

Fehlersuche in LON-Netzwerken

Gerhard Stock, Nürnberg

30 Millionen Haushalte werden in Italien auf Basis von LonWorks vernetzt. Damit soll u. a. der Energieverbrauch jedes einzelnen Anschlusses schnell und kostengünstig erfasst werden. Ein Datennetz von solcher Dimension birgt neben dem technologischen Potential auch viele Fehlerquellen. Die effiziente Suche solcher Fehler, insbesondere in der Verkabelung, aber auch ihre Prävention, ist Inhalt des folgenden Artikels.

Bei LonWorks handelt es sich bekanntlich um ein dezentrales intelligentes Kontrollnetzwerk, das seine große Stärke in der Vernetzung von Sensoren, Aktoren und Reglern besitzt. LonWorks findet sich bereits in vielen Bereichen unseres täglichen Lebens wieder. So werden z. B. Autos oder Tankstellen vernetzt, medizinische Geräte gesteuert, der Kuhstall automatisiert, Bahnhöfe überwacht oder die Verbrauchsdaten eines ganzen Landes wie Italien erfasst. Der italienische Energieversorger ENEL verspricht sich mit der flächendeckenden Einführung der LON-Vernetzung ein effizienteres Abrechnungssystem und wird in Zukunft zusätzlich sog. Mehrwertdienste anbieten.

1 Ursachen für Fehler im LonWork-Netzwerk

Der Einsatz einer Technologie in solchen Dimensionen bringt auch Fehlerquellen mit sich. Deshalb ist eine umfassende Ausbildung und Schulung notwendig (siehe Kasten). Bei der Vernetzung von Komponenten sowie der Übertragung von Informationen über ein bit-serielles drahtgebundenes Medium muss mit Störquellen und Fehlern gerechnet werden, die die Datenübertragung negativ beeinflussen.

Viele ausführende Firmen (Systemintegratoren) haben vor allem bei der Umsetzung der ersten Projekte enorme Schwierigkeiten. Da auch niemand ein Intranet mit tausend Computern in Betrieb nehmen würde, nachdem er lediglich ein Buch von Microsoft über Systemadministration gelesen hat, nutzen LonWorks-Profis geeignete Schulungsmaßnahmen (s. Kasten).

1.1 Einteilung nach Fehlertyp

Betrachtet man Fehler, die bei der Installation oder dem Betrieb eines LonWorks-Netzwerks auftreten können, so lassen sich diese in zwei Gruppen abbilden (Bild 1):

Autor

Dipl.-Ing. Gerhard Stock ist LonWorks-Trainer bei der Fa. GWD Consult, Nürnberg.

- Globale Fehler
- Lokale Fehler.

Dabei sind manche Fehlertypen auch in beiden Gruppen zu finden oder bedingen sich gegenseitig. So kann etwa die defekte Hardware eines Transceivers (lokaler Fehler) Störungen auf dem Medium verursachen und damit die Kommunikation zwischen mehreren Knoten (globaler Fehler) beeinflussen. Umgekehrt kann ein Regler Fehlfunktionen aufweisen, wenn er durch zu hohen Datenverkehr nicht rechtzeitig Informationen der zugehörigen Sensoren erhält.

Eine umfassende Betrachtung der Fehlerquellen ist im Rahmen des vorliegenden Artikels nicht möglich. Die häufigsten Fehlerquellen im LON-Netzwerk sind jedoch:

- Kurzschlüsse oder Leerlauf bei drahtgebundenen Medien
- fehlende oder falsche Terminierung bei drahtgebundenen Medien
- Kabellänge über alles im Segment zu groß
- maximale Distanz zwischen zwei Knoten überschritten (drahtgebunden)
- Anzahl der Knoten pro Segment überschritten.

Konzentriert man sich auf diese Fehlerursachen, lassen sich mangelhafte Verkabelung (der am meisten auftretende Fehler mit einem Anteil von etwa 70 bis 80 Prozent) und zu hoher Netzwerkverkehr als Diagnose ableiten. Diese Fehler lassen sich in der Regel mit Hilfe eines Speicher-Oszilloskops oder eines Protokollanalyzers finden. Beim Einsatz eines Oszilloskops für Messungen im LonWorks-Netzwerk ist eine gewisse Vorgehensweise nötig, um das Gerät nicht zu beschädigen (siehe Kasten). Für die im Artikel erwähnten Aufnahmen wurde ein zweikanaliges Speicheroszilloskop der Firma Tektronix mit einer Auflösung von 100 MHz verwendet, dass galvanisch über den sog. NetPod vom LonWorks-Netz getrennt war.

1.2 Fehlersuche und Segment

Zum besseren Verständnis der Fehlersuche im LON-Netzwerk ist die Klärung des Begriffs „Segment“ wichtig.

Hiermit bezeichnet man den geschlossenen physikalischen Leitungsabschnitt eines drahtgebundenen Mediums (z. B. verdrehte Zwei-

globale Fehler

Betrifft eine Gruppe von Knoten...

- Fehler in der Verkabelung
- Spannungsversorgung
- Störquellen
- hoher Netzwerkverkehr

lokale Fehler

Betrifft das Verhalten einzelner Knoten...

- Hardware
- Software
- Konfiguration
- spezielles (Prüfsummen)

1 Einteilung der verschiedenen Fehlermöglichkeiten in einem LON-Netzwerk

INFO & KONTAKT

Eine **qualifizierte Schulung** für LonWorks im allgemeinen bzw. für die i.LON-Produktfamilie im speziellen bieten folgende Kurse:

- Einführung in die LonWorks Technologie (1 Tag)
- LonWorks Netzwerk Design (3 Tage)
- Nutzung des LonMaker Integrations-tools (2 Tage)
- LonWorks Netzwerke mit dem Internet verbinden (2 Tage)

Weitere Informationen und detaillierte Kursbeschreibungen finden sich unter: <http://www.echelon.com/support/training/de/courses/default.htm>

drahtleitung oder engl. Twisted Pair, abgekürzt TP) innerhalb eines Netzwerks.

Dieser muss korrekt terminiert sein und an seinem Ende sollte ein Router oder „Physical Layer Repeater“ (reiner Leistungsverstärker) sitzen.

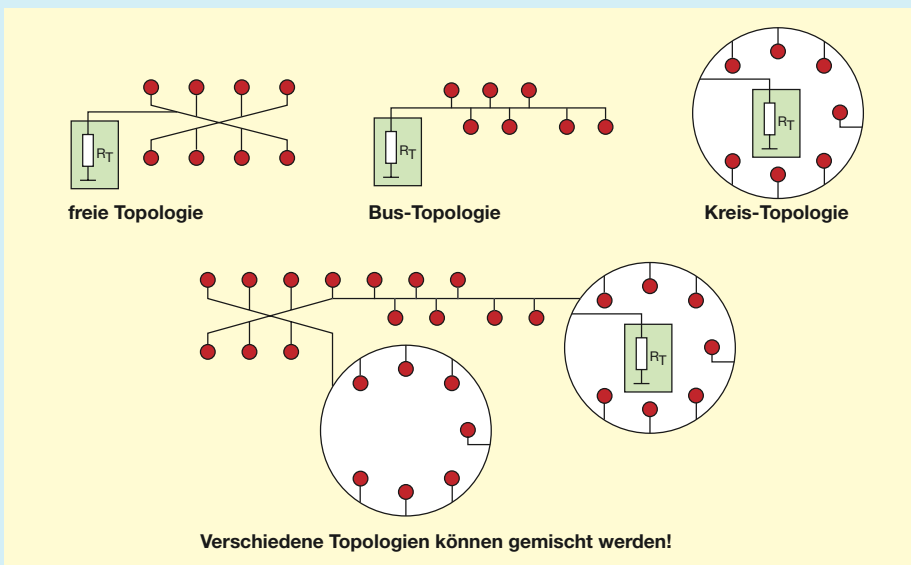
Das Segment gehorcht physikalischen Eigenschaften und Grenzen, die u.a. abhängig sind vom verwendeten Kabeltyp:

- Maximale Kabellänge im Segment
- Topologie
- maximale Anzahl von Knoten/Transceivern
- maximale Distanz zwischen zwei Knoten
- maximale Abzweigungslänge bei Bustopologie
- Typ, Anzahl und Platzierung der Terminatoren.

Ergänzend zu diesen Parametern sind auch die in Bild 3 angegebenen Werte für Leitungslängen wichtig.

Die obige Liste an Fehlern verursacht in der Regel Reflexionen im Medium und damit unter Umständen Auslöschung von Datensignalen oder eine zu starke Signaldämpfung.

Hinsichtlich der Topologie unterscheidet man grundsätzlich zwischen Bustopologie und



2 Verschiedene Leitungsführung in freier Topologie

FTT-10A in Bustopologie, zweifach terminiert		
Kabeltyp	Maximale Länge	Längeneinheit
Belden 85102	2700	Meter
Belden 8471	2700	Meter
Level IV, 22AWG	1400	Meter
JY(St)Y 2x2x0.8	900	Meter
TIA Category 5	900	Meter

FTT-10A in freier Topologie, einfach terminiert			
Kabeltyp	max. Entfernung zwischen 2 Knoten	Maximale Länge im Segment	Längeneinheit
Belden 85102	500	500	Meter
Belden 8471	400	500	Meter
Level IV, 22AWG	400	500	Meter
JY(St)Y 2x2x0.8	320	500	Meter
TIA Category 5	250	450	Meter

Abzweigungslänge (Stublength) bei Bustopologie: 3 m

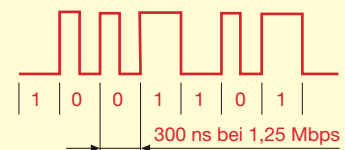
3 Verschiedene Kabeltypen in unterschiedlicher Topologie

Quelle: Echelon

PRAXIS-TIPP

Wichtig beim Anschluss eines Oszilloskops: Die Signalleitungen eines LonWorks-Netzwerks sind potenzialfrei. Das heißt, bei der Messung des Signalverlaufs über den Tastkopf eines herkömmlichen Oszilloskops würde durch den Masseanschluss des Geräts eine galvanische Verbindung zum Schutzleiter und damit zur „Erdung“ hergestellt werden. Dies führt zur Verfälschung der zu messenden Signale, beeinflusst massiv die Kommunikation und kann Netzwerkkomponenten oder das verwendete Oszilloskop zerstören, da durchaus hohe Ausgleichströme oder Potentialunterschiede mit einer Spannung bis in den kV-Bereich auftreten können. Abhilfe schafft u.a. die Verwendung eines differenziellen Tastkopfs und eines batteriebetriebenen Oszilloskops.

Eine Alternative stellen passive Koppler dar, die bei der Messung von Netzwerksignalen (Oszilloskop mit Standard-Tastkopf) die galvanische Trennung sicherstellen. Weitere Informationen sind verfügbar unter: <http://www.gwdcon.de>.



4 Codierungsschema des „Differential Manchester Coding“

freier Topologie. Die Bustopologie besitzt eine gerade Leitungsführung durch das Segment mit einer begrenzten Abzweigungslänge zu den einzelnen Knoten. Sie ist an **beiden Enden** im Segment zu terminieren.

Verschiedene Ausführungen in freier Topologie sind in Bild 2 dargestellt.

Bei der freien Topologie wird irgendwo im Segment terminiert, jedoch nur einmal!

Bild 3 zeigt eine Übersicht über die gängigsten Kabeltypen in den beiden genannten Topologien für die LonWorks-Standardtransceiver FTT-10A (FTT = Free Topology Transceiver) und LPT-10/11 (Link Power Transceiver). Dazu gilt:

- Maximale Anzahl FTT-10A Transceiver pro Segment: 64
- Maximale Anzahl LPT-10 Transceiver pro Segment: 128

Für andere drahtgebundene Transceiver wie TP/XF-1250 oder RS-485 gibt es analoge Spezifikationen, die aber hier nicht genannt werden sollen.

Eine weitere wichtige Eigenschaft zum besseren Verständnis der Oszilloskopbilder ist das Codierungsschema, in dem Bits und

Bytes auf TP-Medien übertragen werden. Man bezeichnet es als „Differential Manchester Coding“

Dabei unterscheidet man zwei Flanken, die Clockflanke, die immer den Beginn eines neuen Bits bezeichnet, und die Datenflanke, die bestimmt, ob das Bit eine „1“ oder eine „0“ darstellt. Dieses Schema ist in Bild 4 dargestellt.

Es handelt sich hierbei um einen sog. zweiphasigen Code, d. h. Bits, die eine „0“ darstellen, besitzen die doppelte Taktfrequenz. Durch dieses Schema ist die Übertragung verpolungssicher (relevant sind die Flanken und nicht die Pegel), gleichstromfrei für eine galvanische Trennung über einen Übertrager, tolerant gegen Pegelverschiebungen und selbsttaktend. Letzteres heißt, dass Takt- oder Clockinformationen im Code enthalten sind. Dies wird u. a. zur Synchronisation aller Transceiver im Segment genutzt. Dazu wird jedem Datenpaket eine so genannte Präambel vorgesetzt, die aus mindestens sechs mal einer „1“ bestehen, also einem sauberen Taktsignal mit einer Periodendauer von „3“ entsprechen.

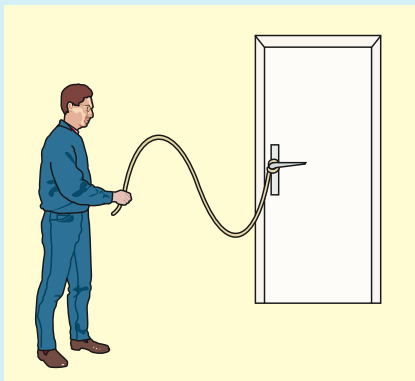
2 Auswirkungen von Fehlern auf das LonWork-Netzwerk

Im Folgenden betrachten wir die verschiedenen Fehlerquellen, die die Kommunikation beeinflussen oder ganz unmöglich machen. Anhand von Messergebnissen und Analyseausagen werden die konkreten Auswirkungen des jeweiligen Fehlers deutlich.

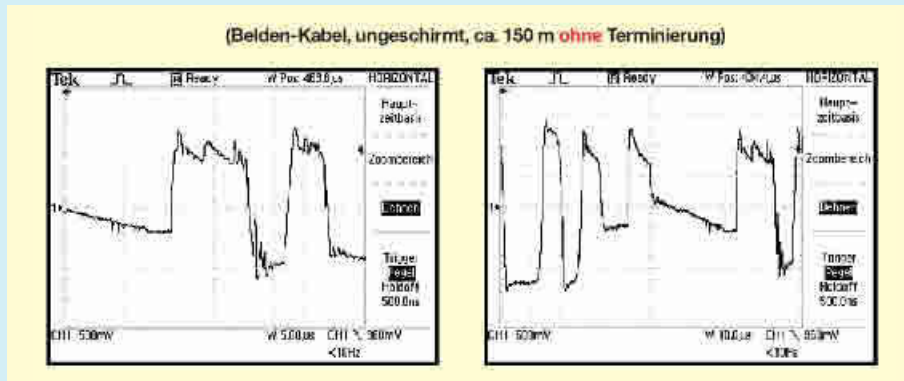
2.1 Reflexionen

Wie bereits ausgeführt wurde, müssen Segmente sauber terminiert werden. Die Funktion eines Terminators wird an einem einfachen physikalischen Experiment deutlich (Bild 5). Nimmt man ein Stück Seil und bindet dieses mit einem Ende an einen Türknäuf und bringt es am anderen Ende in Schwingung, so entsteht bei einer bestimmten Frequenz eine stehende Welle. Ursache hierfür ist die Überlagerung zwischen der Welle, die zum Türknäuf läuft, und der, die am Türknäuf als Reflexion zurückgeworfen wird.

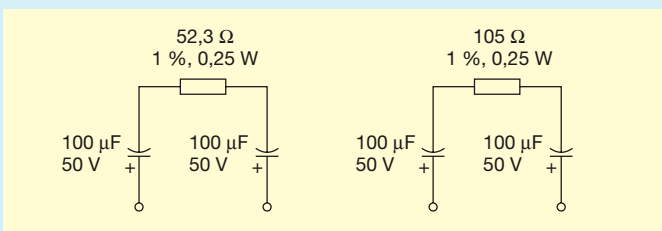
Ähnliches passiert nun mit elektrischen Schwingungen auch in einem LonWorks-Segment, wenn kein Terminator vorhanden ist. Es



5 Versuchsaufbau „Stehende Welle“

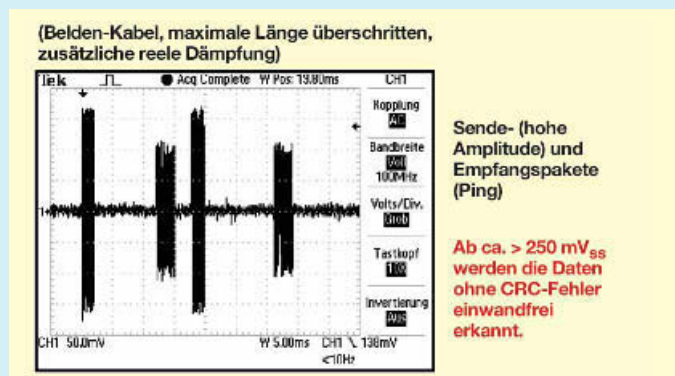


6 Reflexionen in einem LonWorks-Segment



7 Schaltbild eines Terminators für freie Topologie (links) und für Bustopologie (rechts)

8a Signaldämpfung in einem langen Kabel ▶



Sende- (hohe Amplitude) und Empfangspakete (Ping)

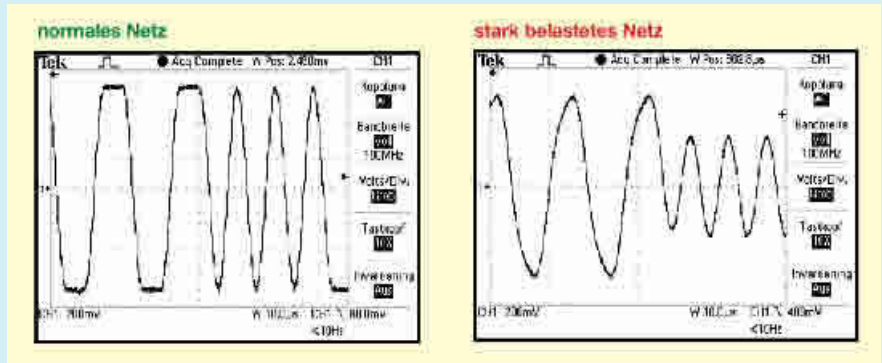
Ab ca. > 250 m_{ss} werden die Daten ohne CRC-Fehler einwandfrei erkannt.

gibt dann Bereiche, in denen die Kommunikation perfekt läuft (Schwingungsbauch) und andere Bereiche, in denen keine Kommunikation möglich ist (Schwingungsknoten).

In unserem Beispiel mit Seil und Türknauf kann ein einfacher Gummi (z. B. von einem Einmachglas) die Rolle des Terminators übernehmen. Wird er zwischen Seil und Türknauf befestigt, werden die Reflexionen so stark bedämpft, dass es zu keinen Überlagerungen kommt. Ähnlich ist nun die Aufgabe des elektronischen Terminators in einem LonWorks-Segment. Im Bild 6 sind Aufnahmen einer Datenleitung dargestellt, bei der keine Termination vorhanden ist. Man sieht sehr deutlich in der unteren Halbwellen auf der linken Oszilloskopaufnahme eine Reflexion mit hohen Frequenzanteilen, deren Amplitude über eine sog. e-Funktion abnimmt. Liegt die Anfangsamplitude der überlagerten Reflexion im Bereich der Schaltschwelle des FT1-10A Transceivers, führt das in unserem Beispiel dazu, dass eine zusätzliche Datenflanke (siehe Codierungsschema in Bild 4) erkannt wird und damit statt ein „1“- ein „0“-Bit. Das Datenpaket ist somit verfälscht und unbrauchbar.

Um dies zu detektieren, wird im LonTalk-Protokoll eine Prüfsumme (CRC für Cyclic Redundancy Check) übertragen. Das heißt, der Sender berechnet über den von ihm verschickten seriellen Datenstrom eine 16 Bit große Check- oder Prüfsumme und hängt diese am Ende des Pakets an.

Auf der Empfängerseite wird eine analoge Prüfsumme über das empfangene Bitmuster ermittelt und mit der im Paket verglichen. Sind beide identisch, war die Übertragung erfolgreich, ansonsten verwirft der Empfänger das



8b Signaldämpfung in einem langen Kabel

Paket und logged (speichert) einen CRC-Error. Dazu besitzt er in seinen internen Teststrukturen einen 16-Bit großen CRC-Error Zähler, der um eins inkrementiert wird. Damit ist klar, dass der korrekte Gebrauch von Terminatoren unumgänglich ist für eine saubere Kommunikation. Der Terminator wird zwischen beide Adern des Buskabels geklemmt und bedämpft gezielt die unerwünschten hochfrequenten Reflexionen (Bild 7). Terminatoren erhält man als einzelne Module bzw. als integrale Bestandteile von Routern oder Netzteilen (für LPT-10/11).

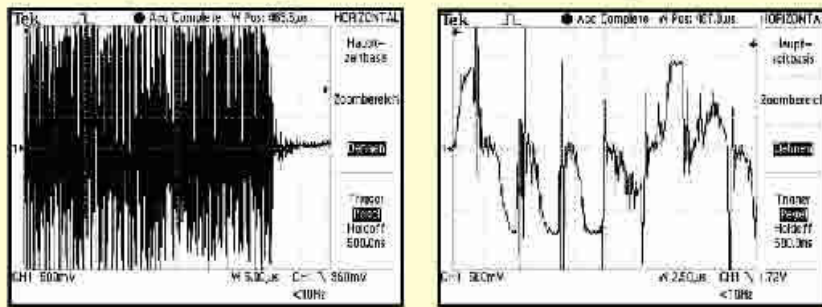
2.2 Zu große Leitungslängen

Sehr oft wird die zulässige Kabellänge innerhalb eines Segments überschritten. Je länger ein Kabel ist, desto mehr Widerstand besitzt es zwischen beiden Enden und desto größer ist die Kabelkapazität, die bei Wechsel der Signalpegel umgeladen werden muss. Das führt dazu, dass Datensignale gedämpft, d. h. in ihrer Leistung reduziert werden.

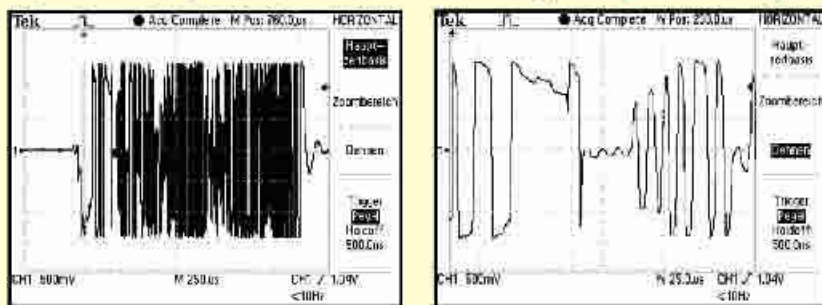
So besitzt beispielsweise ein J-Y(St)Y...Lg (Cu-Leiter, 0,8 mm Leitungsdurchmesser) einen Schleifenwiderstand von rund 72,3 Ω/km und einen Kapazitätsbelag von rund 69pF/m. Der Einfluss dieser Kabeleigenschaften ist deutlich in den Bildern 8a und 8b zu sehen. Hierzu wurde folgendes Experiment durchgeführt. An ein Kabel mit unzulässiger Länge wurde an beiden Enden ein LonWorks-Knoten installiert und eine Kommunikation (Ping) zwischen beiden gestartet. Das Oszilloskop wurde dabei am Sendeknoten angeschlossen. In Bild 8a sieht man deutlich den Pegelunterschied zwischen gesendetem und empfangenem Paket.

Bild 8b macht dann den eigentlichen Effekt sichtbar. Durch den Widerstand und die Kapazität im Kabel werden Signalfanken verschliffen und immer mehr der Ladungskurve eines Kondensators ähnlich (rechter Teil der Abbildung 8b). Problematisch sind dabei die Bits, die eine „0“ repräsentieren (Anmerkung:

(Belden-Kabel, ungeschirmt, ca. 150 m ohne Terminierung)

**9 Störsignal aus dem 230V-Netz**

(Belden-Kabel, ungeschirmt, ca. 150 m ohne Terminierung), einadrige Unterbrechung

**10 Situation auf dem Medium bei einadriger Unterbrechung**

doppelte Frequenz durch das Codierungsschema, siehe Bild 4). Hier genügt die Zeit nicht mehr, damit das Signal die volle Amplitudenhöhe erreichen kann, so wie dies bei einer idealen Übertragung im linken Teil von Bild 8 b zu sehen ist.

Unter Umständen kann nun der Transceiver den Wert einzelner Bits überhaupt nicht feststellen und bricht den Empfang des Datenpakets ab. Intern zeichnet er wiederum einen CRC-Error auf.

Jeder Transceiver stellt eine gewisse kapazitive Last am Bus dar. Dies ist der Grund dafür, dass pro Segment nur eine gewisse Anzahl von Knoten im Maximum zulässig ist. Wird diese Grenze überschritten, so ergibt sich ein analoges Fehlerbild.

2.3 Hochfrequente Störquellen

Eine dritte häufig auftretende Fehlerquelle sind hochfrequente Störungen durch Funkstrecken oder Schaltvorgänge insbesondere bei induktiven Lasten. Das vorliegende Bild 9 zeigt einen Burst (Störimpuls), wie er entsteht, wenn man z. B. einen Stecker aus einer 230 V-Steckdose langsam herauszieht. Der Abrissfunken induziert im Kabel einen hochfrequenten Burst, dessen Signalfrequenz bis in den Gigahertz-Bereich reicht. Das verwendete Oszilloskop war nicht in der Lage, diese hohen Frequenzen aufzulösen, daher sind im Bild 9, rechte Seite, nur überlagerte Nadelimpulse zu sehen. Auch diese Störimpulse verhindern Übertragungen und stören somit die Kommunikation im Netzwerk.

Ein Netzwerk lässt sich nie so schirmen, dass

überhaupt keine Störsignale einwirken können. Vielmehr ist es wichtig, die Ursache oder Quelle der Störungen zu lokalisieren und ihren Einfluss so weit wie möglich zu reduzieren oder im besten Falle ganz zu beseitigen. Treten nur vereinzelt Störimpulse auf, so genügt es oft, wenn in den betroffenen Segmenten der Servicetyp Acknowledged (bestätigt) bei Übertragungen verwendet wird. Geht ein Paket verloren, so merkt dies der Sender, da er keine Empfangsbestätigung vom Empfänger erhält, und wiederholt das Paket.

2.4 Einadrige Leitungsunterbrechung

Als nächstes wird ein eher seltenes Fehlerphänomen untersucht: Die Unterbrechung einer Ader des drahtgebundenen Mediums (z. B. bei TP-Medien). Wurde falsch oder gar nicht terminiert, so ist ein Sender auf Grund des differentiellen Übertragungsverfahrens tatsächlich in der Lage, einzelne Nachrichten erfolgreich zu verschicken. Die meisten seiner Nachrichten gehen aber durch kleinste EMV-Störungen verloren. Bild 10 zeigt diese Situation. Betrachtet man die rechte Seite in Bild 10, so kann man einigermaßen klar die „1“- und „0“-Bits im Datenstrom erkennen. Ganz rechts ist ein Störimpuls von außen aufgetreten, der die Übertragung zunichte macht. Auch hier der Hinweis, stets sauber und korrekt zu terminieren, um eine solche Fehlersituation zu vermeiden.

2.5 Zu viele Busteilnehmer senden

Ein Netzwerk selbst kann ebenfalls die Ursache von Störungen sein. Immer dann, wenn

ein hoher Datenverkehr im Netzwerk existiert, kann es zu Fehlern kommen.

Ein bestimmtes Medium hat natürlich nur eine maximale Anzahl von Bits, die pro Sekunde bitseriell übertragen werden können. Durch das in der LonWorks-Technologie eingesetzte Buszugriffsverfahren CSMA (Carrier Sense Multiple Access), fragt jeder Knoten, bevor er sendet, den Bus ab, ob ein anderer Knoten bereits seinerseits Daten überträgt.

Dennoch lässt sich die Wahrscheinlichkeit für Kollisionen und damit Datenverlust nicht auf Null reduzieren, d.h. Kollisionen sind normal für das LonTalk-Protokoll. Man muss natürlich für die Fehleranalyse die Bandbreitenauslastung in Relation zur Anzahl der Kollisionen sehen, um eine Aussage über einen Fehlerfall zu machen.

Fakt ist jedoch, dass auch der Busverkehr unter Umständen eine Art Störquelle sein kann, die im schlimmsten Fall die Nutzdatenrate, d.h. die Anzahl der korrekt übertragenen Pakete, stark beeinflussen kann. Die aktuelle Datenauslastung ist somit ebenfalls eine wichtige Größe und müsste eigentlich permanent überwacht werden.

2.6 Kabelunterbrechung, keine Kommunikation

Kabelbrüche können bei spannungslosem Medium mit einem Widerstandsmessgerät ermittelt werden. Am einen Ende eines Segments werden die Leitungen „gebrückt“ und am anderen Ende gemessen. Der gemessene Widerstand sollte deutlich kleiner als unendlich sein. Terminierung oder Transceiver können angeschlossen bleiben, da diese kapazitiv getrennt sind und keinen Einfluss auf das Messergebnis haben.

3 Fazit

Es wurden eine Reihe von Fehlermechanismen in LonWorks-Netzwerken beschrieben, die die Kommunikation und damit die korrekte Funktion erheblich beeinflussen können. Vielfach zeigt sich, dass gerade bei der Verkabelung vermeidbare Fehler gemacht werden, deren Analyse und Beseitigung teilweise enorm hohe Kosten verursachen.

Es ist dringend anzuraten, dass Firmen, die Subunternehmen beispielsweise mit der Installation von Kabeln und Geräten betrauen, von diesen einen entsprechenden Kenntnissnachweis fordern und darüber hinaus auch auf eine ordnungsgemäße Protokollierung der Arbeiten inklusive Dokumentation (Massenermittlung, Elektroplan usw.) bestehen.

Bereits mit einfachen Mitteln (Oszilloskop, NetCheck) lassen sich Fehler frühzeitig erkennen und die Qualität einer Installation verifizieren. Dann lohnt sich auch der Einsatz von LON!