

White Paper



Einfluss von 10GBASE-T auf die Verkabelung



Convincing cabling solutions

Einfluss von 10GBASE-T auf die Verkabelung

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung.....	3
2.	Kurzzusammenfassung	3
3.	Das 10GBASE-T Protokoll.....	4
4.	Das Erdungssystem.....	6
	4.1. Koppelverhalten zwischen Kabel und Erdungssystem	6
	4.2. Gleichtaktstörungen aus dem Erdungssystem	7
5.	Ermöglicht Kat. 7 höhere Systemreserven?	10
6.	Die Shannon Kanalkapazität	11
7.	Schlussfolgerung	13
8.	Empfehlung.....	13
9.	Weitere Informationen	13

© Copyright 2005 Reichle & De-Massari AG (R&M). Alle Rechte vorbehalten.

Weitergabe und Vervielfältigung dieser Publikation oder von Teilen daraus sind, zu welchem Zweck und in welcher Form auch immer, ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung durch Reichle & De Massari AG nicht gestattet. In dieser Publikation enthaltene Informationen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Erstellung dieses Dokuments erfolgte mit grösstmöglicher Sorgfalt, es enthält den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen technischen Stand. Technische Änderungen vorbehalten.

1. Einführung

Mit 10GBASE-T erarbeitet IEEE ein Protokoll, das die Übertragungsgeschwindigkeit über verdrehte Kupfer-Datenkabel in Dimensionen erhöhen wird, welche noch vor kurzer Zeit unerreichbar erschienen. Die Möglichkeiten heutiger digitaler Signalverarbeitung und Kodierungstechniken haben diesen Fortschritt möglich gemacht.

Aber: Die Möglichkeiten des Übertragungskanal, d.h. der Kupferverkabelung, werden durch dieses Protokoll vollständig ausgeschöpft werden. Dadurch werden vorhandene Schwachstellen in der Verkabelung offenbart werden.

Anwendung:	Enterprise Cabling
Technologie:	10GBASE-T
Format:	White Paper
Themen:	10GBASE-T, Geschirmt – Ungeschirmt, Kat. 6 – Kat. 7, Alien NEXT, Erdungssystem
Ziel:	Investitionsschutz, Argumente für die Entscheidungsfindung
Zielgruppe:	Planer, Endkunden, Entscheidungsträger für die Wahl zukünftiger Verkabelungen
Autor:	Matthias Gerber
Erschienen:	September 2005

Mit Hilfe der von IEEE veröffentlichten Informationen lassen sich die Grenzen der unterschiedlichen Verkabelungssysteme erkennen und einige der brennendsten Fragen im Verkabelungsbereich beantworten:

- Soll man geschirmte oder ungeschirmte Verkabelung einsetzen?
- Wenn geschirmt, wie gut muss der Schirm sei?
- Welche Anforderungen sind an das Erdungssystem zu richten?
- Gibt Kat. 7 / Klasse F mehr Zukunftssicherheit?

Dieses White Paper soll eine produktneutrale Hilfestellung für die Beantwortung der oben gestellten Fragen sein und bei der Entscheidungsfindung für das optimal an die Kundenbedürfnisse angepasste Verkabelungssystem helfen.

Die Argumentationen basieren auf nachvollziehbaren physikalischen Gesetzmässigkeiten und den Spezifikationen gemäss den relevanten Normen.

2. Kurzzusammenfassung

Im Folgenden wird gezeigt werden, dass:

- das Erdungssystem in einem Gebäude, bzw. die Störungen welche auf dem Erdungssystem transportiert und abgeleitet werden, ein entscheidender Faktor für die fehlerfreie Funktion von 10GBASE-T ist.
- das auch ein ungeschirmtes (UTP) System Störungen vom Erdungssystem aufnimmt und darum ein gut geschirmtes System ein bis zu 50mal höheren Störlevel zulässt.
- bei einem gut geschirmten System ein normgerechtes Arbeiten beim Erdungssystem (Potentialdifferenz 1V) ausreicht um die 10GBASE-T Funktionalität sicherzustellen.
- normgerechtes Arbeit beim Erdungssystem nicht ausreicht um 10GBASE-T bei einem U-UTP System sicherzustellen und dass darum zusätzlicher Aufwand für das Erdungssystem zwingend ist
- die Rückflusssdämpfung der interne Parameter ist welcher die Übertragungsleistung begrenzt.
- eine Klasse F Verkabelung gegenüber einer Klasse E Verkabelung keine potentiell höhere Bandbreite bzw. Mehrwert bietet.
- eine Klasse E Verkabelung das optimale Preis/Leistungsverhältnis aufweist
- eine geschirmte Klasse E Verkabelung die sichere Lösung zur Erreichung von 10GBASE-T ist.

3. Das 10GBASE-T Protokoll

Der für Übertragungseinrichtungen wichtigste Parameter ist die Einfügedämpfung des Übertragungskanals. Sie bestimmt wie gross die Signalstärke ist, welche am Empfänger zur Detektion der Information zur Verfügung steht.

Bei einer verdrehten Datenleitung nimmt diese Einfügedämpfung (in dB) mit steigender Frequenz stark zu. Leider ist dies eine Eigenschaft, die nur in sehr beschränktem Mass durch die Produzenten der Kabel verbessert werden kann: durch grössere Kupferquerschnitte, spezielle Isolationsstoffe etc. Die durch die Normen definierten Werte der unterschiedlichen Verkabelungsklassen unterscheiden sich dementsprechend auch nur geringfügig voneinander (siehe Bild 1).

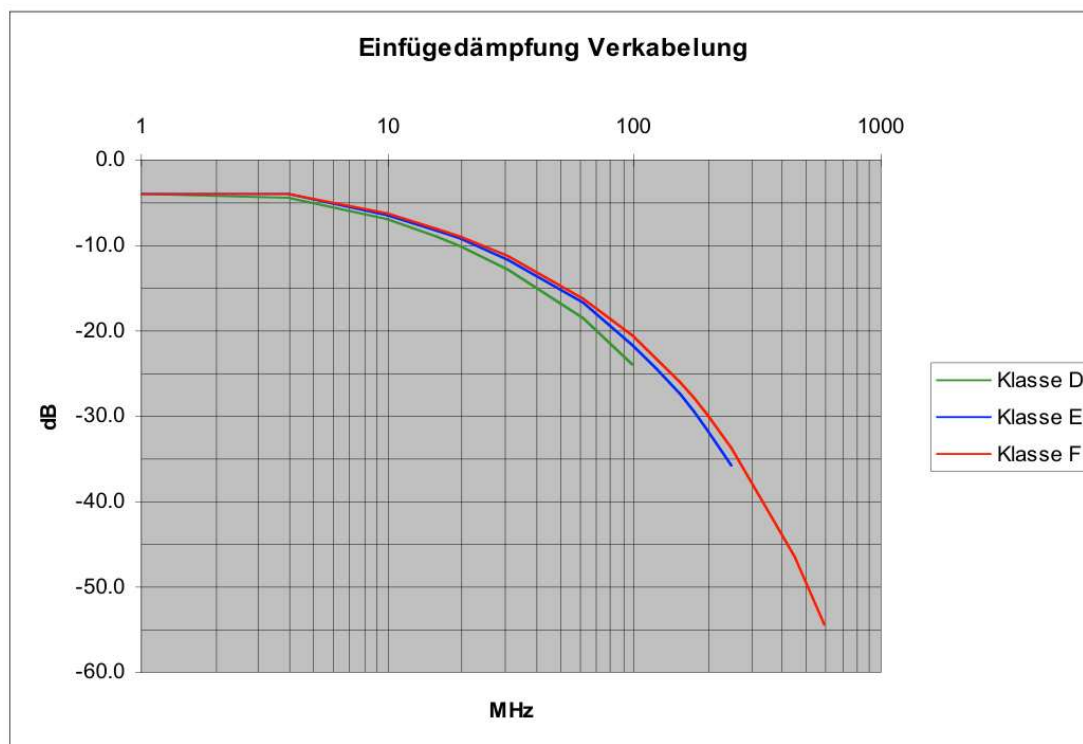


Bild 1: Einfügedämpfung gemäss ISO/IEC 11801(2002)

IEEE unternimmt darum alle Anstrengung, die benötigten Übertragungsfrequenzen möglichst tief zu halten, um ein möglichst grosses Signal am Empfänger auswerten zu können. Erreicht wird dies durch den Einsatz immer ausgeklügelter Modulations- und Kodierverfahren. Man versucht dabei, immer mehr Bits in eine Zustandsänderung des Übertragungssignals zu packen. Zudem werden bei 1000BASE-T und 10GBASE-T alle 4 Paare gleichzeitig im Vollduplex-Verfahren betrieben. D.h. das Senden und Empfangen der Daten erfolgt auf demselben Paar und jedes Paar überträgt $\frac{1}{4}$ der Gesamtdatenrate. Aus EMV Gründen möchte man keine Sendesignale grösser als $\pm 1V$ verwenden.

Bei 100BASE-TX wird das MLT 3 Verfahren verwendet, welches eine Zustandsänderung von 1V für die Übertragung eines Bit 1 verwendet. Es ergibt sich eine Übertragungsfrequenz von 31.25 MHz. 1000BASE-T verwendet bereits ein PAM 5 Verfahren (Pulse Amplituden Modulation), d.h. das Sendesignal kann 5 unterschiedliche Zustände annehmen, wobei jeder Zustand 2 Bit repräsentiert. Eine minimale Zustandsänderung beträgt nur noch 0.5V bei einer Frequenz von 62.5MHz.

10GBASE-T verwendet voraussichtlich eine DSQ 128 genannte Sonderform von PAM16 (es umfasst prinzipiell 16 Stufen, wobei nach einer ausgeklügelten Funktion nicht alle möglichen Zustände benutzt werden). Die minimale Zustandsänderung ist hier 0.13V bei einer Frequenz von 400MHz (siehe Bild 2).

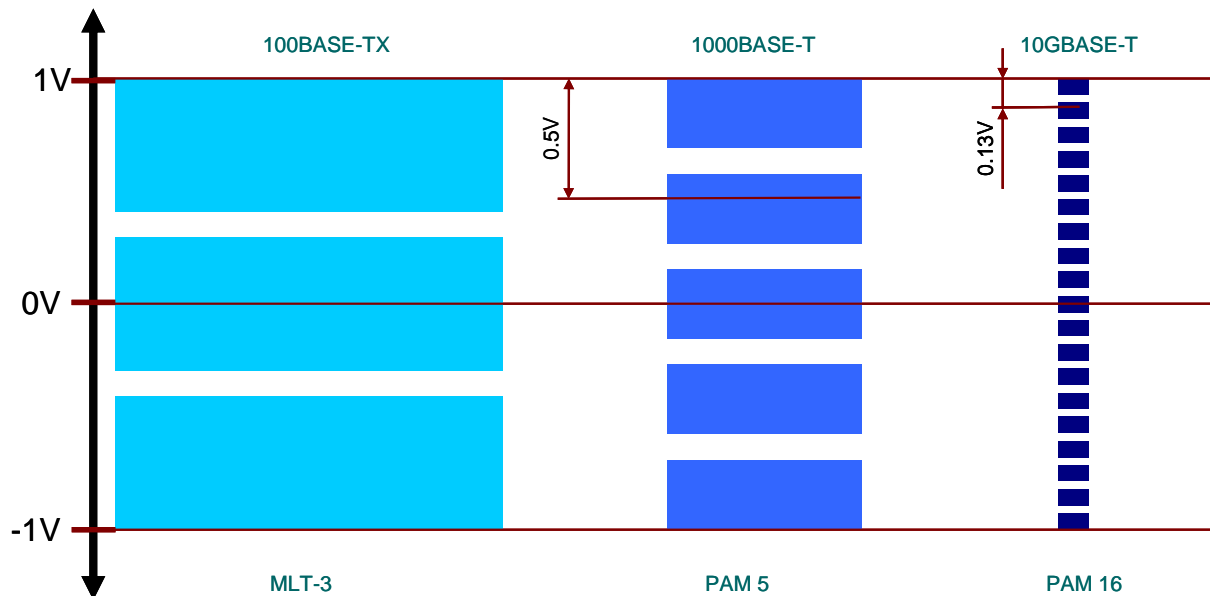


Bild 2: Darstellung des Sendesignals unterschiedlicher Übertragungsprotokolle

Schaut man das Signal nach 100m Verkabelung auf der Empfängerseite an, ist der Unterschied sofort ersichtlich. In Folge der grösseren Dämpfung bei höheren Frequenzen sind die unterschiedlichen Signale verschieden stark reduziert. Hat der Empfänger bei 100BASE-TX noch einen Signalunterschied von 0.24V zur Auswertung eines Bits zu Verfügung, sind es bei 1000BASE-T noch 0.07V und bei 10GBASE-T wird nur noch 0.0006V übrig bleiben (siehe Bild 3)

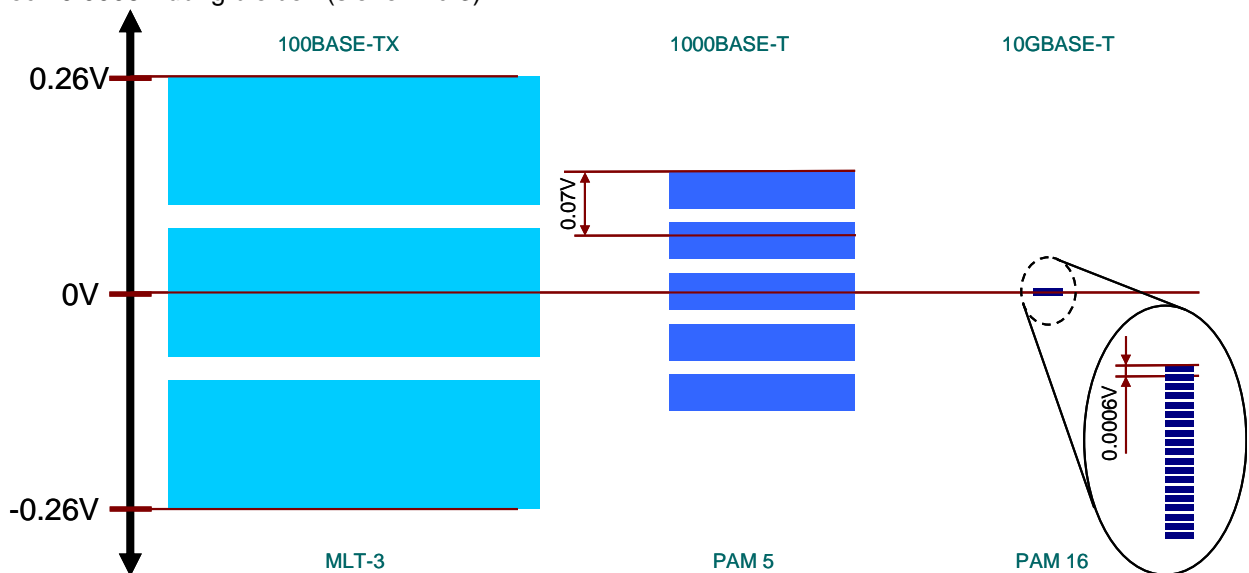


Bild3: Darstellung des Empfangssignals unterschiedlicher Übertragungsprotokolle

Auf Grund dieser Grössenverhältnisse ist klar, dass beim 10GBASE-T möglichst keine Störsignale zum Empfänger gelangen dürfen.

Mit einer hoch entwickelten Störsignalunterdrückung hat IEEE die Basis gelegt, um 10 GBit/s Datenrate zu erreichen. Mittels digitaler Signalverarbeitung (DSP) werden die selbst (intern) generierten Störungen – Nahnebensprechen NEXT, Fernnebensprechen FEXT und Rückflusdämpfung RL – herausgerechnet. Während einer Initialisierungsphase werden die Einflüsse ausgemessen und abgespeichert, die die Datenübertragung auf einem Paar auf sich selber beziehungsweise auf die anderen Paare hat. Im Einsatz werden immer dann, wenn eine Datenübertragung auf diesem Paar stattfindet, die gespeicherten Werte bei den anderen Paaren subtrahiert.

Die Elektronik verbessert also sozusagen künstlich das Übertragungsverhalten der Verkabelung. Gemäss Angaben von IEEE können durch dieses Verfahren in etwa folgende Verbesserungen erzielt werden:

- NEXT 40 dB
- FEXT 25 dB
- RL 55 dB

Diese Art von Störsignalreduktion kann nur funktionieren, wenn der Empfänger genau weiss, zu welchem Zeitpunkt er das Korrektursignal subtrahieren muss und wie gross das Korrektursignal ist. Diese Voraussetzungen sind verständlicherweise nur innerhalb eines Übertragungssystems gegeben. Störungen von ausserhalb, wie Gleichtaktstörungen vom Erdungssystem oder Übersprechen zwischen benachbarten Verkabelungen, können so nicht unterdrückt werden.

Aus diesem Grund haben zuvor nicht spezifizierten Parameter im Zusammenhang mit 10GBASE-T eine entsprechende Bedeutung erlangt. Im speziellen sind es das Fremdübersprechen am nahen Ende (Alien Near End Crosstalk, ANEXT) und das Fremdübersprechen am fernen Ende (Alien Far End Crosstalk, AFEXT). In diesem Zusammenhang sei auf weiterführende White Papers von R&M zu diesem Thema verwiesen.

IEEE hat die Anforderungen an eine 10GBASE-T-taugliche Verkabelung im derzeit entstehenden Normenpapier beschrieben. Die neueste Version ist der Entwurf 802.3an Draft 2.1. Auch die entsprechenden Normengruppen im Verkabelungsbereich haben die Arbeit an Normen und Technischen Reports begonnen, z.B. ISO/IEC TR 24750. Die Einhaltung dieser Spezifikationen ist zwar keineswegs trivial, wird aber für die folgende Diskussion vorausgesetzt.

4. Das Erdungssystem

4.1. Koppelverhalten zwischen Kabel und Erdungssystem

Vielfach wird vom Anwender erwartet bzw. von gewissen Herstellern suggeriert, dass ein ungeschirmtes Verkabelungssystem völlig unabhängig vom Erdungssystem des Gebäudes betrieben wird. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn die Verkabelung durch die Luft oder in einer hölzernen Struktur geführt wird und die Endgeräte mit Batterien betrieben werden. Das ist offensichtlich in realen Einsatzbedingungen kaum anzutreffen!

Wird eine ungeschirmte Verkabelung in einem metallischen Kanal geführt oder in die Nähe der Gebäudestruktur gebracht, wird es eine Kopplung zwischen der Verkabelung und der notabene geerdeten Gebäudestruktur geben.

Eine Messung im R&M Labor zeigt die Grösse der Kopplung zwischen einem metallenen Kabelkanal und einem darin liegenden U-UTP Kabel (Bild 4). 0dB entspricht dabei totalem Übersprechen; die Störungen auf dem U-UTP Kabel und dem Kabelkanal sind gleich gross. 100dB entsprechen keinerlei Übersprechen; die Störungen auf dem Kabelkanal springen nicht auf das U-UTP Kabel über.

Sowohl das Kat. 5e (Cable1) wie auch das Kat. 6 Kabel (Cable2) zeigen im für die 10GBASE-T Datenübertragung wichtigen Frequenzbereich von 1-100 MHz nur einen marginalen Schutz vor Einstrahlungen. Das heisst, was immer an Störsignalen in diesem Frequenzbereich auf dem Erdungssystem vorhanden ist wird praktisch ungedämpft als Gleichtaktstörung auf das U-UTP Kabel übertragen.

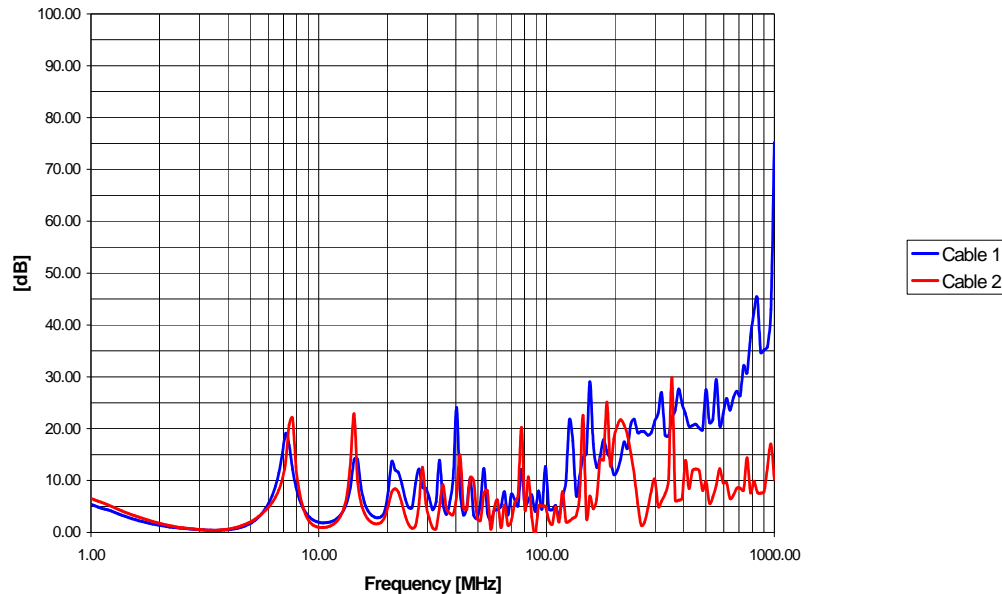


Bild 4: Koppelverhalten eines metallenen Kabelkanals auf zwei unterschiedliche U-UTP Kabel

4.2. Gleichtaktstörungen aus dem Erdungssystem

Mit dem Koppelungswert zwischen Kabel und Kanal und mit der Kenntnis des Übertragungsprotokolls lässt sich nun abschätzen, wie gross der Störungswert auf dem Erdungssystem sein darf bevor mit einer Beeinträchtigung der Datenübertragung zu rechnen ist.

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass bei einem Empfänger eine Fehlinterpretation der übertragenen Daten stattfinden kann, wenn ein vorhandenes Störsignal in etwa gleich gross ist wie das Empfangssignal. Bei 10GBASE-T ist dies – siehe oben – bei 0.0006V @ 400MHz der Fall. Bei tieferen Frequenzen ist wegen der langsameren Anstiegszeit der Störung ein proportional höherer Störlevel erlaubt (blaue Linie in Bild 5). So etwa 0.0024V @ 100 MHz ($400\text{MHz}/100\text{MHz} \cdot 0.0006\text{V}$).

Dieser Störlevel entspricht der Spannung, die zwischen den beiden Leitern eines Paares auftreten darf (Gegentakt). Die Störungen von aussen wirken aber gleichzeitig auf beide Leiter eines Paares (Gleichtakt). In einem Kabel können sich die beiden Signalarten ineinander umwandeln. Die Umwandlung wird mit dem Symmetriefaktor (Transvers Conversion Loss; TCL) beschrieben. Er wird in den Verkabelungsnormen definiert und ist für alle Verkabelungskategorien gleich (z.B. 20 dB @ 100 MHz). Damit liegt der erlaubte Gleichtakt-Störlevel auf den beiden Leitern eines Kabels bei 0.024V @ 100 MHz (rote Linie Bild 5).

Der Eingangstransformator des Empfangssystems besitzt ebenfalls nur eine beschränkt Symmetrie. Darum erlaubt IEEE nur einen definierten Level von Gleichtaktstörung (türkisfarbige Linie in Bild 5). Für die Anwendung relevant ist also die jeweils tiefere Anforderung (Rot und Türkis in Bild 5).

Nimmt man durchschnittliche 6dB Koppeldämpfung zwischen U-UTP Kabel und Kabelkanal / Gebäudestruktur an, ergibt sich z.B. ein erlaubtes Störsignal auf dem Erdungssystem von 0.048V @ 100 MHz (grüne Linie).

Im geschirmten System wirkt zusätzlich zur Symmetrie des Kabels noch die so genannte Schirmdämpfung. Sie liegt nach Erfahrungswerten für das gesamte Verkabelungssystem zwischen 20dB (für F-UTP) und 40dB (für S-FTP). Da der Schirm selbst geerdet ist, ersetzen die 20dB bzw. 40dB die 6dB Koppeldämpfung Kanal-Kabel des ungeschirmten Systems. Damit werden erlaubte Störwerte auf dem Erdungssystem von 0.24V @ 100MHz bzw. 2.4V @ 100MHz (rosa und violette Linie in Bild 5) erreicht.

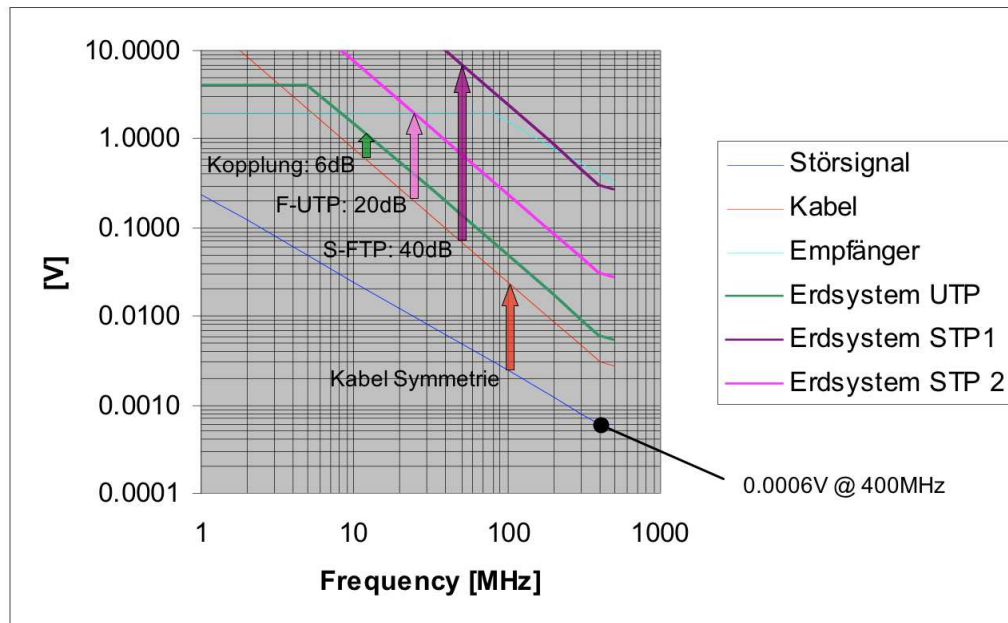


Bild 5: Erlaubter Störungslevel auf dem Erdungssystem für 10GBASE-T Verkabelungen

Aus dem Vergleich dieser Kurven ist ersichtlich, dass ein sauber geschirmtes S-FTP Kabel einen etwa 50x besseren Schutz vor Störungen auf dem Erdungssystem bietet wie eine ungeschirmte Verkabelung (siehe Bild 6). In den Verkabelungsnormen ist vorgeschrieben, dass das Erdungssystem innerhalb eines Gebäudes so gut ausgelegt sein muss, dass im Betrieb zwischen zwei Punkten dieses Systems nie eine Spannung von mehr als 1V auftritt. Vergleicht man die Kurven in Bild 6 mit diesem Grenzwert von 1V erkennt man, dass der normgerechte Aufbau des Erdungssystems bei U-UTP vor Störungen bis ca. 13MHz, bei F-UTP vor Störungen bis ca. 40MHz und bei S-FTP vor Störungen bis ca. 180MHz schützt.

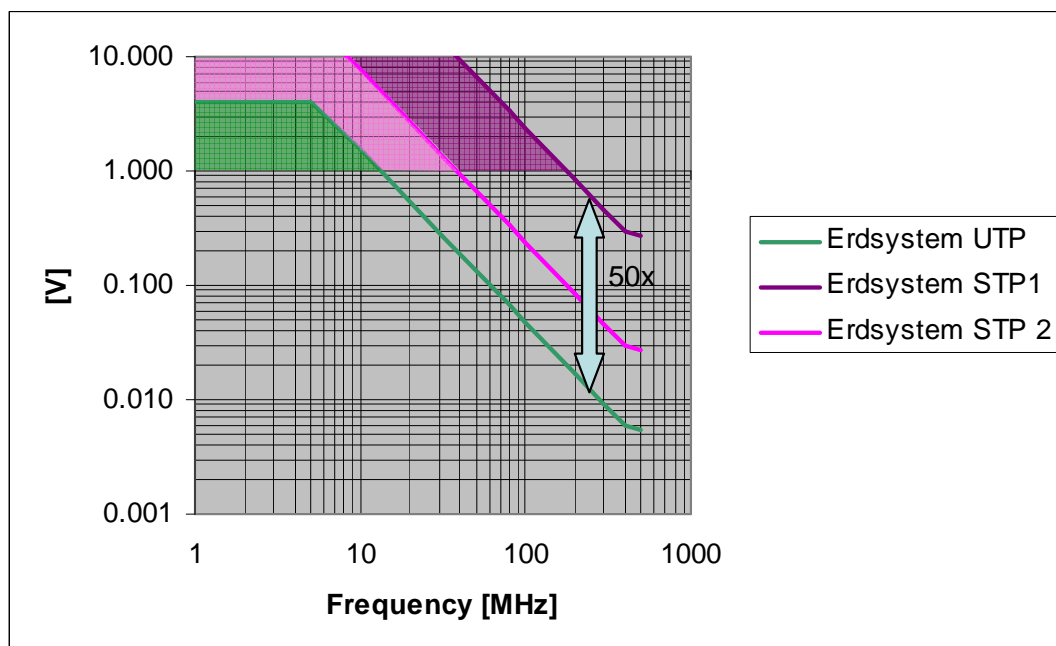


Bild 6: Vergleich der erlaubten Störlevels für unterschiedliche Verkabelungstypen

Keines der untersuchten Verkabelungssysteme vermag also einen normgerechten Betrieb bis 400MHz sicherzustellen. Aus unabhängigen Untersuchungen weiss man jedoch, dass die in den potentiellen Störquellen (wie Netzgeräte, Vorschaltgeräte, Motorensteuerungen etc.) heute verwendeten Halbleitertechnologien Störungen bis ca. 50MHz erzeugen. Es ist anzunehmen, dass die mit dem technischen Fortschritt immer schneller werdenden Bauteile in Zukunft höhere Störanteile erzeugen.

Betrachtet man das Verhalten bei 50MHz (Bild 7), so zeigt sich, dass nur die S-FTP Verkabelung mit einem erlaubten Störlevel von 6.5V eine normgerechte Verkabelung erlaubt. Für eine F-UTP Verkabelung mit 0.65V muss das Erdungssystem bereits besser ausgelegt sein als in der Norm vorgesehen. Damit eine U-UTP Verkabelung störungsfrei arbeitet, muss mit 0.13V das Erdungssystem bereits 8x besser ausgelegt sein als in der Norm vorgeschrieben.

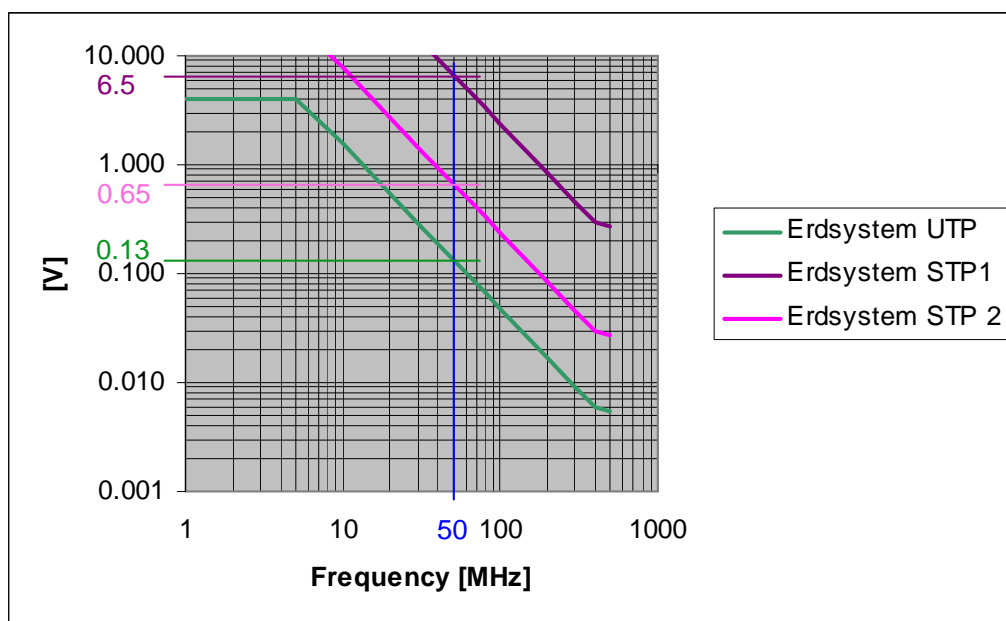


Bild 7: Vergleich der erlaubten Störlevels bei 50MHz

Bei einer Investitionsentscheidung sollte also berücksichtigt werden, dass eine F-UTP und vor allem eine U-UTP Verkabelung ein besseres Erdungssystem im Gebäude benötigt. Das kann einen erheblichen Mehraufwand nach sich ziehen.

Man mag sich wundern, warum diese Zusammenhänge nicht bereits bei früheren Übertragungsprotokollen klar ersichtlich waren. Zur Erklärung kann man als Startpunkt an Stelle von 0.0006V @ 400MHz für 10GBASE-T die Werte der anderen Protokolle einsetzen – z.B. 0.07V @ 62.5MHz für 1000BASE-T oder 0.24V @ 31.25MHz für 100BASE-TX. Sofort wird ersichtlich, dass sich die Kurvenscharen um den Faktor 10 bis 30 nach oben verschieben. In der Vergangenheit war also sichergestellt, dass sich der erlaubte Störlevel für U-UTP Verkabelungen im relevanten Frequenzbereich oberhalb von 1V befindet.

100BASE-TX und 1000BASE-T können also mit allen Verkabelungsvarianten störungsfrei betrieben werden, wenn man den Normwert von 1V für das Erdungssystem einhält. Bei 10GBASE-T lässt sich das nur noch mit einem S-FTP System erreichen. Bei den anderen Verkabelungsoptionen erfordert das Erdungssystem einen entsprechenden Mehraufwand, um zum Teil wesentlich tiefere Werte zu erreichen als 1V.

5. Ermöglicht Kat. 7 höhere Systemreserven?

Wie bereits oben dargestellt, werden beim 10GBASE-T Protokoll die unterschiedlichen Störeinflüsse so weit wie möglich reduziert. Um den Einfluss der unterschiedlichen Störgrössen untereinander abschätzen zu können, kann die folgende Methodik angewendet werden.

IEEE hat das Leistungsdichtespektrum des Sendesignals von 10GBASE-T spezifiziert. Dieser Wert beschreibt, wie sich die Leistung des DSQ 128 Signals über die Frequenz verteilt. Erzeugt wird ein Signal von ca. 80dBm/Hz über den Frequenzbereich von ca. 1MHz – 400MHz. Ausserhalb dieser Grenzen fällt der Energieinhalt der Frequenzen steil ab.

Da sich diese Darstellung des Signals im Frequenzbereich befindet, lassen sich mit Hilfe der Spezifikationen der Normen die verschiedenen abgeleiteten Leistungsspektren berechnen. Wird vom Sendesignalspektrum die Einfügedämpfung der Verkabelung – wie sie in den Normen definiert ist – subtrahiert, so erhält man das Spektrum des am Empfänger ankommenden Signals (Bild 8). Dies entspricht dem verwertbaren Nutzsignal. Subtrahiert man dagegen vom Sendesignal z.B. den Wert für das ANEXT, erhält man direkt das Spektrum des Störsignals, das den Empfänger auf Grund des Fremdübersprechens erreicht.

Führt man diese Berechnung für alle relevanten Parameter durch, so erhält man ein vergleichbares Gesamtbild aller den Empfänger erreichenden Störungen (Bild 8). Zu berücksichtigen ist bei dieser Betrachtung, dass bei den internen Parametern PSNEXT, PSFEXT und RL zusätzlich zu den Normwerten noch die durch das Protokoll durchgeführte aktive Rauschunterdrückung (40dB, 25dB, 55dB respektive) eingerechnet wird.

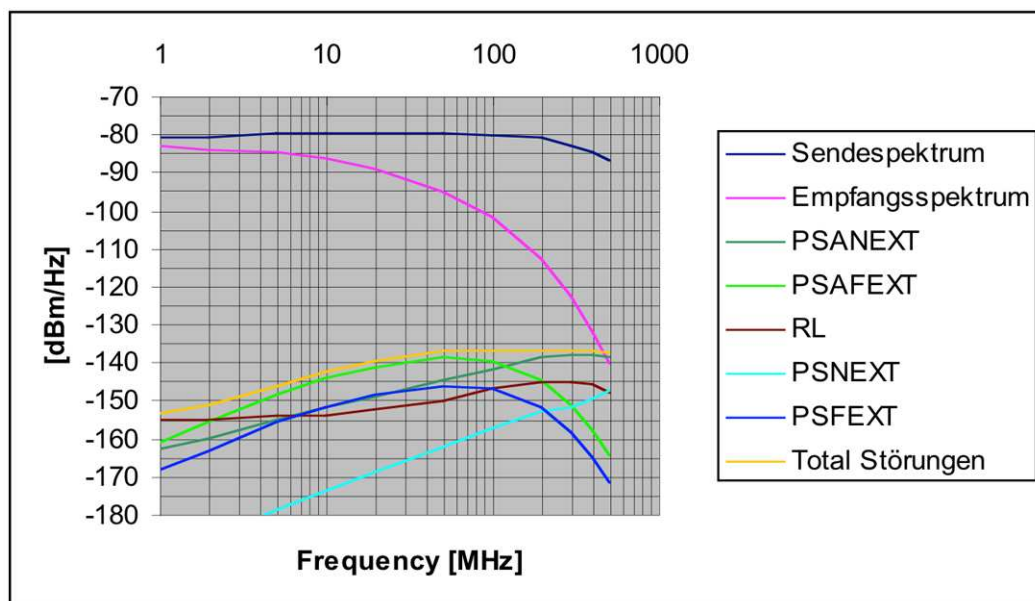


Bild 8: Spektrum der Störbeiträge hervorgerufen durch unterschiedliche Parameter

Addiert man sämtliche Einzelstöreinflüsse (leistungsmässig) zusammen, erhält man das Total aller Störungen.

Ein Vergleich der Einzeleinflüsse untereinander zeigt, wo ein Verbesserungspotential besteht und welche Parameter bereits tief genug liegen (Bild 9).

Unschwer zu erkennen ist, dass die Störungen von den Parametern RL, PSAFEXT und PSANEXT dominiert werden. Eine Verbesserung dieser Parameter würde die Grösse der Gesamtstörung wesentlich beeinflussen, während eine Verbesserung von z.B. PSFEXT und PSNEXT kaum eine Verbesserung bewirken würde.

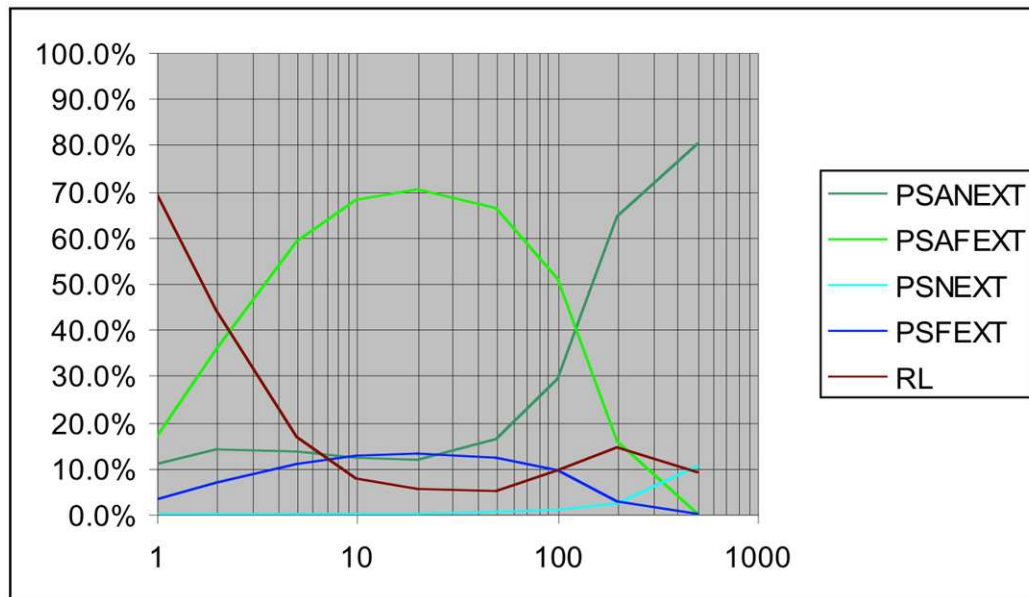


Bild 9: Prozentualer Beitrag der Einzeleinflüsse zur Gesamtstörung

Aus Untersuchungen des Fremdübersprechens ist bekannt, dass ein geschirmtes Verkabelungssystem mit individueller Modulschirmung das Fremdübersprechen (sowohl PSANEXT und PSAFEXT) um 20 bis 40 dB verbessern kann. Was danach übrig bleibt, geht hauptsächlich auf das Konto der Rückflusdämpfung. RL ist bei Klasse E und Klasse F mit genau gleichen Werten spezifiziert. Darum bietet eine Klasse F Verkabelung auch keine wesentlich höhere mögliche Übertragungsrate an als Klasse E. Klasse F verbessert lediglich PSFEXT und PSNEXT, welche bereits genügend klein sind, sowie die Dämpfung.

6. Die Shannon Kanalkapazität

Mit Hilfe des Shannon Theorems lassen sich unterschiedliche Verkabelungsvarianten bezüglich der potentiellen Datenübertragungsraten vergleichen. Anhand der Formel über die maximal mögliche Datenübertragungsrate über einer vorgegebenen Übertragungsstrecke (Kanalkapazität) lässt sich die physikalische Grenze der Übertragungsgeschwindigkeit berechnen:

$$\text{Kanalkapazität} = B \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) [\text{Bit} / \text{s}]$$

B: Bandbreite in Hz
 S: Empfänger Signalleistung in W
 N: Störleistung in W

Die übertragbare Datenrate steigt also mit zunehmender Bandbreite, die für die Signaldetektion eingesetzt wird. Sie ist umso höher, je grösser das Empfangssignal gegenüber dem Störsignal ist.

S und N lassen sich aus der spektralen Verteilung von Nutzsignal und Störsignal errechnen, indem die Flächen unter der jeweiligen Kurve aus obigen Grafiken integriert werden. Für eine Verkabelungsstrecke gemäss IEEE 802.3an ergibt sich für den Frequenzbereich von 1 – 400 MHz z.B. eine maximale Übertragungskapazität von 21.3 GBit/s (Bild 10). Dies entspricht ziemlich genau der von IEEE kommunizierten Minimalanforderung von 20 GBit/s.

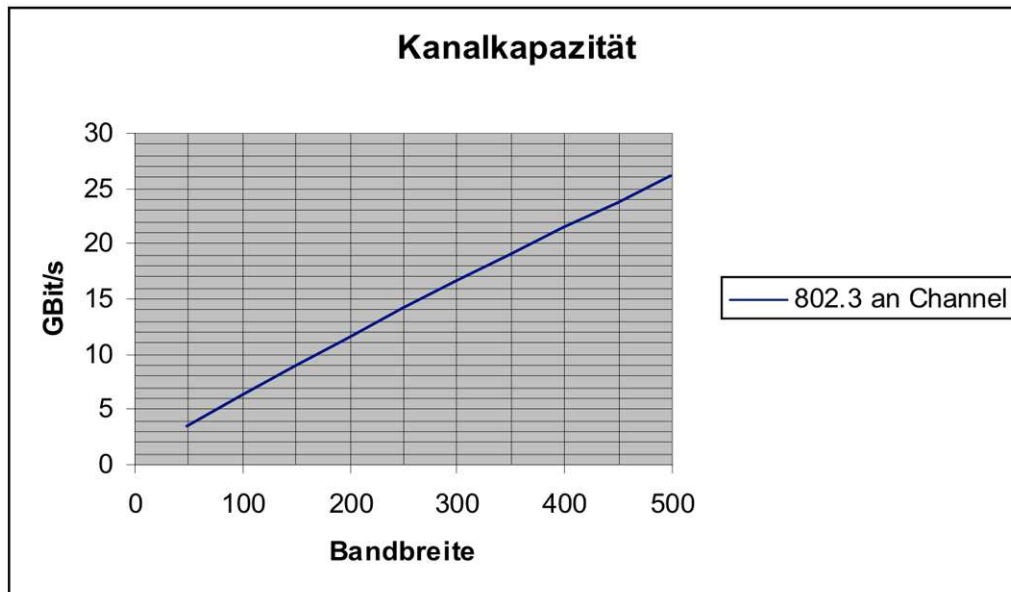


Bild 10: Maximale Kanalkapazität in Abhängigkeit von der Bandbreite

Für die Diskussion hier interessiert nicht unbedingt das Verhalten über unterschiedliche Frequenzbereiche, sondern vielmehr der Vergleich von unterschiedlichen Verkabelungen bei ein und derselben Bandbreite.

Wird an Stelle der 802.3an konformen (U-UTP) Verkabelung eine geschirmte Verkabelung mit ansonsten gleichen Eigenschaften erstellt (PSANEXT und PSFEXT werden um min. 20 dB reduziert), so verbessert sich die Kanalkapazität bei 400MHz auf 25.4 GBit/s oder um 19%.

Wird bei der geschirmten Verkabelung an Stelle eines Kat. 6 Kabels ein Kat. 7 Kabel verwendet (Einfügedämpfung wird reduziert und PSFEXT leicht verbessert), so erhöht sich die Kanalkapazität bei 400MHz auf 25.8 GBit/s oder um 21% gegenüber U-UTP.

Eine vollständige Klasse F Verkabelung mit Kat. 7 Stecksystemen (PSNEXT und PSFEXT werden weiter reduziert) verbessert die Kanalkapazität bei 400MHz auf 25.9 GBit/s oder um 22% gegenüber U-UTP.

Verkabelungsstrecke	Kanalkapazität	Vergleich	Erreichbare Datenrate
IEEE 802.3 Verkabelung (Kat. 6 U-UTP)	21.3 GBit/s	100%	10 GBit/s
Geschirmte Kat. 6 Verkabelung	25.4 GBit/s	119%	11.9 GBit/s
Verkabelung mit Kat. 7 Kabel und Kat. 6 Stecksystem	25.8 GBit/s	121%	12.1 GBit/s
Kat. 7 Verkabelung (Kabel und Stecker)	25.9 GBit/s	122%	12.2 GBit/s

Demnach hat hauptsächlich der Wechsel zu einem geschirmten Verkabelungssystems einen Einfluss auf die Datenübertragungskapazität. Ein Kat. 7 Kabel kann auf Grund der geringeren Einfügedämpfung (und wegen der häufig besseren Schirmeigenschaften (siehe Kap. 4) noch sinnvoll sein. Ein Kat. 7 Stecksystem steigert die maximale Übertragungsrate aber nur noch marginal und ist in diesem Sinne nicht kosteneffektiv.

7. Schlussfolgerung

Gleichtaktstörungen, die aus dem Erdungssystem auf die Verkabelung eingekoppelt werden, haben einen signifikanten Einfluss auf die Funktion von 10GBASE-T. Dieser Einfluss besteht in den allermeisten Fällen auch für U-UTP Verkabelungen. Bei U-UTP Verkabelungen reicht ein normgerechter Aufbau des Erdungssystems mit Einhaltung der 1V Vorschrift nicht aus, um die Funktion von 10GBASE-T sicherzustellen. Es muss darum mit Mehraufwand für das Erdungssystem gerechnet werden.

Auch bei geschirmten Verkabelungen reicht die Einhaltung der Norm „per se“ nicht aus. Es ist auf möglichst gute und zuverlässige Schirmeigenschaften bei den eingesetzten Komponenten zu achten, um auch für zukünftig mögliche Entwicklungen gerüstet zu sein. Eine S-FTP Verkabelung mit einzeln geschirmten RJ45 Modulen bietet auf lange Sicht die besten Voraussetzungen, um die Funktionalität von 10GBASE-T sicherzustellen.

Eine Klasse E Verkabelung bietet – übertragungstechnisch gesehen – eine ausgewogene Mischung für die Leistung sämtlicher Parameter. Sie bietet somit ein optimales Preis/Leistungs-Verhältnis. Eine geschirmte Klasse E Verkabelung mit einzeln geschirmten Modulen schafft durch die Reduktion von Fremdübersprechen entsprechende Funktionsreserven.

Einseitige Verbesserungen nur einzelner Parameter, wie dies bei Klasse F der Fall ist, verbessern die möglichen Datenübertragungsraten nur marginal und sind darum nicht kosteneffizient.

Wichtigste Erkenntnis aus Sicht eines Planers oder Endkunden!

Auch für 10GBASE-T wird es in Zukunft sowohl geschirmte wie ungeschirmte Verkabelungssysteme geben. Allerdings muss beim ungeschirmten System mehr Aufwand für ein sauberes Erdungssystem getrieben werden. Bei einer Investitionsentscheidung müssen die Gesamtkosten berücksichtigt werden und nicht nur der Teilbereich der Verkabelung. Der Einsatz von scheinbar höherwertigen Komponenten (Kat. 7) bringt dem Anwender am Ende nichts, wenn die Verbesserungen nicht am richtigen Ort vorgenommen werden.

8. Empfehlung

10GBASE-T wird die Verkabelung bis an die Grenzen ihrer Eigenschaften belasten. Demzufolge sollte man für die Verkabelungskomponenten nur beste Qualität einsetzen. Im Sinne der Betriebssicherheit und des Investitionsschutzes reicht die Einhaltung der Normen alleine noch nicht aus, sondern es sind noch weiterführende Kriterien zu berücksichtigen.

R&M empfiehlt für den Einsatz von 10GBASE-T die Verwendung des STAR Real10 STP Sortiments mit geschirmten Kat. 6 Komponenten. Dieses System bietet dem Anwender ein Höchstmass an Reserve, Flexibilität und Zuverlässigkeit. Mit mehr als 3 Millionen installierten Verkabelungsstrecken, die bereits 10GBASE-T tauglich sind, bietet dieses System bereits eine breite und bewährte Basis.

Für Kunden, die sich bereits für U-UTP entschieden haben oder aus Gründen der Kompatibilität bei U-UTP Systemen bleiben wollen, empfiehlt R&M das neue STAR Real10 UTP Sortiment mit Kat. 6 Komponenten, die mit der innovativen WARP Technologie ausgerüstet sind. Diese Lösung offeriert ausgezeichneten Schutz gegen Fremdnebensprechen und die bewährten R&M Qualitätsvorteile.

9. Weitere Informationen

Für weitere Informationen zu Produkten und Lösungen von R&M besuchen Sie www.rdm.com