

White Paper



WARP – die UTP-Technologie für 10GBASE-T



Convincing cabling solutions

WARP – die UTP-Technologie für 10GBASE-T

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Übersicht.....	3
3.	Elektromagnetische Felder und EMV: Begriffe.....	3
3.1.	Kapazitive Kopplung	4
3.2.	Induktive Kopplung	4
4.	Symmetrische Übertragung über verdrehte Leitungen	5
4.1.	Verdrehte Leitungen und ihre Effekte	5
4.2.	Symmetrische Übertragung und ihre Effekte.....	6
5.	WARP-Technologie für 10GBASE-T	7
5.1.	Ausgangslage	7
5.2.	WARP – die Innovative Lösung	9
6.	Schlussfolgerungen	12
7.	Begriffe.....	14
8.	Weitere Informationen	14

© Copyright 2006 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. Einleitung

WARP ist die UTP Technologie für 10GBASE-T. WARP ist neu. WARP wirft deshalb Fragen auf: Weshalb bieten Schirmung und WARP-Technologie den besten Schutz gegen fremdes Übersprechen (Alien Crosstalk)? Warum muss ein WARP-Kabel nicht auf Masse gelegt werden? Kann WARP auch gegen Gleichtaktstörungen schützen?

Dieses Whitepaper vermittelt dem technisch interessierten Leser die Wirkungsweise der neuen WARP-Technologie. Sie wurde von R&M gemeinsam mit einem renommierten Kabelhersteller entwickelt und im Jahr 2005 als Teil der Verkabelungslösungen für 10 Gigabit Ethernet in den Markt eingeführt.

Anwendung:	Enterprise Cabling
Technologie:	Unshielded Twisted Pair, Wave Reduction Patterns (WARP), 10GBASE-T
Format:	White Paper
Themen:	10 Gigabit Ethernet, Schutz vor AFEXT und ANEXT, kapazitive und induktive Kopplung, EMV, ungeschirmte Verkabelung, UTP, WARP-Technologie, STAR Real10
Ziel:	Einführung in die WARP-Technologie
Zielgruppe:	Planer, Installer, Endkunden, Entscheidungsträger für die Wahl zukünftiger Verkabelungen
Autor:	Andreas Klauser
Erschienen:	Januar 2006

2. Übersicht

WARP bedeutet WAve Reduction Patterns. WARP-Kabel und -Module sind mit Metallfoliensegmenten und Metallplatten geschirmt, die nicht kontaktiert werden müssen. Als führender Anbieter von geschirmten Lösungen bringt R&M damit sein Know-how in die ungeschirmte Welt.

Im Folgenden wird gezeigt werden, dass

- Alien Cross Talk, der schlimmste Feind der 10-Gigabit-Ethernet-Übertragung über UTP, durch induktive und kapazitive Kopplung verursacht wird
- herkömmliche UTP-Systeme keinen Schutz gegen diese Art von Störungen bieten
- WARP gegen beide Ursachen von Alien Cross Talk schützt
- WARP keinen zusätzlichen Schutz gegen Gleichtaktstörungen bietet.

3. Elektromagnetische Felder und EMV: Begriffe

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) oder „Electromagnetic Compatibility“ (EMC) ist die Fähigkeit eines Systems oder einer Komponente, in elektromagnetischer Feldumgebungen zufrieden stellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen.

Wichtig ist der Begriff der Kopplung. Er beschreibt die Wechselbeziehung zwischen Stromkreisen, bei der Energie von einem Stromkreis auf einen andern übertragen werden kann:

- Galvanische Kopplung (leitungsgebunden)
- Kapazitive Kopplung (elektrische Feldkopplung)
- Induktive Kopplung (magnetische Feldkopplung)
- Strahlungs-Kopplung (durch elektromagnetische Wellen im Raum)

Im Folgenden wird die Wirkungsweise der kapazitiven und induktiven Kopplung erklärt.

3.1. Kapazitive Kopplung

In einem Kondensator kommt es zu Ladungsverschiebungen in Richtung des elektrischen Feldes E , wenn sich die angelegte Spannung ändert. Die Folge ist, dass Strom fließt. Die Kapazität ist der Verhältnissfaktor zwischen Ladungsverschiebung und Spannungsänderung. Die kapazitive Kopplung ist durch die Koppelkapazität zwischen den beiden Stromkreisen bestimmt.

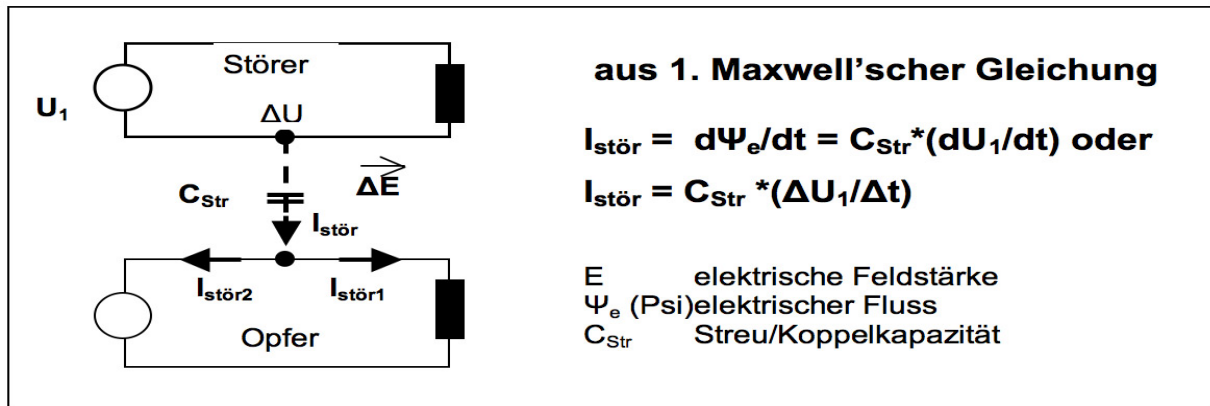


Bild 1: Kapazitive Kopplung

- Der eingekoppelte Strom kann durch eine Stromquelle $I_{\text{Stör}}$ beschrieben werden.

Der Störstrom $I_{\text{Stör}}$ teilt sich in $I_{\text{Stör1}}$ und $I_{\text{Stör2}}$ auf, und zwar je nach Leitungsimpedanz. Weist die Leitung für den Störstrom $I_{\text{Stör1}}$ z.B. einen unendlich grossen Widerstand auf, so wird kein Strom in diese Richtung fließen. Der gesamte Störstrom $I_{\text{Stör}}$ wird dann als $I_{\text{Stör2}}$ abfließen.

Ein Störstrom wird durch eine sich stetig ändernde Spannung induziert. Eine konstante Spannung erzeugt keine Störströme. Elektrische Felder von aussen wirken wie Stromquellen.

3.2. Induktive Kopplung

Jeder elektrische Strom ist von einem Magnetfeld umgeben. Um eine mit Strom durchflossene Leitung bildet sich somit ein Magnetfeld. Die Kopplung zweier Stromkreise findet über gemeinsame Magnetfeldanteile statt. D.h. ein Teil des magnetischen Flusses, den eine Schleife erzeugt durchdringt auch die andere Schleife.

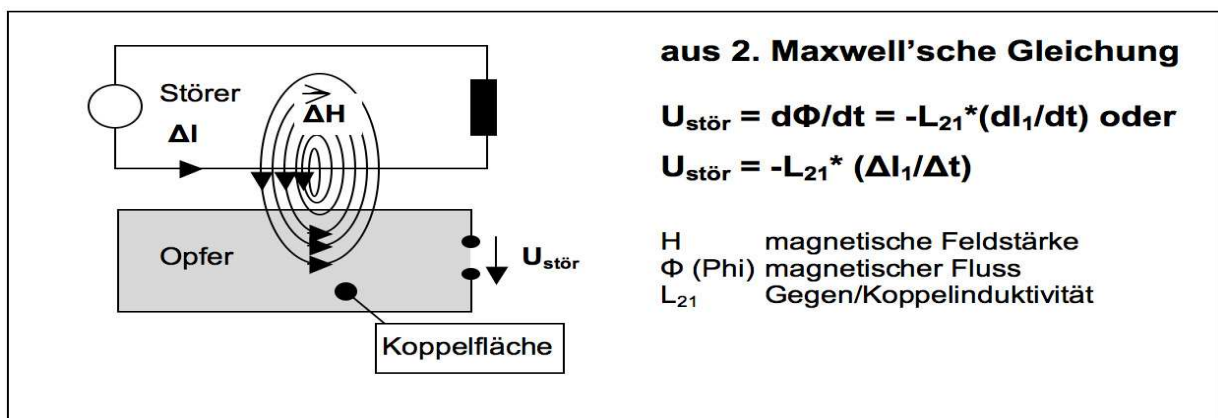


Bild 2: Induktive Kopplung

- Die induzierte Spannung kann durch eine Spannungsquelle $U_{\text{Stör}}$ beschrieben werden.

Eine Störspannung wird durch ein sich stetig änderndes Magnetfeld induziert. Ein konstanter Strom und damit ein konstantes Magnetfeld erzeugen keine Störspannung. Magnetische Felder von aussen wirken wie Spannungsquellen.

4. Symmetrische Übertragung über verdrehte Leitungen

Zur Übertragung von Daten über verdrehte Kupferadern in der strukturierten Gebäudeverkabelung werden die Leitungen symmetrisch betrieben. Die Einkopplung auf ein Kabel erfolgt auf zwei Arten:

- im Gegentakt-Modus (Differential Mode), d.h. zwischen die Adern eines Paares,
- im Gleichtakt-Modus (Common Mode), d.h. zwischen Kabel und Masse.

Die Verdrehung der Adern im Kabel schützt vor Gegentaktstörspannungen, und die symmetrische Übertragung macht gegen Gleichtaktstörströme unempfindlich. Das soll im Folgenden etwas ausführlicher beschrieben werden.

4.1. Verdrehte Leitungen und ihre Effekte

Für die Störungen auf verdrehten Leitungen sind im Wesentlichen drei Effekte entscheidend:

- Kapazitive Kopplung
- Induktive Gegentaktkopplung
- Induktive Gleichtaktkopplung

Kapazitive Kopplung: Die elektrische Einkopplung zwischen die Adern eines Paares bewirkt einen Verschiebungsstrom, der als Störstrom über die verdrehten Leitungen abfließt. Die Störströme auf den beiden Adern sind gleich gross. Das Verdrehen der Leitungen hilft also nicht vollständig gegen kapazitiv eingekoppelte Störungen – sondern wandelt diese in einen Gleichtaktstörstrom um. Wenn die Leitung asymmetrisch betrieben wird, bleiben diese Störungen vorhanden. Will man die Wirkung der Störströme eliminieren, so muss man die Leitung symmetrisch betreiben – siehe Kapitel 4.2.

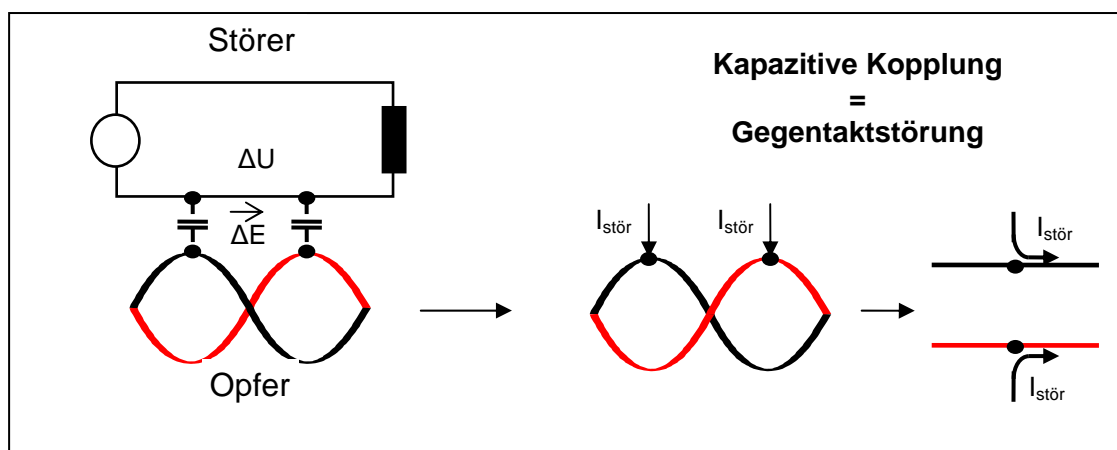


Bild 3: Kapazitive Kopplung bei verdrehter Leitung

Induktive Gegentaktkopplung: Die magnetische Einkopplung wird dank der Verdrehung, entsprechend der Anzahl Schläge pro Meter, mehr oder weniger stark reduziert. Die Spannungsquellen von zwei benachbarten Schleifen wirken einander entgegen. Theoretisch heben sich die Störungen durch das magnetische Feld auf. Bedingung dafür ist, dass die Verdrehungen des Kabels symmetrisch sind. Praktisch ist dies nur unvollkommen zu realisieren.

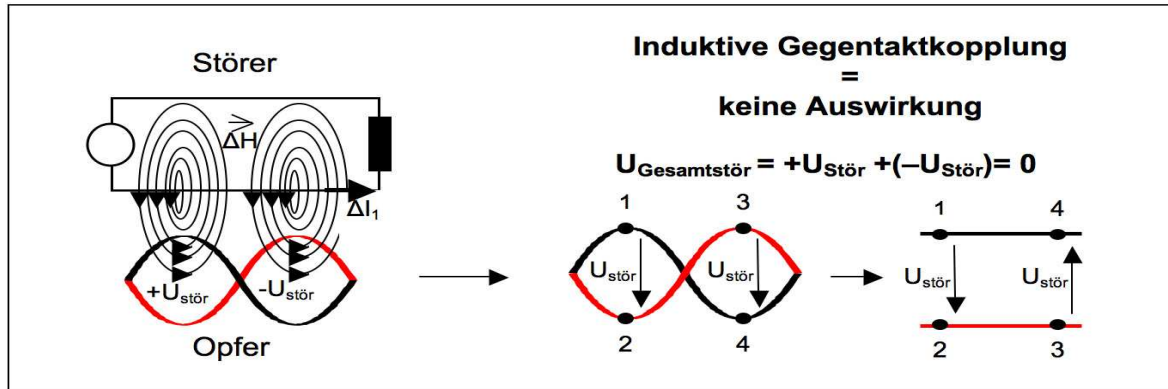


Bild 4: Induktive Gegentaktkopplung bei verdrehter Leitung

Induktive Gleichtaktkopplung: Hierbei wird zwischen Kabel und Masse eine Störspannung induziert. Sie verursacht einen Störstrom, der zu gleichen Teilen und in die gleiche Richtung über das Aderpaar fließt und die so genannte Gleichtaktstörung verursacht. Diese spezielle Art der Störung wird Gleichtaktstörstrom genannt. Will man die Wirkung der Störströme eliminieren, so muss man die Leitung symmetrisch betreiben – siehe Kapitel 4.2.

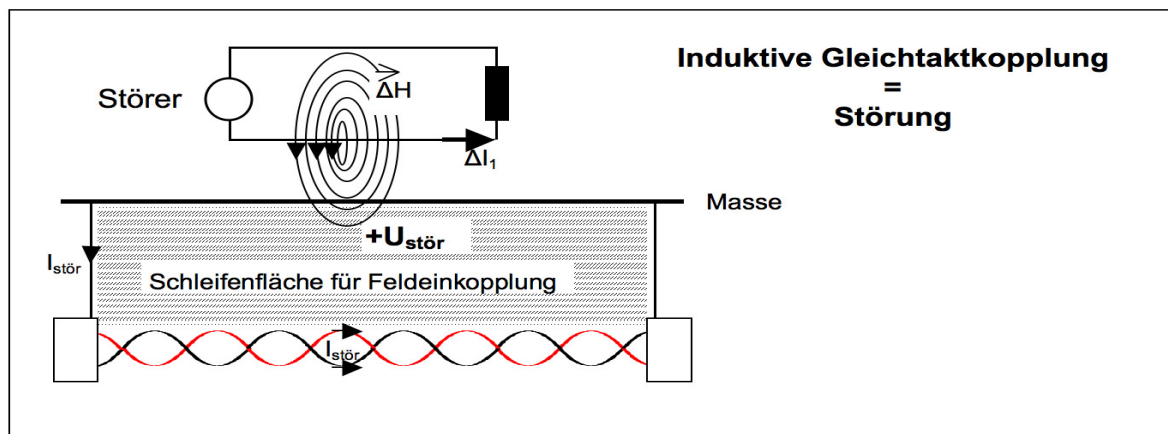


Bild 5: Induktive Gleichtaktkopplung bei verdrehter Leitung

Die Verkabelungsnormen definieren für die Kabelsymmetrie eine Balance (Transverse Conversion Loss, TCL) von 20 dB bei 100 MHz. Somit wird bis zu einem Zehntel der Gegentaktkstörung in Gleichtaktstörung umgewandelt und umgekehrt. Dieser Wert ist für alle Verkabelungskategorien gleich.

4.2. Symmetrische Übertragung und ihre Effekte

Bei symmetrischer Übertragung haben die Adern jedes Leiterpaares entgegengesetztes Potential, $+U$ und $-U$, bezogen auf Masse. Bild 6 zeigt das Prinzip einer symmetrischen Übertragung mit Baluns (Symmetrie-Übertragern). Die Störspannungen, welche durch Gleichtaktstörströme an beiden leitungsseitigen Wicklungen des Baluns entstehen, heben sich theoretisch auf, da sie entgegengesetzter Polarität sind. Bedingung dafür ist, dass die beiden Symmetriewicklungen des Baluns identisch sind. Praktisch ist dies nur angenähert zu realisieren. Man erreicht wegen dieser restlichen Unsymmetrie in den besten Fällen Gleichtaktunterdrückungsverhältnisse von ca. 1 zu 1.000, was 60 dB Gleichtaktdämpfung entspricht.

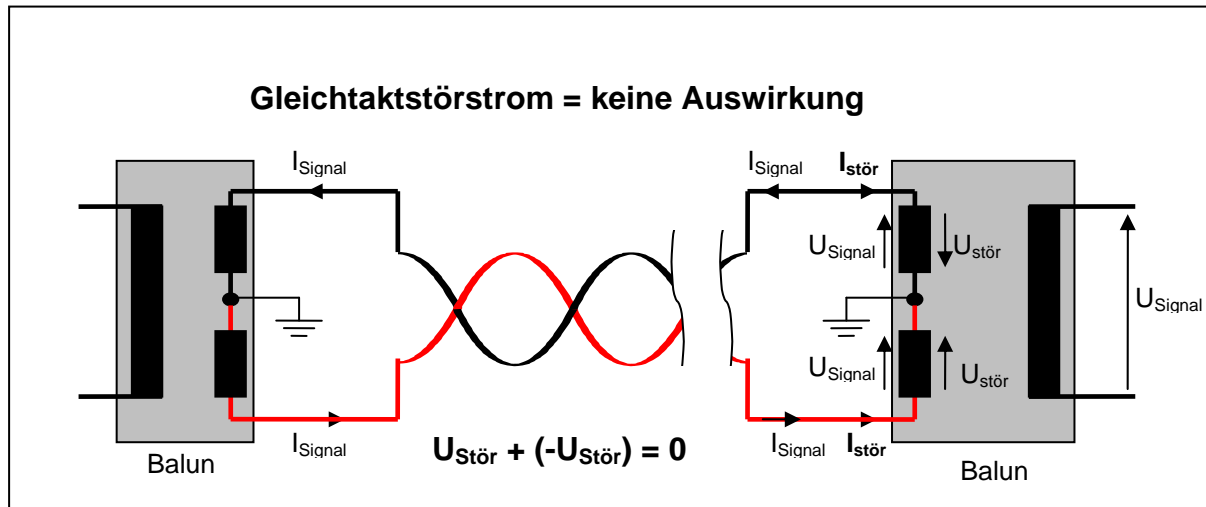


Bild 6: Symmetrische Übertragung mit Baluns

5. WARP-Technologie für 10GBASE-T

R&M hat mit der WARP-Technologie eine innovative Lösung für die Übertragung von 10GBASE-T über UTP-Kabel entwickelt. Dafür gibt es einen guten Grund:

Bisherige U/UTP-Systeme bieten keinen Schutz gegen Alien Cross Talk, den schlimmsten Feind der 10-Gigabit-Ethernet-Übertragung. Denn dieses Übersprechen setzt sich aus induktiven und kapazitiven Störungen zusammen, welche hauptsächlich von Aderpaaren mit gleicher Schlaglänge von benachbarten Kabeln herrühren. Die einzige Möglichkeit, das Alien Cross Talk bei herkömmlichen U-UTP Systemen zu reduzieren, bestand darin, den Abstand zwischen den Komponenten zu vergrößern. Die Kontrolle dieser Abstände ist jedoch schwierig.

Dagegen schützt die WARP-Technologie vor beiden Anteilen des Alien Cross Talk, induktiv und kapazitiv. So besitzt das WARP-UTP-Kabel um 30 dB bessere Alien NEXT Werte als ein traditionelles Kat. 6 U/UTP-Kabel. Gegen Gleichtaktstörungen (Common Mode Disturbances) bietet WARP, wie jede andere UTP Technologie auch, jedoch keinen zusätzlichen Schutz.

5.1. Ausgangslage

Um 10 Gigabit pro Sekunde mit einer vergleichsweise geringen Bandbreite zu übertragen, benutzt 10GBASE-T ein feinstufiges Codierungsverfahren: Die Anzahl der Spannungswerte, welche die digitale Information repräsentieren, ist gegenüber 1GBASE-T um ein Vielfaches höher, die Spannungsunterschiede sind dem entsprechend feiner. Die Konsequenz ist, dass das zu übertragende 10GBASE-T Signal ca. 100mal empfindlicher auf Störungen reagiert als das 1GBASE-T Signal.

Der Parameter Nahnebensprechen (NEXT) ist ein Mass für die gegenseitige Einkopplung der Aderpaare innerhalb ein und desselben Kabels. Da der Signalverlauf innerhalb des Kabels bekannt ist, lässt sich das NEXT aktiv kompensieren. Dadurch werden die höheren Anforderungen von 10GBASE-T an NEXT erfüllt; die Störunterdrückung in den aktiven Geräten bringt eine Verbesserung um ca. 40 dB.

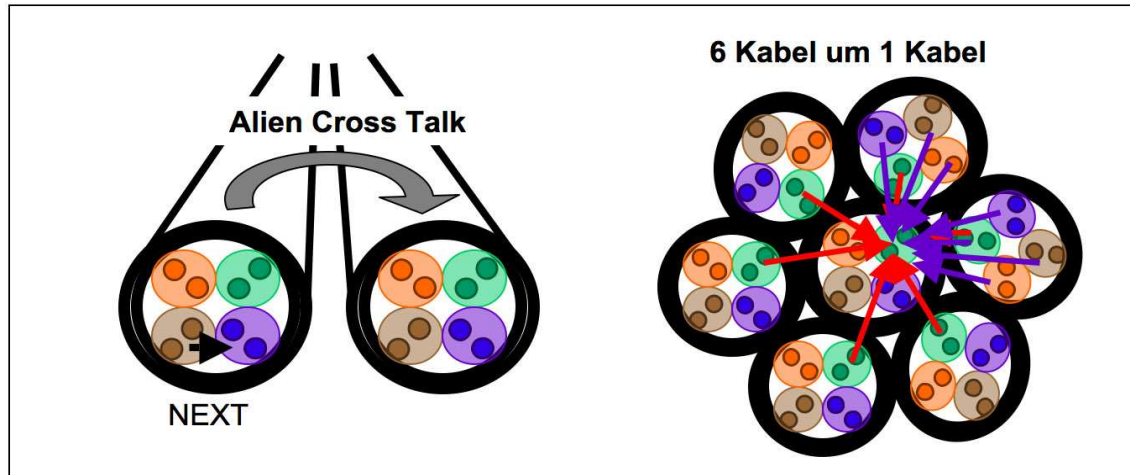


Bild 7: Fremdes Übersprechen/Alien Cross Talk

Das funktioniert nicht beim Übersprechen zwischen benachbarten Kabeln und Komponenten. So entsteht eine neue Problematik. Mit Alien Cross Talk (ANEXT, AFEXT) wurde ein neues Wort für diese Art der Störung kreiert.

Benachbarte Kabel weisen Adernpaare mit gleicher Schlaglänge auf. Somit besitzen Störquelle und Opfer Paare mit gleicher Verdrehung. Der resultierende Störstrom verteilt sich zu gleichen Teilen auf das Adernpaar, fließt jedoch in entgegengesetzter Richtung. Die Wirkung der Gegentaktstörstrom-Anteile hebt sich also auch bei einer symmetrisch betriebenen Leitung nicht auf.

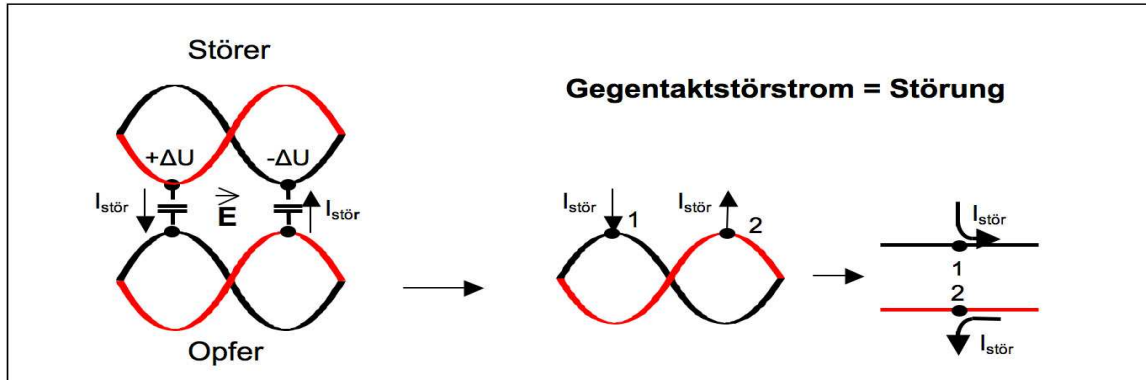


Bild 8: Kapazitive Gegentaktkopplung bei verdrehten Leitungen mit gleicher Schlaglänge

Ein vergleichbarer Effekt entsteht bei der induktiven Gegentaktkopplung. Durch gleiche Schlaglänge von Störquelle und Opfer entstehen Spannungen, die sich addieren.

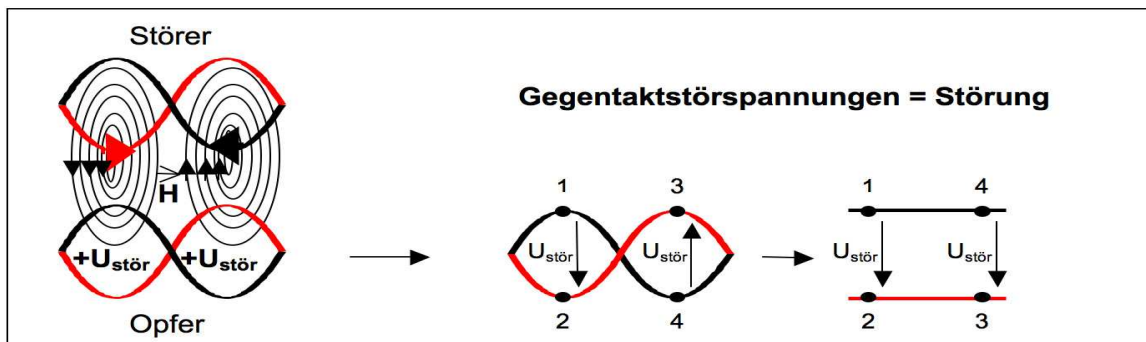


Bild 9: Induktive Gegentaktkopplung bei verdrehten Leitungen mit gleicher Schlaglänge

5.2. WARP – die Innovative Lösung

WARP wurde von R&M in Zusammenarbeit mit einem renommierten Kabelhersteller entwickelt. R&M setzt diese Technologie erstmals konsequent für die ungeschirmte Kupferkabel-Lösung ein, um garantierte 10 Gigabit Ethernet Performance zu erreichen.

WARP bedeutet WAVE Reduction Patterns. Es handelt sich um eine nicht durchgehende Schirmung für ungeschirmte Verkabelungskomponenten, die mittels kurzer, voneinander isolierter Schirmungsflächen (Patterns) erzielt wird.

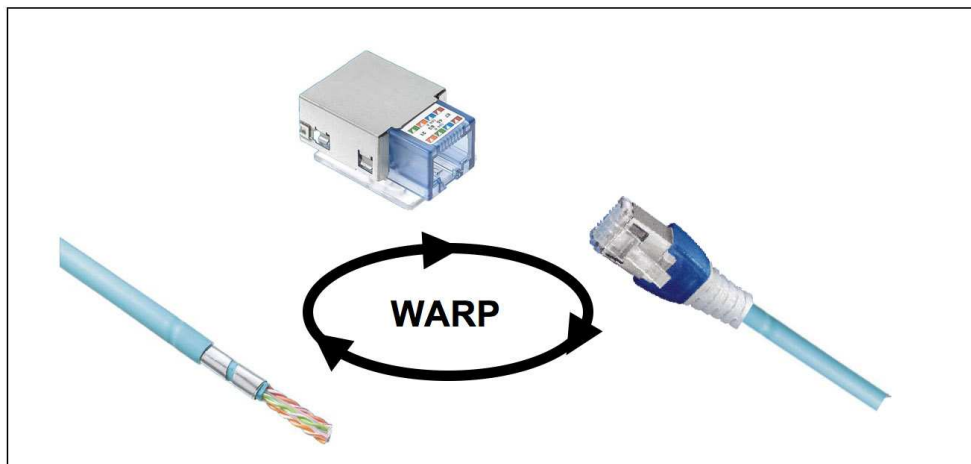


Bild 10: WARP-Produkte

Diese Technologie erlaubt es, Alien Crosstalk Werte für ein UTP-System zu erhalten, welche bis heute als unerreichbar galten. Die WARP-Technologie basiert auf Schirmung und bietet deshalb einen wirksamen Schutz gegen fremde Störungen, ohne jedoch einen Masseanschluss zu benötigen.

5.2.1 Alien Cross Talk – die Wirkung nach aussen

Kapazitive Kopplung: Da der WARP-Schirm nicht an Masse liegt, ist sein Potential anfänglich neutral. Dank der symmetrischen Übertragung haben die Adern eines jeden Leiterpaares entgegengesetztes Potential, $+U$ und $-U$. Sie sind über den Schirm via Koppelkapazität miteinander verbunden. Der Schirm stellt sich somit auf das Potential Null ein.

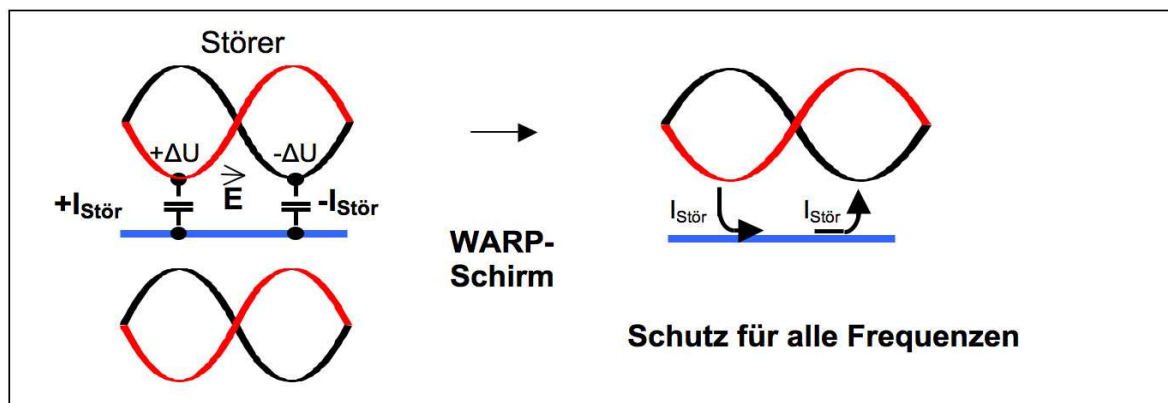


Bild 11: WARP-Schirm gegen Alien Cross Talk aus kapazitiver Kopplung

Dank symmetrischer Übertragung wird durch die WARP-Schirmung von Kabel, Buchse und Stecker eine kapazitive Kopplung nach aussen verhindert.

Induktive Kopplung: Durchsetzt ein zeitlich sich ändernder magnetischer Fluss einen Leiter, so erzeugt er innerhalb des Leitermaterials, z.B. des WARP-Schirms, elektrische Wirbelfelder. Hierdurch fließen im WARP-Schirm Wirbelströme (eddy currents), die der Flussänderung entgegen wirken. Die Wirbelströme führen zu einer Verdrängung des magnetischen Flusses aus dem Leiter. Diese Verdrängung tritt um so mehr in Erscheinung, je höher die Frequenz ist. Da der WARP-Schirm eine umlaufende Hülle bildet, verhindert er das Verlassen oder Eindringen von magnetischen Feldern.

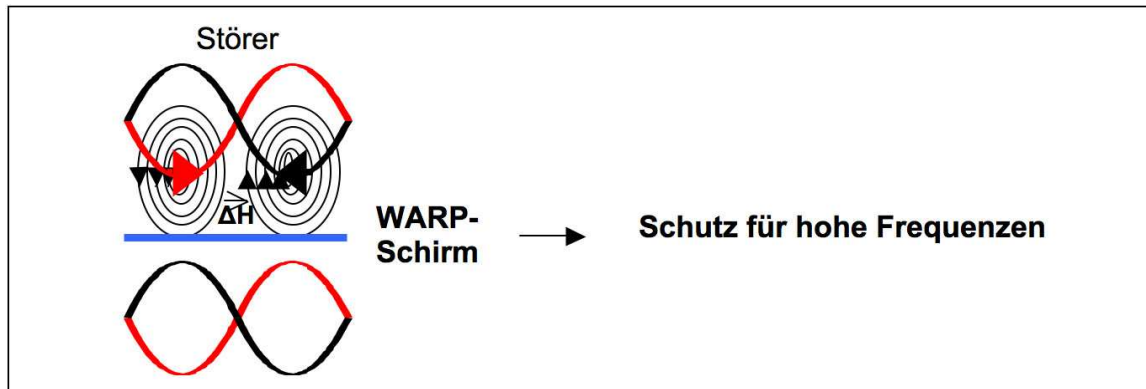


Bild 12: WARP-Schirm gegen Alien Cross Talk aus induktiver Kopplung

Die WARP-Schirmung von Kabel, Buchse und Stecker wirkt bei magnetischen Feldern hoher Frequenz. Es hat keinen Einfluss, dass die Schirmung nicht an Masse liegt.

Um die Tauglichkeit des WARP-Schirms gegen Alien NEXT zu zeigen, wurde das PS ANEXT an einem Kabel gemessen, das von sechs anderen umgeben war – die schlimmstmögliche Situation in der Praxis. Bild 13 zeigt die Resultate.

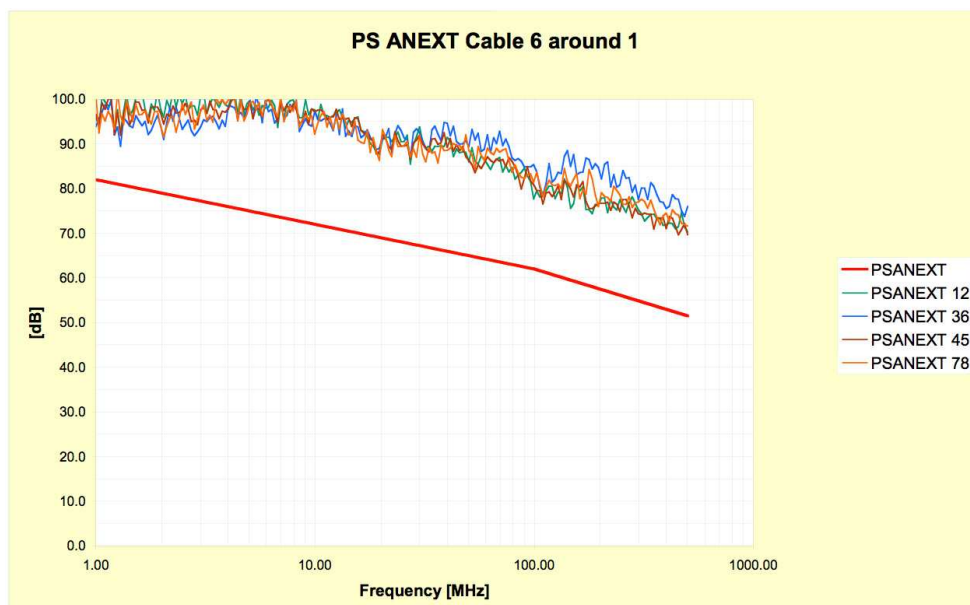


Bild 13: PS ANEXT im U/UTP Real10 Kabel

Im Vergleich zu einem normalen Kat. 6 U/UTP-Kabel verbessert WARP die Alien NEXT Werte um rund 30 dB. Da der Schirm nicht durchgehend ist, verhält sich WARP ansonsten wie ein normales U/UTP-System.

5.2.2 EMV – die Wirkung von aussen

Kapazitive Kopplung: Kann der WARP-Schirm gegen kapazitive gekoppelte Störungen schützen? Die kurzen, voneinander isolierten Schirmungsflächen haben kein definiertes Potential, da sie nicht mit Masse verbunden sind. Daher gilt:

Der Warp-Schirm bietet keinen zusätzlichen Schutz gegen kapazitive Kopplung.

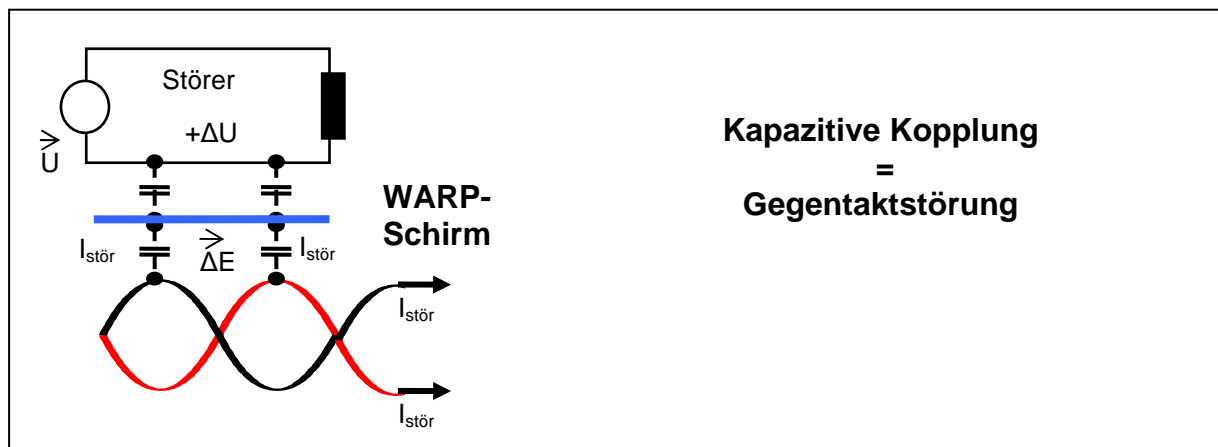


Bild 14: WARP und kapazitive Kopplung

Wie im Kapitel 4 gezeigt, lassen sich die Auswirkungen von Gleichtaktstörströmen durch symmetrische Baluns weitgehend eliminieren.

Induktive Gegentaktkopplung: Der Warp-Schirm funktioniert hier wie beim Alien Cross Talk. Die Wirbelströme führen zu einer Verdrängung des magnetischen Flusses aus dem Leiter. Diese Verdrängung tritt um so mehr in Erscheinung, je höher die Frequenz ist. Daher gilt:

Der WARP-Schirm bietet einen zusätzlichen Schutz gegen induktive Gegentaktkopplung.

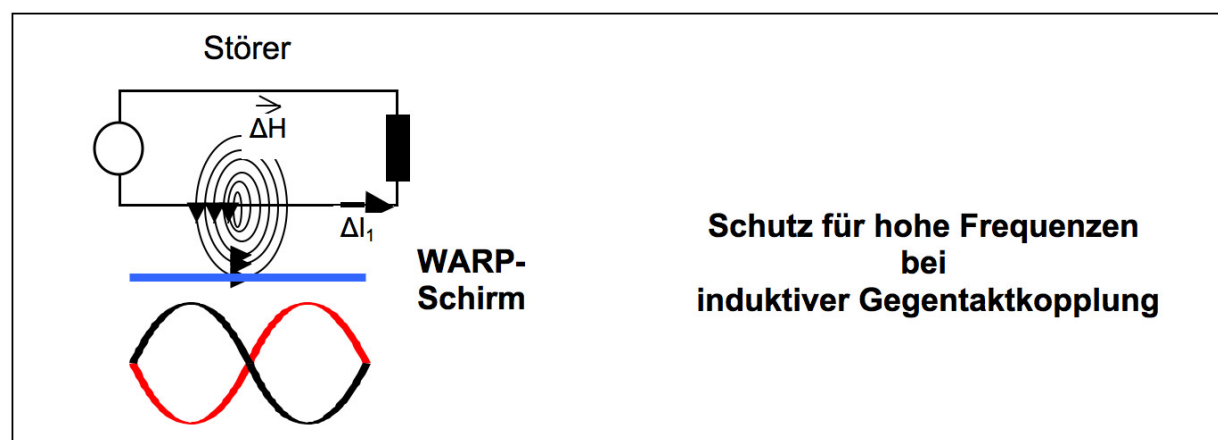


Bild 15: WARP und induktive Gegentaktkopplung

Induktive Gleichtaktkopplung: Die induktive Gleichtaktkopplung induziert eine Störspannung zwischen Masse und Kabel. Sie verursacht einen Störstrom, der zu gleichen Teilen über das Aderpaar fließt. Daher gilt:

Der WARP-Schirm bietet keinen zusätzlichen Schutz gegen induktive Gleichtaktkopplung.

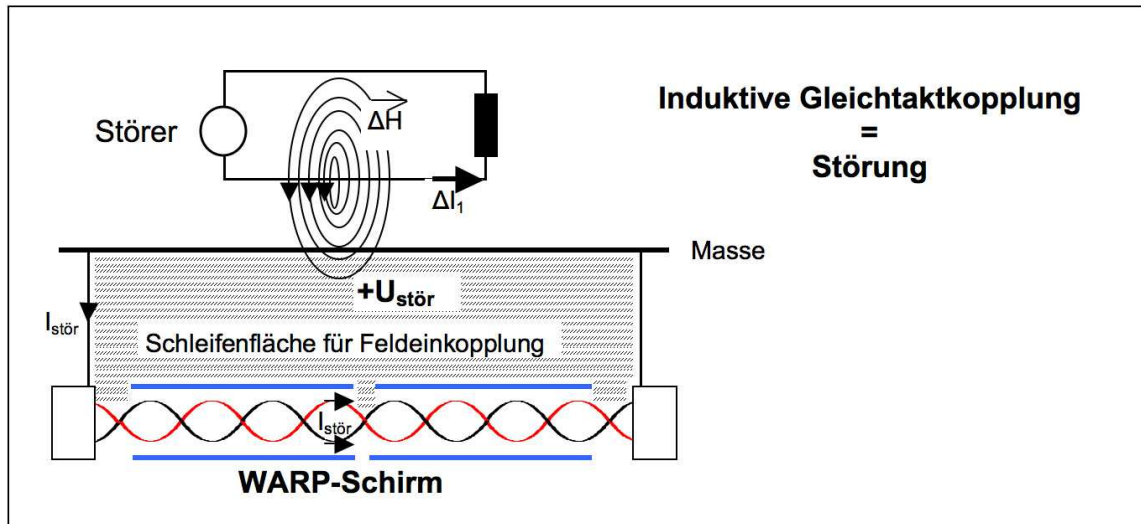


Bild 16: WARP und induktive Gleichtaktkopplung

Jedoch lassen sich auch hier, wie im Kapitel „Symmetrische Übertragung“ gezeigt, die Auswirkungen von Gleichtaktstörströmen durch symmetrische Baluns weitgehend eliminieren.

6. Schlussfolgerungen

Als führender Anbieter von geschirmten Lösungen bringt R&M sein Know how aus der geschirmten in die ungeschirmte Welt. Der Vorteile der WARP-Technologie gegenüber einem UTP Kat. 6/Klasse E Übertragungssystem liegen auf der Hand:

- Schutz gegen Alien NEXT (kapazitive und induktive Störungen),
- Schutz gegen induktive Gegentaktkopplung,

jedoch kein zusätzlicher Schutz gegen

- induktive Gleichtaktkopplung,
- kapazitive Gegentaktkopplung.

Die drei innovativen Real10 UTP-Komponenten mit WARP Technologie– Installationskabel, Steckverbinder und Rangierkabel – bilden in Kombination mit den herkömmlichen Verteilerfeldern und Anschlussdosen von R&M einen Channel mit optimaler Performance für 10 Gigabit Ethernet über ungeschirmte Verkabelungsstrecken bis 100 Meter. Systemmessungen zeigen, dass diese Lösung eine ausreichende Reserve zwischen den ANEXT- bzw. AFEXT- Werten und den Grenzwerten gemäss Normentwurf sicherstellt.

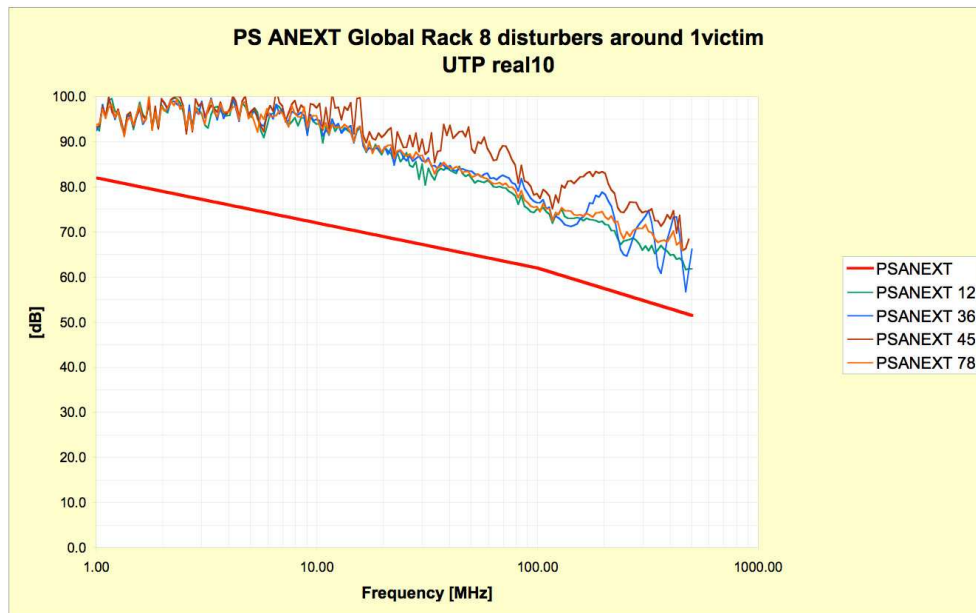


Bild 17: PS ANEXT im Channel

Nach wie vor sollte auf ein sauberes Erdungskonzept im Gebäude speziell Wert gelegt werden, da UTP-Installationen beim Betriebe mit 10 Gigabit Ethernet wesentlich anfälliger für Störeinflüsse und Interferenzen sind. Diese Risiken dürfen nicht vernachlässigt werden.

Mit WARP setzt R&M setzt seine Tradition und Verpflichtung zu höchster Qualität, wegweisender Produktentwicklung und einfachster Installation fort. Die Erweiterung des R&Mfreenet Systems um das modular konzipierte STAR Real10 – sei es geschirmt oder ungeschirmt – bietet den Kunden eine reale 10 Gigabit Lösung, die hält was sie verspricht.

7. Begriffe

AFEXT	Alien Far-End Crosstalk, das Übersprechen benachbarter Kabel am fernen Ende der Leitung
ANEXT	Alien Near-End Crosstalk, das Übersprechen benachbarter Kabel am nahen Ende der Leitung
EMV EMC	Elektromagnetische Verträglichkeit Electromagnetic Compatibility
NEXT	Near-End Crosstalk, das Übersprechen innerhalb des eigenen Kabels am nahen Ende der Leitung
PS ANEXT	Power-Sum ANEXT, die Leistungsaddition des Übersprechens benachbarter Kabel am nahen Ende der Leitung
STAR Real10	Produktgruppe von R&M, die 10 Gigabit-Performance garantiert. WARP UTP-Kabel und -Module sind Bestandteil der Produktgruppe
TCL	Transverse Conversion Loss. Ein Mass (in dB) für die Umwandlung von Gleichtaktspannung in Gegentaktspannung an einem Ende des Adernpaares
UTP	Unshielded Twisted Pair, ungeschirmte verdrehte Kupferleitungen
U/UTP	Genaue Angabe von UTP: Die verdrehten Adernpaare sind weder einzeln noch gemeinsam als Kabel geschirmt
WARP	WAVE Reduction Patterns. WARP-Kabel und -Module sind mit Metallfoliensegmenten und Metallplatten geschirmt, die nicht kontaktiert werden müssen.

8. Weitere Informationen

R&M White Paper

- Einfluss von 10GBASE-T auf die Verkabelung, September 2005
- Positioning Paper „10 Gigabit Ethernet“, August 2004
- Alien Crosstalk, November 2003
- 10 Gigabit-Ethernet über Kupfer, Juli 2003

Literatur-Verzeichnis

- (1) Führer/Heidemann/Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik Band2: Zeitabhängige Vorgänge
Hanser Verlag, 4. Auflage, 1990
- (2) Prof. Dr. Hans M. Fromherz: EMV Elektromagnetische Verträglichkeit
Neu-Technikum Buchs, Vorlesung SS 1995
- (3) Jörg Nussbaum: EMV-gerechte Gebäude- und Schaltschrankinstallationen
montena emc sa, Kursunterlagen 1999
- (4) Werner Hirschi: EMV -Anforderungen an Datennetzwerke
montena emc sa, Bulletin
- (5) Meinke/Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik Band 1 Grundlagen
Springer Verlag, 5. Auflage, 1992

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