Whitepaper 100 GBit/s über 4-paarige symmetrische Verkabelung – Vision oder Realität?

Pushing Performance

People | Power | Partnership

Förderprojekt 100G – Verbundprojekt Hochschule Reutlingen / LEONI / HARTING

1 Einleitung – Deutschland muss aufholen

Die Bundesregierung Deutschland fordert und fördert die Digitalisierung. Dazu gibt es eine digitale Agenda. Dabei geht es um leistungsfähige und sichere Kommunikationsinfrastrukturen für Gesellschaft und Wirtschaft.

Was ist hier eigentlich los?

Digitalisierung? Das ist doch ein alter Hut. Spätestens als Anfang der 1990er Jahre das D2 Netz im Mobilfunk eingeführt wurde, leben wir doch in einer digitalen Welt – oder nicht?

Ja – trotzdem hat Deutschland im internationalen Vergleich Nachholbedarf.

Die fortschreitende Digitalisierung ist ein Prozess, der noch lange anhalten wird. Die jetzige Kampagne um die Digitalisierung hat ihren Ursprung in den aktuellen technischen Treibern – den sogenannten Megatrends.

Die Megatrends Big Data, Cloud Computing, Industrie 4.0 und das Internet der Dinge verändern nachhaltig unsere Produktions- und Dienstleistungslandschaft. Die erfolgreiche Umsetzung auf dem Weg zur Digitalen Gesellschaft verschafft dem Standort Deutschland langfristig Wettbewerbsvorteile.

Diese Megatrends befruchten sich gegenseitig und haben eins gemeinsam: sichere, hochwertige und wirtschaftliche Netzinfrastrukturen, welche den ständig wachsenden Anforderungen an Bandbreite, Datenrate, Energiebereitstellung und Energieeffizienz genügen müssen. Insbesondere im Rechenzentrum, dem digitalen Brennpunkt dieses Geschehens, entwickeln sich Übertragungs- und Speicherkapazitätsbedarfe rasant.

Neben der digitalen Vernetzung von Mensch und Rechner sorgt das Internet der Dinge und Industrie 4.0 für die Kommunikation von Objekten jeglicher Ausprägung.

Die Bundesregierung hat Fördermittel ausgelobt, um Entwicklungen zu schnelleren Datenraten, Rechenzentrumslösungen und Industrie 4.0 voranzutreiben. Dabei geht es aber nicht einfach nur um Produktinnovationen sondern, um nachhaltig verwertbare Technologien.

Dieses Programm ist an Firmen gerichtet, die Technologien entwickeln, also etwas, was Geld kostet und sich erst später, durch die Entwicklung und Vermarktung neuer Produkte bezahlt machen kann. Und es richtet sich an Forschungseinrichtungen, also kluge Köpfe, die relativ frei forschen können und der Industrie gezielt wertvolle Erkenntnisse zur Technologieentwicklung liefern. Mit dem Einbringen der Projektergebnisse in die internationale Standardisierung, werden die technischen Voraussetzungen für die weltweite Verbreitung und Vermarktung geschaffen.

2 Das Förderprojekt 100G – Eine starke Partnerschaft

Wie der Name schon verrät, hat das Förderprojekt das Ziel, die Machbarkeit von Datenraten bis zu 100G über Kupferkabel zu untersuchen. Was im Bereich von LWL schon länger Standard, aber auch nur zu deutlich höheren Kosten machbar ist, soll in diesem Projekt über vier verdrillte Aderpaare aus Kupfer realisiert werden. Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, sind Know-how und Skills in Forschung und Technik notwendig, Zur Realisierung haben sich deshalb zwei namhafte Hersteller aus den Bereichen Kabel und Steckverbinder mit einer führenden Forschungseinrichtung zusammen getan.

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com

2.1 Verbundpartner des Förderprojektes 100G

Die drei Verbundpartner des Projektes zählen jeder für sich zu den Top-Adressen in ihrem Fachgebiet und durch die Zusammenarbeit dieser Hand in Hand gehenden Expertise für das Projekt 100G sollen die größtmöglichen Synergien geschaffen werden. Im Folgenden eine kurze Vorstellung der Verbundpartner.

Die Hochschule Reutlingen und das Reutlingen Research Institute

Die Hochschule Reutlingen zählt zum Wintersemester 2014/15 rund 5.800 Studierende, davon 4.506 in den Bachelor- und 1.290 in den Masterprogrammen. Derzeit kann die Hochschule dabei auf 160 Professorinnen und Professoren sowie 326 Lehrbeauftragte zurückgreifen.

Die Hochschule Reutlingen ist eine der führenden Hochschulen für eine internationale und unternehmensnahe Aus- und Weiterbildung. Das Studienangebot basiert auf einer langjährigen Expertise in den Kernbereichen Technik und Wirtschaft, die sie in den fünf Fakultäten Angewandte Chemie, Informatik, Technik, Textil & Design und der ESB Business School bündelt. Insgesamt werden in den fünf Fakultäten 28 berufsqualifizierende Bachelorstudiengänge, 22 Masterstudiengänge und derzeit 8 Weiterbildungsprogramme angeboten. Die Hochschule Reutlingen entwickelt am gesellschaftlichen Bedarf ausgerichtete und zukunftsweisende Studiengänge.

Fakultätsübergreifende Markenzeichen der Ausbildung an der Hochschule Reutlingen sind, neben der gelebten Internationalität und praktizierten Wirtschaftsnähe, auch eine werteorientierte Lehre und die angewandte Forschung.

Für die Forschung an der Hochschule Reutlingen steht das Reutlingen Research Institute (RRI). Es ist die zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Hochschule, in der alle Aktivitäten im Bereich der Forschung und Entwicklung gebündelt werden. Das RRI bietet den forschenden Professorinnen und Professoren aus allen Fakultäten eine organisatorische Plattform.

Seit Gründung des Instituts ist die Forschung an der Hochschule Reutlingen stark gewachsen. In 2014 wurden über 90 Forschungsprojekte am RRI bearbeitet – die Spanne reicht von kleinen Industrieprojekten über größere öffentlich geförderte oder von der Industrie beauftragte Vorhaben, bis hin zur Koordination von EU-Verbundprojekten.

Im Rahmen des Verbundprojektes übernahm die Hochschule Reutlingen die Abbildung, Berechnung und Simulierung von Übertragungskanälen aus Kabeln und Steckverbindern, die Untersuchung geeigneter Leitungskodierungen und die Messtechnik.

LEONI

Innovative Kabeltechnologie für die Welt von morgen

Der Name LEONI steht weltweit für erstklassige Kabel-, System- und Entwicklungskompetenz. Innovative Lösungen kommen im Automobilbau und in Schlüsselbranchen der Wirtschaft wie der Telekommunikation, IT, Gesundheit und Energie zum Einsatz. Ausgestattet mit leistungsstarken Funktionen sorgen sie für beste Verbindungen in nahezu allen Bereichen des modernen Lebens.

Partner der Industrie

Als international tätiger Anbieter von Drähten, optischen Fasern, Kabeln und Kabelsystemen halten wir mit den Veränderungen einer immer stärker vernetzten Welt seit Jahrzehnten Schritt. Das hat uns zu einem gefragten Partner und Entwicklungslieferanten zahlreicher globaler Industrieunternehmen gemacht. Mit unseren Ideen und Entwicklungen trägt LEONI zu mehr Effizienz, Sicherheit und Umweltfreundlichkeit ihrer Innovationen bei.

Weltweit führende Rolle

Im Jahr 1917 gegründet, zählt LEONI heute zu den führenden Unternehmen für Kabeltechnologie in Europa. Rund 70.000 hoch qualifizierte Mitarbeiter in 31 Ländern arbeiten gemeinsam daran, unsere führende Marktposition weltweit zu sichern und auszubauen. Dabei konzentriert LEONI das Geschäft auf die wachstumsintensiven Kernmärkte Automobile &

Nutzfahrzeuge, Industrie & Gesundheitswesen, Kommunikation & Infrastruktur, Haus- & Elektrogeräte, Drähte & Litzen.

Leistungsspektrum mit Zukunft

LEONI verfügt über ein einzigartiges Produkt-, Technologie- und Leistungsportfolio, das schon heute nahezu alle Bereiche der Kabeltechnik abdeckt und durch neue umweltfreundliche Lösungen beständig erweitert wird. Als einer der ersten Kabelhersteller der Welt haben wir mit Green Technology eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsstrategie entwickelt. Sie unterstreicht unser klares Bekenntnis zu verantwortungsvollem Handeln entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Das Traditionsunternehmen hat jahrzehntelange Erfahrung auf dem Gebiet der Hochgeschwindigkeitsdatenkabel und ist damit ein wichtiger Partner und Lieferant für Produkte und Know-how im Projektverbund 100G.

HARTING

Zuverlässige und leistungsfähige Kabel alleine schaffen jedoch keine Daten oder Energieweiterleitung. Hierfür bedarf es Steckverbinder, die höchsten Ansprüchen gerecht werden und in Verbindung mit Kabeln und der optimalen Installationstechnik den langzeitstabilen Einsatz in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern erlauben.

Das Familienunternehmen HARTING aus Espelkamp ist Spezialist für leistungsfähige Verbindungstechnologie, welche Basis für die industrielle Produktionstechnik ist. Das Unternehmen schafft Lösungen für die Märkte Automatisierungstechnik, Energie, Verkehrstechnik, Rundfunk-, Bühnen- und Veranstaltungstechnik, Maschinenbau, Medizintechnik und Infrastruktur. HARTING beschäftigt in 42 Vertriebsgesellschaften und 12 Produktionsstätten knapp 4.000 Mitarbeitende.

Das Produkt- und Lösungsspektrum umfasst Steckverbinder, Geräteanschlusstechnik und Netzwerkkomponenten. HARTING Produkte verbinden Maschinen und Anlagen mit Daten, Signal und Power.

Flankierend setzt HARTING dazu sein umfangreiches Know-how und Equipment im Bereich Simulation/Signal Integrety und der Mess- und Prüftechnik ein. Diese Ausrüstungen entsprechen dem neuesten Stand der Technik, sind sowohl im HF Bereich (bis 2,5 GHz), für EMV Untersuchungen bis hin zur Bauteilanalyse und Vermessung mittels Computertomographie verfügbar. Untersuchungen zu Materialien, Beschichtungen/Kontaktoberflächen, Klima- und Umweltprüfungen und dem Langzeitverhalten von Verbindungen und ganzen Baugruppen ergänzen dieses Leistungsspektrum.

Um seine Effektivität auch in diesem Sektor zu steigern, hat HARTING diese Aktivitäten in einer eigenen Division dem CTS (Corporate Technology Services) zusammengelegt, die als akkreditiertes Prüflabor ihre Leistungen auch extern anbieten.

Als Technologiespezialist unterstützt HARTING das Förderprojekt 100G mit dem entsprechenden Know-how und Produkten die Datenraten und Bandbreiten der Zukunft gerecht werden.

Stellenwert nationaler und internationaler Normierungsarbeit

Neben der Förderung technologischer Entwicklungen hat die Bundesregierung mit diesen Verbundprojekten auch die Verbreitung der Ergebnisse durch nationale und internationale Normungsaktivitäten im Blick.

2.2 Netzwerktechnik – Bedarfe, Forderungen und Herausforderungen

Die Daten- und Kommunikationsnetze werden immer dichter und die eingangs genannten Megatrends erfordern eine sichere und leistungsfähige Netzwerkinfrastruktur. Auf die industrielle Anwendung bezogen, führt diese Entwicklung zwangsläufig über die Aufrüstung der Hardware in den Rechenzentren. Sie bilden die zukünftige Grundlage für die stärkere Vernetzung und Versorgung mit Daten bis hinunter in alle Bereiche der Automation. Hier muss die Hardware so ausgelegt sein, dass sie den Datenverkehr nicht nur aufnehmen sondern auch seinen stetig wachsenden

Anforderungen, gerade auch an Geschwindigkeit und Bandbreite, gerecht wird. Kabel, Steckverbinder und andere Schnittstellen müssen auch den möglichen Anforderungen von morgen gewachsen sein. Damit sind die Megatrends die zentralen Treiber für Technologien und Forschung, zum Thema Bandbreite und Datengeschwindigkeit.

In ihrer Funktion zur Förderung von Wettbewerbsfähigkeit, Innovationskraft und nachhaltiger Entwicklung sind Normung und Standardisierung im Kontext der Hightech-Strategie der Bundesregierung (HTS) und künftiger Fortschreibungen zu sehen.

Die Bundesregierung misst Normung und Standardisierung bei der Stärkung der Innovationskraft eine hohe Bedeutung bei. Die Normungsorganisationen sollen die innovationsfördernden Effekte der Normung verstärkt berücksichtigen und durch entsprechende Aktivitäten unterstützen.

(Quelle: **Normungspolitisches Konzept der Bundesregierung**)

Diese absehbare technische Entwicklung vollzieht sich „immer“ in ähnlichen Schritten.

- Prognose zukünftiger Bedarfe, Entwicklung einer Vision
- Das führt zu Machbarkeitsstudien in Industrie und Wissenschaft
- Damit wird die Standardisierung angestoßen und diese bildet die Vision in Beschreibungen und Zahlen ab
- Ergebnisse der Standardisierung sind technische Standards z.B. auf ISO/IEC Basis, die dann Planungssicherheit für Firmen sind, Produkte und Lösungen zu entwickeln
- Design, Produktion und Vermarktung dieser Produkte und Lösungen

Im Gebäude

Die Strukturierte Gebäudeverkabelung wird leistungsfähiger und schließt immer mehr Anwendungsbereiche mit ein z.B. Sicherheitstechnik, die Gebäudeautomatisierung und das Ablesen von Verbrauchsdaten (metering).

Im Rechenzentrum

Es ist davon auszugehen, dass wir für größere Rechenzentren in diesem Jahrzehnt 100G Bandbreite zur Verfügung stellen müssen. Die barrierefreie Anbindung des Rechenzentrums in den Bürobereich oder in die Produktion ist ein Muss.

In der Produktion

Der Gedanke der Industrie 4.0 verlangt in der Produktion ein durchgängiges Datennetzwerk von der Cloud bis in die Feldebene. Immer mehr Anwendungen in der Industrie werden durch dieses Konzept gekoppelt und letztlich auch mit dem Rechenzentrum verbunden, sodass die technische Entwicklung dort - wenn auch zeitversetzt - ebenfalls Auswirkungen auf die Infrastruktur haben wird.

Vor dem Hintergrund dieser aktuellen technische Themen, der zukünftigen Nachfrage und dem Innovationsdruck haben die Hochschule Reutlingen, LEONI und HARTING die Initiative ergriffen, und das Zukunftsthema, 100G Übertragung über Kupfer, in einem Verbundprojekt adressiert.

3 Das Ziel – 100G als wirtschaftlich sinnvoller Technologiesprung

Im Rahmen des Projektes soll aufgezeigt werden, dass eine Erhöhung der Datenraten auf 100G über verdrillte Doppeladern theoretisch, und zukünftig technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Damit werden die Grundlagen für eine zukunftsoffene informationstechnische Infrastruktur geschaffen. Die zu erstellenden Anforderungen bedeuten eine signifikante Verbesserung der Eigenschaften von

Whitepaper 100 GBit/s über 4-paarige symmetrische Verkabelung – Vision oder Realität?

Pushing Performance

People | Power | Partnership

Verkabelungskomponenten, wie Kabel und Steckverbinder.

Ziel des Projektes ist es, bei ISO/IEC JTC 1/SC 25 ein neues Projekt (en.: NWIP = New Work Item Proposal) zum Thema 100 GBit/s über verdrillte Doppeladern auf den Weg zu bringen. Angestrebt wird die Erstellung einer internationalen Richtlinie (en.: Technical Report). Diese ist eine Alternative und häufig ein Vorgängerdokument zu einer internationalen Norm. Der Vorteil der Richtlinie ist, dass diese i.d.R. kurzfristiger als eine internationale Norm realisiert werden kann. Für diese Richtlinie soll im Rahmen des Projektes ein erster Entwurf erstellt werden.

Normen sind eine Wissensbasis und ein Katalysator für Innovationen.
Normung und Standardisierung haben positive Effekte auf den gesamten Innovationsprozess, von der Grundlagenforschung bis zur Marktfähigkeit neuer Produkte. Für Forschung und Entwicklung stellen Normen und Standards eine hervorragende Wissensbasis dar.

Entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg ist nicht nur die wissenschaftliche Erkenntnis, sondern auch deren Übersetzung in Innovationen am Markt. An dieser Nahtstelle zwischen Forschung und Marktfähigkeit setzen Normung und Standardisierung an. Durch frühzeitige Standardisierung erfolgen wichtige Weichenstellungen, um Hochtechnologien auf den Weltmärkten zu etablieren.

(Quelle: DIN – Deutsches Institut für Normung, „Erfolg durch Normung“)

Welchen Stellenwert die Normungsarbeit für den weltweiten Erfolg von Wirtschaft und Gesellschaft hat, betont auch Dietmar Harting, persönlich haftender Gesellschafter der HARTING Gruppe. In seiner Funktion als langjähriger Präsident des Deutschen Instituts für Normung (DIN) hebt er hervor, wie wichtig die Normen für Innovationskraft und Verständigung im globalen Handel sind.

Bei der Erhöhung der Datenrate über symmetrische Kupferkabel von derzeit 10 GBit/s auf zunächst 40 GBit/s (INS-Vorgängerprojekt) und schließlich 100 GBit/s handelt es sich jeweils um enorme Technologiesprünge. Schon bei 100 MBit/s über symmetrische Kupferkabel vermeinten Experten höhere Datenraten seien nicht über Kupferkabel übertragbar. Durch das beantragte Projekt soll der Einstieg in höhere Datenraten auch über symmetrische Kupferverkabelung zur Überbrückung der letzten Entfernung zum Arbeitsplatz beziehungsweise Zwischenverteiler ermöglicht werden. Die Erhöhung der Datenrate um den Faktor 4 bzw. 10 bedeutet im GBit/s-Bereich eine bedeutende Vervielfachung der Komplexität und der Anforderungen an die hochfrequenztechnischen Übertragungseigenschaften des Kanals. Das Forschungsziel kann nur mittels eines Verbundprojektes erreicht werden. Partner innerhalb dieses Verbundprojektes sind die Teilvorhaben Kabel, Verbindungstechnik und Übertragungsstrecke.

Ethernet-Netzwerke werden mit dem WWW und der Cloud verbunden. Dies ermöglicht nicht nur die Steuerung von Maschinen von überall weltweit, sondern auch eine verbesserte Kommunikation mit anderen Firmen in Echtzeit. Fällt bei einer Maschine in absehbarer Zeit ein Teil aus, kann die Maschine selbstständig beim Ersatzteilhändler das entsprechende Teil ordern. Gehen Lagerbestände zurück, geht der entsprechende Befehl an den Hersteller und so weiter. Gleichermaßen können Signale über diese Möglichkeiten weltweit an andere Standorte geschickt und verarbeitet werden. Ist ein Produktionsstandort ausgelastet, ein anderer besitzt jedoch noch Kapazitäten, kann in Echtzeit die Produktion auf der anderen Seite des Globus anfahren. Je weiter man diese Vorstellung strickt, desto eher wird klar, welche Datenmengen und Herausforderungen damit verbunden sein werden.

Ständig steigende Anforderungen an Übertragungsraten und Bandbreite sowie Sicherheit und Verfügbarkeit von Kommunikationsnetzen und damit auch an Infrastruktur und Verkabelung sind also der Treiber für das Verbundprojekt 100GBit/s über symmetrische Kupferverkabelung.

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com

4 Versuchsaufbau Messungen

Um Aussagen über die technische Machbarkeit einer 100G Übertragung über symmetrische Kupferverkabelung zu erhalten, wurde die Aufgabenstellung auf die wesentlichen, zu untersuchenden Kriterien heruntergebrochen. Das Kernelement der 100G Datenübertragung über vier Paare eines symmetrischen Übertragungskanals ist die Übertragung von 25GBit/s über ein Paar. Der Übertragungskanal besteht dabei aus dem Kabel und Steckverbindern.

Zur weiteren Untersuchung wird der vollständige symmetrische Übertragungskanal für 100G also auf seine Einzelkomponenten reduziert:

- Übertragung über eine 4 paarige Kupferverkabelung
- Betrachtung des Kabels
- Betrachtung der Steckverbinder

Die Einzelkomponenten können mathematisch durch sogenanntes *Modeling* beschrieben werden. Diese Beschreibungen (Matrizen) werden mittels Messungen auf ihre Richtigkeit in der Praxis hin überprüft und man kann später die mathematisch beschriebenen Einzelkomponenten zu einem Gesamt-Übertragungskanal zusammensetzen. So ist es möglich, Grenzwerte zum Beispiel bzgl. der Bandbreite (in GHz) oder des Nahnebensprechens (NEXT in dB) oder in der Längenbegrenzung (in m) vorauszusagen. Über diesen Ansatz konnten die notwendigen Schritte zur Untersuchung eines 100G Kanals klar definiert werden.

Ausgehend vom Platine-Platine-Kanal (PCB Channel) konnte der passive Übertragungskanal der Verkabelung (ISO/IEC Channel) definiert und mittels M-Matrix Daten vollständig mathematisch beschrieben werden.

4.1 Mathemathisches Modell eines ein-paarigen Übertragungskanals mittel M-Matritzen, skalierbar für n Paare

Hinweis: Details gerade auch zur Herleitung des mathematischen Modells des Übertragungskanals sind ausführlich im Fachbeitrag „100Gbps Over Four Pair Balanced Cabling“, der Rahmen des IWCS Forums in Providence/RI USA im November 2014 vorgetragen und veröffentlicht wurde.

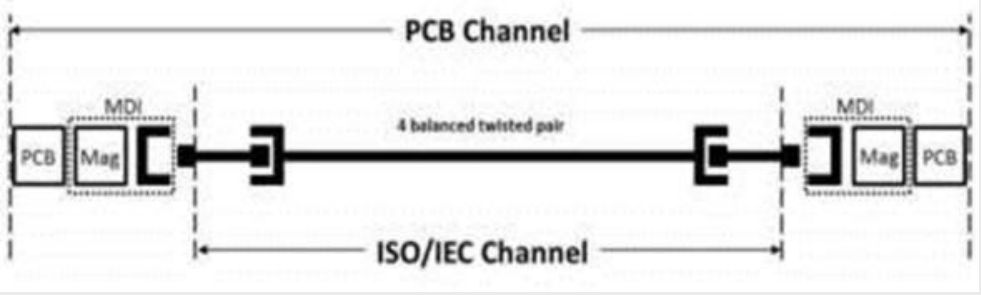


Bild 1: Modell eines PCB Übertragungskanals mit M-Matrix für n Paare

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com

Um die M-Matrizen letztlich mit Werten füllen zu können, bedarf es der Erhebung übertragungstechnischer Eigenschaften der Einzelkomponenten. Dazu sind Messreihen für Kabel und Verbinder aufgestellt worden. Diese Messreihen betrachten sogenannte „mated pairs“, also Steckverbindungen die Stecker und Buchse im gesteckten Zustand untersuchen.

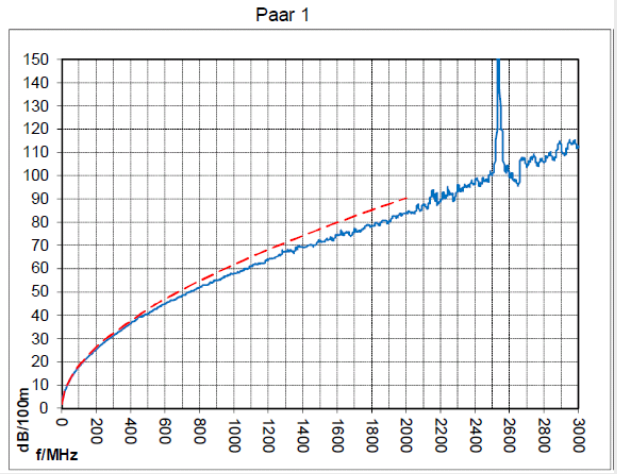
Zur Erstellung dieser Messreihen wurde das Messequipment der drei Verbundpartner unter Hinzuziehung der Messgerätehersteller komplettiert und bis an seine Grenzen geführt. Parallel dazu wurden die Messaufbauten mit Anschlusseinheiten, Equalizern und Prüflingen entwickelt, ausgetestet, beschrieben und auf ihre Einsatzfähigkeit und Genauigkeit bei Bandbreiten bis zu 2,5 GHz hin überprüft.

Um die Stabilität und Richtigkeit der Messergebnisse bewerten zu können, sind immer wieder *Round Robin Tests* durchgeführt worden. Dabei werden vorbereitete Prüflinge von allen drei Partnern in ihren Laboren mit ihrer jeweiligen Messtechnik den gleichen Tests unterzogen. In diesem Fall war es der Prototyp eines neuen 2,5 GHz Kupferkabel. Gab es hier wesentliche Abweichungen in den Prüfergebnissen, wurden die Ursachen analysiert und Messaufbau sowie Testequipment immer weiter verfeinert und korrigiert. Durch diese methodische Vorgehensweise konnten die übertragungstechnischen Eigenschaften der Einzelkomponenten umfassend beschrieben werden. So lagen am Ende der Testreihen belastbare Werte für Kabel und Steckverbinder in IL, NEXT, FEXT, Return loss, TCL, ELTCTL usw. über einen Frequenzbereich bis 2,5 GHz vor.

4.2 Ergebnisse der Kabelmessungen

Die Untersuchungsergebnisse der verschiedenen Prototypen von Kabeln haben zur stetigen Verbesserung des Designs der PIMF Kabelkonstruktion geführt. Ein finaler Prototyp (Vorserienstatus) konnte alle wesentlichen übertragungstechnischen Parameter weitestgehend zufriedenstellend erfüllen.

Dabei wird gegen eine angenommene Grenzkurve geprüft, die als notwendig für die 25GBit/s Übertragung (1 Paar) ermittelt wurde.



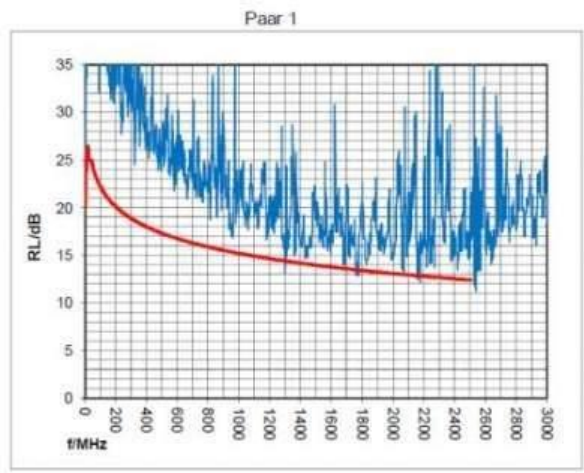
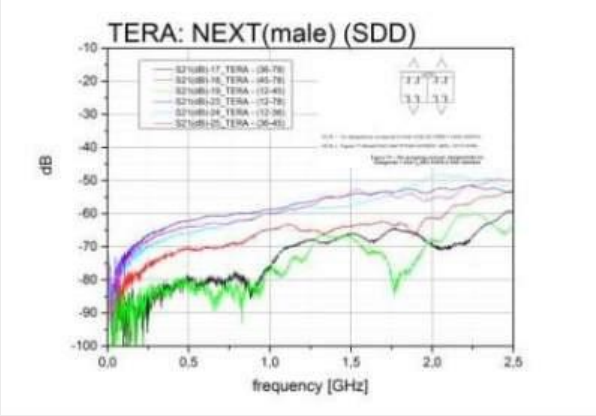


Bild 2: Insertion Loss 2.5GHz (20m)
Bild 3 :Return Loss 2.5 GHz Kabel (20m)

4.3 Ergebnisse der Steckverbindermessungen

Bei der Untersuchung des Übertragungsverhaltens von Steckverbindern wurde auf bereits bestehende Steckverbinder-Typen zurückgegriffen. Dabei bestätigte sich die Annahme, dass je besser die separate Schirmung der einzelnen Kontaktpaare in einem Steckverbinder konstruktiv ausgeführt ist, sich auch das Übertragungsverhalten bei hohen Frequenzen und großen Bandbreiten verbessert.

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com



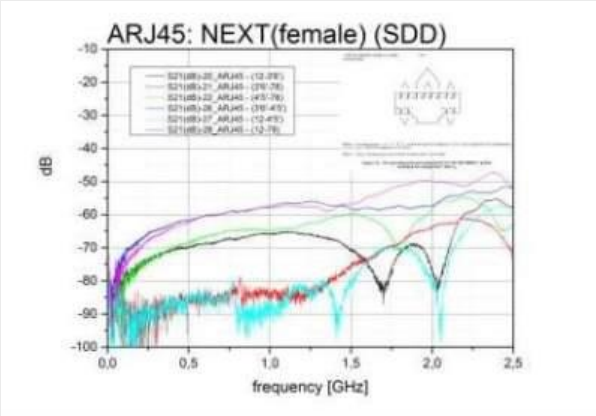
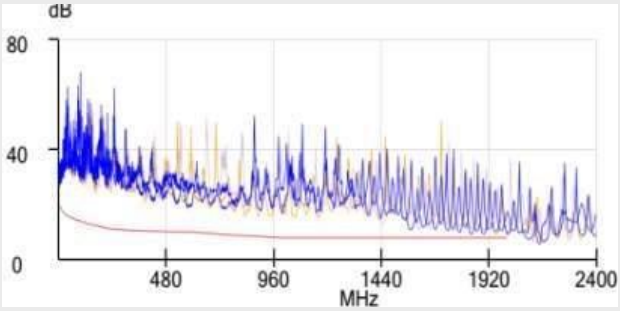


Bild 4: NEXT für Steckverbinder IEC 61076-2-104
Bild 5 : NEXT für Steckverbinder IEC 61076-3-110

4.4 Zusammenführung der Untersuchungen auf Komponentenebene

Die belastbaren Testergebnisse der Komponenten konnten nun im Channel Model zusammengeführt werden. Die mathematischen Untersuchungen an Hand des Models ließen den Schluss zu, dass eine Übertragung von 25GBit/s über ein Paar eines symmetrischen Kupferkanals von 30m Länge mit Bandbreiten von 2,5GHz oder darüber möglich ist.

Um die Gültigkeit dieser Aussage zu untermauern, wurden Kanalmessungen durchgeführt. Dabei wurde der 30m Übertragungskanal mit 26m Kabel und je 2m langen, konfektionierten Kabeln (Patchcords) mittels eines mobilen Testgerätes bis 2GHz gemessen. Die Messergebnisse konnten die Untersuchungen am Model bestätigen, auch wenn hier mit Toleranzen und Ungenauigkeiten zu rechnen ist.



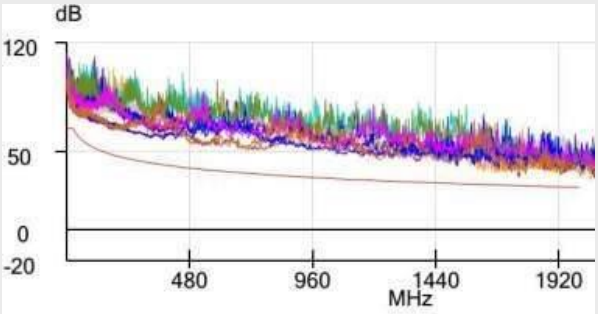


Bild 6: 20m Channel Return Loss
Bild 7 :20m Channel Power zum NEXT

Weitere Untersuchungen vereinfachter 30m langer Kanäle mittels Labormesstechnik lieferten dann auch zusätzliche Parameter wie IL (Insertion Loss) und Group Delay bis 3GHz und das für mehrere Paare gleichzeitig. Alle Ergebnisse unterstützen die Aussage der Machbarkeit der 100G Übertragung über vier Paare eines symmetrischen Kupferkanals.

4.5 Umsetzung der physikalischen Erkenntnisse zu einem 100G Übertragungskanal

In abschließenden Tests wurde der physisch aufgebaute 30m Übertragungskanal jetzt mit Nutzsignalen belastet. Dabei sollte herausgefunden werden, welches Kodierungsverfahren für die Übertragung von 100GBit/s über eine symmetrische Kupferverkabelung am sinnvollsten zu verwenden ist. Die Testsequenz, mit einer Signalfolge auf Basis von PAM 16 und PAM 32, wurde an einem Ende des rein passiven Übertragungskanals

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com

eingespeist und mit den empfangenen Daten am anderen Ende verglichen.

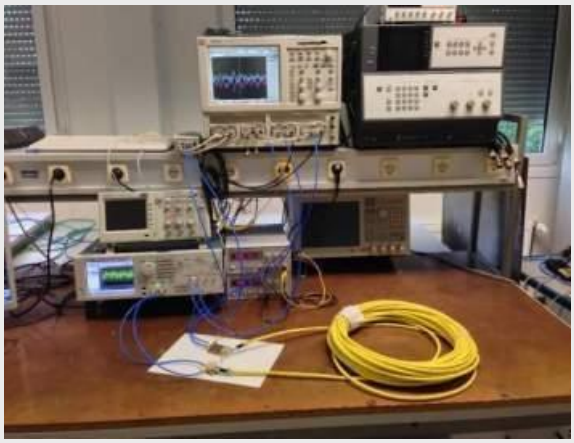


Bild 8: Prüfaufbau in der Hochschule Reutlingen / Deutschland

Wie bei den anderen Tests wurde wieder mit der Betrachtung eines Aderpaares –also 25GBit/s Übertragung – begonnen. Dabei wurden geordnete Bitfolgen *„selected sequence of bits“* und ungeordnete, also stochastische Bitfolgen pseudo *„random sequence of bits“* mit Hilfe der PAM 16 und der PAM 32 Kodierung über den Testaufbau geleitet.

Setup: Tektronix Arbitrary Waveform Generator AWG 70001A generated the signal.

In der Auswertung der so gewonnenen Daten wird davon ausgegangen, dass zur sicheren Datenübertragung von 100G über einen symmetrischen Kupferkanal das PAM 32 Kodierungsverfahren anzuwenden ist.

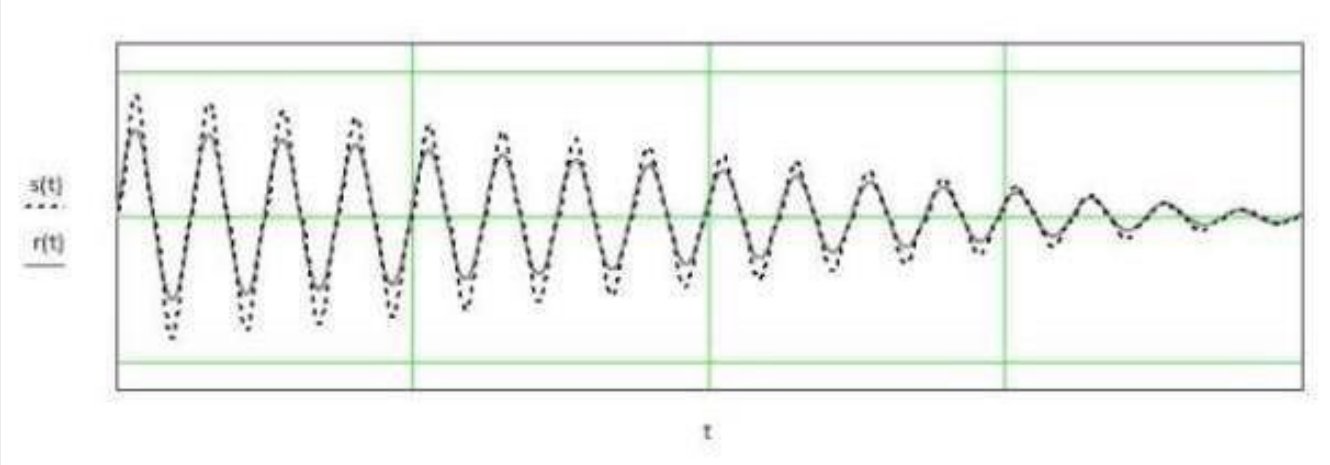


Bild 9: Sende- (gepunktete Linie) und Empfangssignal (durchgängige Linie) des PAM 32 Signals (1.6ns pro horizontaler Skalierung, 500 mV pro vertikaler Skalierung)

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com

5 Fazit

Das Verbundprojekt 100G hat die technische Machbarkeit der Übertragung von 100GBit/s Ethernet über symmetrische Kupferverkabelungssysteme nachgewiesen.

Der Aufwand in die Verbesserung bestehender Kabel- und Steckverbinder zur Ertüchtigung in Richtung 2,5GHz Übertragung ist überschaubar, so dass auch die Wirtschaftlichkeit einer solchen Lösung gesichert ist.

Im nächsten Schritt sind die Beschreibung der notwendigen Protokolle bei der IEEE802.3 und der dazu erforderlichen Verkabelung in der ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3 anzuregen.

Somit ist der Entwicklung der nächsten Generation von High-speed-Kupferverkabelungen für den Ausbau der Netzwerkinfrastruktur vom Rechenzentrum bis zur Industrie 4.0 der Boden bereitet.

6 Quellen

ITG Informationstechnische Gesellschaft im VDE

Impact of the common mode on high data rate transmission over balanced cabling

(Auswirkung/Einfluss der Gleichtaktunterdrückung bei der Übertragung hoher Datenraten über symmetrische Kupferleitungen) (14.10.2013)

IWCS THE International Cable · Connectivity Symposium

100 Gbps Over Four Pair Balanced Cabling

(100Gigabit Ethernet über eine 4-paarige symmetrische Kupferverkabelung) (08.11.2014)

HARTING Systems GmbH
Max-Planck-Straße 1, 32339 Espelkamp, Germany
Phone: +49 5572 47-97300, Fax: +49 5772 47-482
Systems@HARTING.com