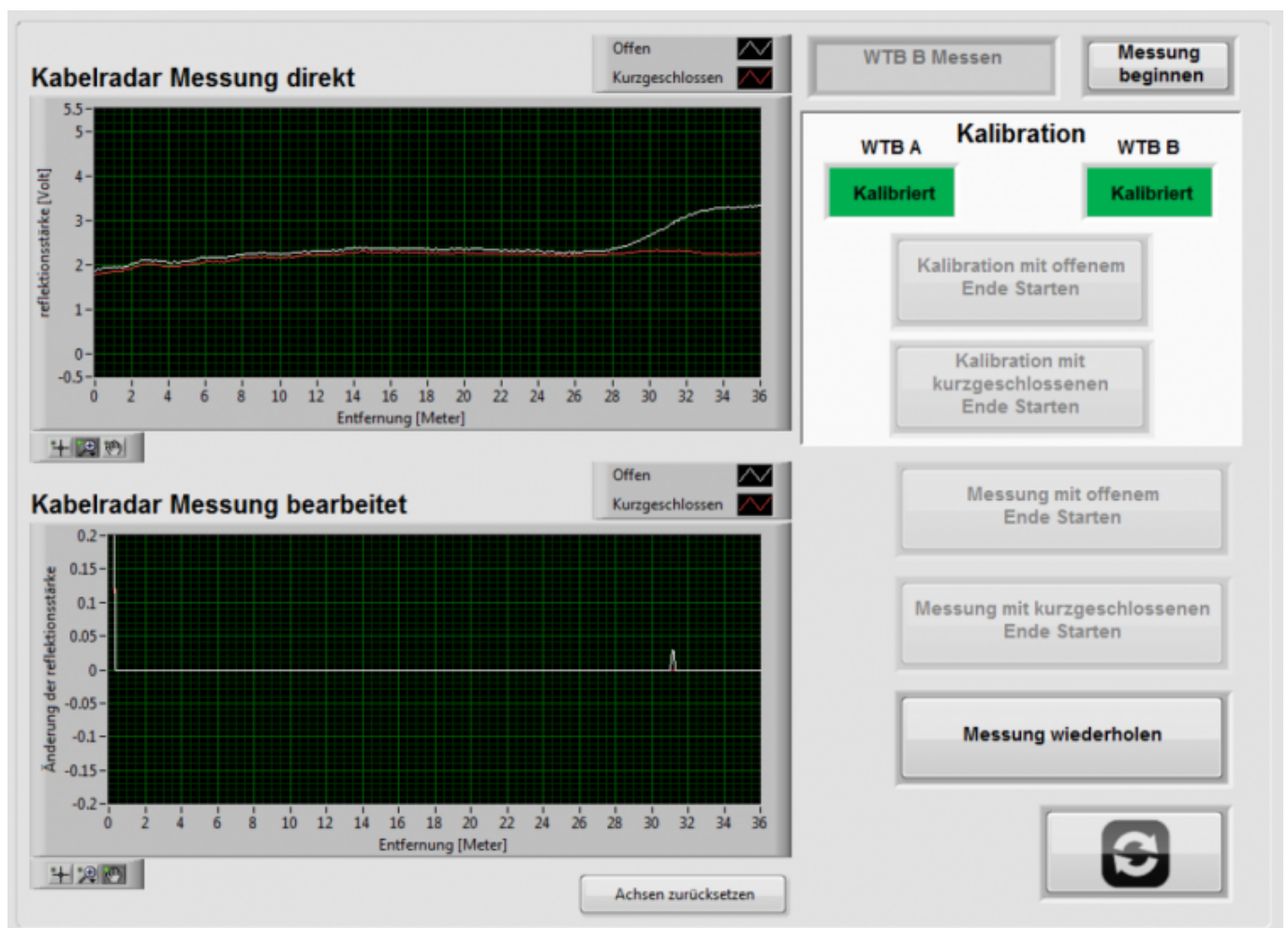
über die Reisezeit der Abstand zu einem Fehler ermittelt werden.

Besteht ein Kurzschluss oder ein Unterbruch in der geprüften Leitung, werden zwei Merkmale in dem gemessenen Kabelradar Signal auftreten:

- Die kurzgeschlossene und die nicht-kurzgeschlossene Messungen werden identisch sein. Das Impulssignal kommt nie an der Stelle im Bahnwagen an, die am Ende des Wagens in der zweiten Messung kurzgeschlossen wird. Dadurch wird zwei Mal die gleiche Konfiguration gemessen und die Reflektion ist in beiden Fällen identisch.
- Die steile Flanke, die das Ende des Bahnwagens signalisiert, wird früher im Signal auftreten. Und zwar an der Stelle, an dem der Fehler ist.

### Auswertungsmöglichkeiten

Es wird eine gefilterte Ableitung von dem Messsignal am Fahrzeug genommen. Dadurch wird ein Signal erzeugt, in welchem die Positionen mit steilen Flanken deutlich hervorgehoben werden.



### Grenzen

Die Slew Rate (Signalsteigung) des Impulssignals muss ausreichend hoch sein. Alle

Reflektionen werden die gleiche oder eine geringere Signalsteigung als dieses aufweisen. Je flacher ein Signal ist, desto schwieriger ist es, den genauen Zeitpunkt des Eintreffens zu bestimmen. Es ist daher zwingend notwendig, ein möglichst steiles Impulssignal zu erzeugen, damit die Reflektionen ein eindeutiges Signal liefern.

### **Weitere Anwendungen?**

Haben sie auch Erfahrung mit so einem System zur Leistungsdiagnose gemacht? Was sind Ihre Erfahrungen?