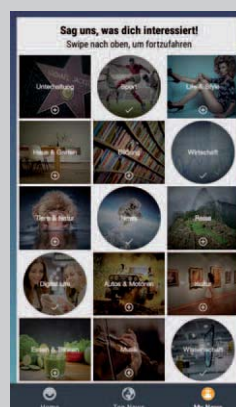


Forschung an den Hochschulen für Angewandte
Wissenschaften in Baden-WürttembergNr. 48
Oktober 2016

horizonte horizonte

anwendungsbezogen - zukunftsorientiert

Mit einem einfachen Low-Cost-Lithographie-Gerät entwickelt die Hochschule Reutlingen Mikro-Chips, die für die Detektion von wandernden Tumorzellen eingesetzt werden können, S. 10

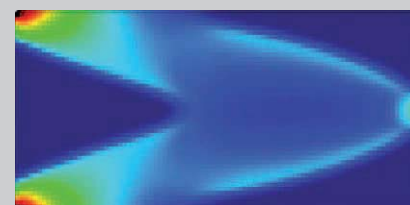


Wie verändern Smartphones die Nachrichtennutzung junger Menschen, eine Frage, der die Hochschule der Medien Stuttgart nachgeht, S. 34



Die Hochschule Ulm befasst sich mit der Optimierung der Einspeisung von Strom aus dezentralen Energiesystemen in Verteilernetze, S. 6

Die Optimierung von umströmten Bauteilen führt zur Energie- und Materialeinsparungen - wie das gehen kann, zeigt eine Dissertation an der Hochschule Karlsruhe, S. 23



Architektur, die Flüchtlingen eine Perspektive bietet - eine Initiative der Hochschule Konstanz, S. 3



Wie lässt sich die Bevölkerung im Katastrophenfall mit Trinkwasser versorgen - eine Lösung stellt die Hochschule Mannheim vor, S. 17

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

Albrecht Oehler¹, Yvan Engels², Rainer Schmid³, Katharina Seitz¹,

¹ Hochschule Reutlingen, ² LEONI Kerpen GmbH, ³ HARTING Electronics GmbH

Vorgestellt wird ein vom BMBF gefördertes Verbundprojekt, das sich zum Ziel gesetzt hat, die Machbarkeit der Datenübertragung von 100 Gbit/s über symmetrische Kupferverkabelungen zu untersuchen.

Deutschland im internationalen Vergleich

Das digitale Zeitalter ermöglicht es, sich immer und überall zu vernetzen. Die Digitalisierung ist daher ein wichtiger Aspekt in der heutigen Zeit. Im internationalen Vergleich belegt Deutschland in diesem Bereich jedoch keine Spitzenposition. Daher fördert und fordert die deutsche Bundesregierung den Ausbau der Digitalisierung umso stärker. Es geht dabei um leistungsfähige und sichere Kommunikationsinfrastrukturen für Gesellschaft und Wirtschaft.

Die jetzige Kampagne zum Thema Digitalisierung hat ihren Ursprung in den aktuellen technischen Treibern – den sogenannten Megatrends. Zu diesen gehören Big Data, Cloud Computing, Industrie 4.0 und das Internet der Dinge, welche nachhaltig unsere Produktions- und Dienstleistungslandschaft verändern. Für die Digitalisierung sind vor allem sichere, hochwertige und wirtschaftliche Netzinfrastrukturen wichtig, welche den ständig wachsenden Anforderungen an Bandbreite, Datenrate, Energiebereitstellung und Energieeffizienz genügen müssen. Insbesondere im Rechenzentrum, dem digitalen Brennpunkt dieses Geschehens, entwickelt sich der Bedarf an Übertragungs- und Speicherkapazitäten rasant. Die erfolgreiche Umsetzung auf dem Weg zur digitalen Gesellschaft ermöglicht es Arbeitsabläufe zu optimieren, Kosten zu senken und somit dem Standort Deutschland langfristig Wettbewerbsvorteile zu sichern.

Bedarf, Forderungen und Herausforderungen an die Netzwerktechnik

Die Daten- und Kommunikationsnetze werden immer dichter und die eingangs genannten Megatrends erfordern eine sichere und leistungsfähige Netzwerkinfrastruktur. Im Hinblick auf die industrielle Anwendung führt diese Entwicklung zwangsläufig zur Aufrüstung der Hardware in den Rechenzentren. Hier muss die Hardware so ausgelegt sein, dass sie den Datenverkehr nicht nur aufnehmen, sondern auch seinen stetig wachsenden Anforderun-

gen, gerade auch an Geschwindigkeit und Bandbreite, gerecht wird. Das trifft ebenso auf Kabel, Steckverbinder und andere Schnittstellen zu. Damit sind die Megatrends die zentralen Treiber für Technologien und Forschung zum Thema Bandbreite und Datengeschwindigkeit.

Anwendungsbereiche wie Gebäude, Rechenzentren und Produktionsstätten haben spezifische Anforderungen an die Verkabelungen und werden daher im Folgenden näher betrachtet.

Im Gebäude

Die strukturierte, informationstechnische 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 für größere Rechenzentren in diesem Jahrzehnt 100 Gbit/s Übertragungsraten zur Verfügung gestellt werden müssen. Die problemlose 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.

Das Forschungsprojekt 100G – Ein wirtschaftlich sinnvoller Technologiesprung

Vor diesem Hintergrund entstand das Projekt 100 G, um in diesem Bereich durch eine schnelle Datengeschwindigkeit Zukunftssicherheit zu generieren. Was im Bereich von Lichtwellenleiter bereits seit längerer Zeit Standard, aber auch nur zu deutlich höheren



Prof. Dr. A. Oehler



Y. Engels



Dipl.-Ing. (TU) R. Schmidt



M.Sc. K. Seitz

Kosten machbar ist, soll in diesem Projekt über vier verdrehte Aderpaare aus Kupfer realisiert werden. 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

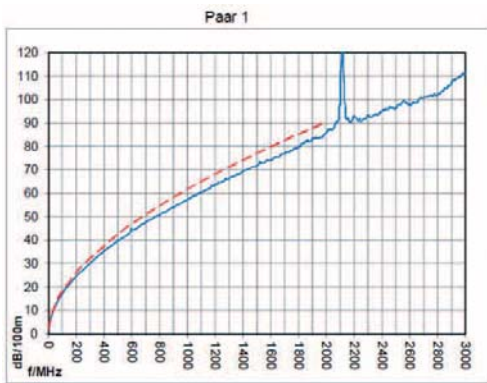


Abb 1: Insertion Loss eines 2.5 GHz Kabels (30m)

- Betrachtung des Kabels
- Betrachtung der Steckverbinder

es sich jeweils um enorme Technologiesprünge. Schon bei 100 MBit/s über symmetrische Kupferkabel meinten Experten, höhere Datenraten seien nicht über Kupferkabel übertragbar.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind vor allem Erfahrung und Fertigkeiten auf dem Gebiet der anwendungsspezifischen Forschung und der Prototypentechnik unerlässlich. Daher kooperieren die Unternehmen LEONI Kerpen GmbH und HARTING Electronics GmbH zusammen mit der Hochschule Reutlingen. Die drei Verbundpartner des Projektes zählen zu renommierten Vertretern ihres jeweiligen Fachgebiets. Durch deren intensive Zusammenarbeit im Projekt 100 G werden größtmögliche Synergien geschaffen.

Im Rahmen des Projektes sollte aufgezeigt werden, dass eine Erhöhung der Datenraten auf 100 Gbit/s über verdrehte Doppeladern theoretisch, aber auch technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Ziel des Projektes ist es, dieses wichtige Thema bei ISO/IEC JTC 1/SC 25 „Interconnection of Information Technology Equipment“ auf den Weg zu bringen. Dadurch wird die Erstellung einer internationalen Richtlinie angestrebt, die langfristig in eine internationale Norm übertragen werden soll. Für diese Richtlinie soll

als Ergebnis des Projektes ein erster Entwurf erstellt werden.

Durch das Projekt soll der Einstieg in höhere Datenraten auch über symmetrische Kupferverkabelung zur Überbrückung der letzten Entfernung zum Arbeitsplatz bzw. Zwischenverteiler ermöglicht werden. Eine typische Kabellänge für diese Anwendungsgebiete beträgt 30 m.

Versuchsaufbau und Messungen

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

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

- Übertragung über eine 4 paarige Kupferverkabelung

Die Einzelkomponenten können mathematisch durch eine Modellierung beschrieben werden. Diese Modellberechnungen werden mittels Messungen auf ihre Richtigkeit in der Praxis hin überprüft. Im Anschluss daran kann man die mathematisch beschriebenen Einzelkomponenten zu einem Gesamtübertragungskanal zusammensetzen. So ist es möglich, Grenzwerte zum Beispiel bzgl. der Bandbreite (in GHz) oder des Nahnebenschwagens (NEXT in dB), also dem Übersprechen von einem Paar auf ein anderes Paar, oder in der Längenbegrenzung (in m) vorauszusagen. Über diesen Ansatz konnten die notwendigen Schritte zur Untersuchung eines 100 G-Kanals klar definiert werden.

Um dieses entwickelte Modell letztlich mit Werten füllen zu können, bedarf es der Erhebung übertragungstechnischer Eigenschaften der Einzelkomponenten. Dazu sind Messreihen für Kabel und Steckverbinder aufgestellt worden. Letzere betrachten sogenannte mated pairs, also Steckverbindungen, die Stecker und Buchse im gesteckten Zustand untersuchen.

Zur Erstellung dieser Messreihen wurde die Messgeräteausstattung der drei Verbundpartner unter Hinzuziehung der Messgerätehersteller komplettiert und bis an seine Grenzen geführt. Parallel dazu wurden die Messaufbauten mit Anschlusseinheiten, Entzerrverstärkern und Kabel- und Steckverbinderprüflingen entwickelt, ausgetestet 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, wurden sog. Round-Robin-Tests durch-

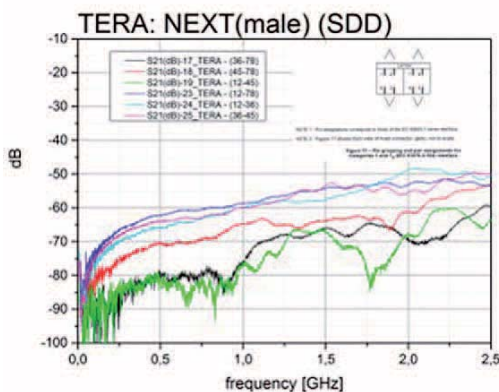


Abb. 2: NEXT für Steckverbinder IEC 61076-3-104

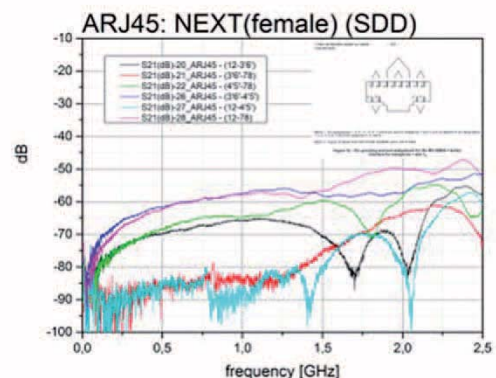


Abb. 3: NEXT für Steckverbinder IEC 61076-3-110

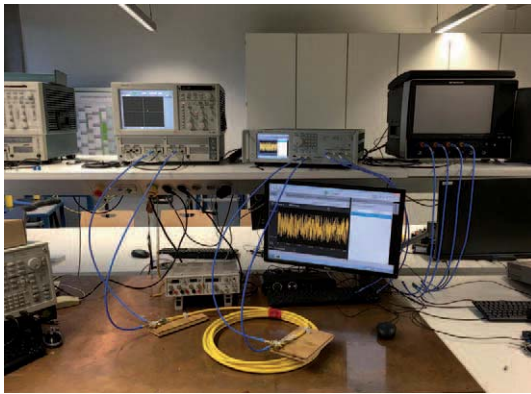


Abb. 4: Prüfaufbau in der Hochschule Reutlingen

geführt. Dabei handelt es sich um Messungen, bei denen vorbereitete Prüflinge von allen drei Partnern in ihren Laboren mit ihrer jeweiligen Messtechnik den gleichen Tests unterzogen werden. In diesem Fall war es der Prototyp eines neuen 2,5 GHz Kupferkabels. Gab es hier wesentliche Abweichungen bei den Prüfergebnissen, wurden die Ursachen analysiert und der Messaufbau sowie das Testequipment weiter verfeinert respektive korrigiert. Durch diese Vorgehensweise konnten die übertragungstechnischen Eigenschaften der Einzelkomponenten umfassend beschrieben werden. So lagen am Ende der Testreihen belastbare Werte für Kabel und Steckverbinder über einen Frequenzbereich bis 2,5 GHz vor. Die Ergebnisse der im Laufe des Projektes entstandenen Messungen wurden unterteilt in Messungen und Ergebnisse bezüglich Kabel, Steckverbinder, Komponentenebene und Übertragungskanal. Diese werden im Folgenden ausführlich dargestellt.

Ergebnisse der Kabelmessungen

Die Untersuchungsergebnisse der verschiedenen Prototypen von Kabeln haben zur stetigen Verbesserung des Designs der Kupferkabelkonstruktion (Paar in Metallfolie) geführt. Ein finaler Prototyp konnte alle wesentlichen übertragungstechnischen Parameter weitgehend erfüllen.

Dabei wird gegen eine angenommene Grenzkurve geprüft, die als notwendig für die 25 Gbit/s Übertragung (1 Paar) ermittelt wurde. Eines der wichtigsten Entscheidungskriterien für das Potenzial eines solchen Kabels ist die Dämpfungsmessung. Abbildung 1 zeigt den Dämpfungsverlauf eines Kabels mit einer typischen Anwendungslänge von 30 m. Die Dämpfung verläuft bis zu einer Bandbreite von 2,5 GHz unterhalb der gesetzten Grenzkurve und ist somit für eine so hohe Bandbreite nutzbar.

Ergebnisse der Steckverbindermessungen

Bei der Untersuchung des Übertragungsverhaltens von Steckverbindern wurde auf bereits bestehende Steckverbinderarten zurückgegriffen. Dabei bestätigte sich die Annahme, dass je besser die separate Schirmung der einzelnen Kontaktpaare in einem Steckverbinder konstruktiv ausgeführt ist, desto besser auch das Übertragungsverhalten bei hohen Frequenzen und großen Bandbreiten ist. Abbildung 2 und 3 zeigen die Messungen von Steckverbindungen mit Stecker und Buchse im gesteckten Zustand bezüglich Nahnebensprechen.

Zusammenführung der Untersuchungen auf Komponentenebene

Die Testergebnisse der Komponenten konnten nun im mathematischen Modell zusammengeführt werden. Die Untersuchungen anhand des Modells ließen den Schluss zu, dass eine Übertragung von 25 Gbit/s über ein Paar eines symmetrischen Kupferkanals von 30 m Länge mit Bandbreiten von 2,5 GHz oder darüber möglich ist.

Um die Gültigkeit dieser Aussage zu stützen, wurden Kanalmessungen durchgeführt. Dabei wurde der 30 m Übertragungskanal mit 26 m Kabel und je 2 m langen, konfektionierten Kabeln (Patchcords) mittels eines mo-

bilen Testgerätes bis 2 GHz gemessen. Die Messergebnisse konnten die Untersuchungen am Modell bestätigen.

Weitere Untersuchungen vereinfachter 30 m langer Kanäle mittels Labormesstechnik lieferten Messungen bis 3 GHz der Dämpfung (Insertion Loss) und Messungen zusätzlicher Parameter wie zum Beispiel Gruppenlaufzeit (Group Delay) und das für mehrere Paare gleichzeitig. Alle Ergebnisse unterstützen die Aussage der Machbarkeit der 100 Gbit/s Übertragung über vier Paare eines symmetrischen Kupferkanals.

Umsetzung der physikalischen Erkenntnisse zu einem 100 G-Übertragungskanal

In abschließenden Tests wurde der physisch aufgebaute 30 m Übertragungskanal mit Nutzsignalen belastet. Dabei sollte herausgefunden werden, welches Kodierungsverfahren für die Übertragung von 100 Gbit/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 eingespeist und mit den empfangenen Daten am anderen Ende verglichen. Wie bei den anderen Tests wurde mit der Betrachtung eines Aderpaares – also 25 Gbit/s Übertragung – begonnen. Dabei wurden geordnete Bitfolgen „selected sequence of bits“ und ungeordnete, also pseudo stochastische Bitfolgen „pseudo random sequence of bits“ mithilfe der PAM 16 und der PAM 32 Kodierung über den Testaufbau geleitet. Abbildung 4 zeigt diesen Prüfaufbau der Hochschule Reutlingen. Er beinhaltet einen Arbiträrgenerator, der die Bitfolgen generiert, hier pseudo stochastische Folgen, den Prüfling und ein Sampling Oszilloskop, welches die Empfangssignale ausgibt, die anschließend demoduliert und analysiert wurden. So konnte eine Übertragung von 25 Gbit/s mit geord-

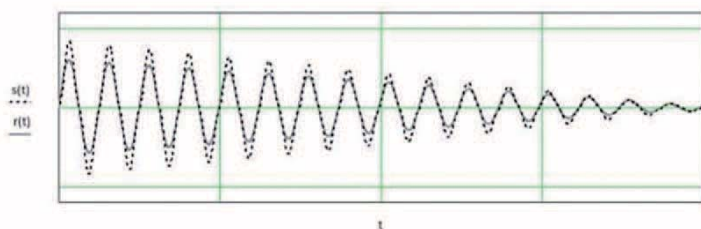


Abb. 5: Sende- (gepunktete Linie) und Empfangssignal (durchgängige Linie) des PAM 32 Signals (1.6ns pro horizontaler Skalierung, 500 mV pro vertikaler Skalierung)

neten Bitfolgen realisiert und anschließend dekodiert werden. Abbildung 5 zeigt das Sendesignal und Empfangssignal einer solchen geordneten Bitfolge. Mit Hilfe des Empfangssignals konnte eine mögliche Übertragung von 25 Gbit/s realisiert und demonstriert werden.

Fazit

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

Der Aufwand, der bei der Verbesserung bestehender Kabel- und Steckverbinder zur Erhöhung in Richtung 2,5 GHz Übertragung entsteht, ist überschaubar, sodass auch die Wirtschaftlichkeit einer solchen Lösung garantiert ist.

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

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf Grundlage eines Be-

schlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der Zeitraum dieser Förderungsstrecke sich von 01.12.2012 bis 28.02.2015. Das Aktenzeichen lautet: 01FS12022.



Quelle

A. M. Oehler, K. Seitz, D. Schicketanz, A. Franck, Y. Engels, R. Schmidt, M. Witte: 100 Gbps over four pair balanced cabling. International Wire & Cable Symposium, Proceedings of the 63rd IWCS Conference, 2014, S. 214 – 222.

Kontakt und Autoren

Prof. Dr. Albrecht Oehler, Professor für Informations- und Kommunikationstechnik an der Hochschule Reutlingen, Obmann ISO/IEC JTC 1 SC 25/WG3 und DKE GUK 715.3, Hochschule Reutlingen, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen, Tel.: 07121 271 5011, albrecht.oehler@reutlingen-university.de

Dipl.-Ing. (TU) Rainer Schmidt, Business Development Management Industrial Cabling, Chairman ISO/IEC JTC 1/SC 25, HARTING Electronics GmbH, Marienwerder Strasse 3, 32339 Espelkamp, Tel.: 030 565 82 782, rainer.schmidt@HARTING.com

Yvan Engels, Strategic Market Development / Standardization BU Datacom, LEONI Kerpen GmbH, Zweifaller Str. 275 – 287, 52224 Stolberg, Tel.: 0240217 359, yvan.engels@leoni.com

Katharina Seitz, B.Eng, M.Sc, Forschungsingenieur an der Hochschule Reutlingen und Doktorandin an der De Montfort University in Leicester, Großbritannien, Hochschule Reutlingen, Tel.: 07121 271 3131, katharina.seitz@reutlingen-university.de

Buchvorstellung: Nachhaltiges Eventmanagement aus Aalen

(Informationen des Verlags) Aus Forschung, Transfer und Lehre an der Hochschule Aalen und an mehreren Partnerhochschulen sowie aus der Arbeit der Lokalen Agenda 21 ist das Buch „Events nachhaltig gestalten“ entstanden, das nun im Verlag Springer-Gabler erschienen ist. Prof. Dr. Ulrich Holzbaur hat die Themen Eventsmanagement und Nachhaltige Entwicklung integriert, und neben konzeptuellen Grundlagen und Hilfestellungen mit Beispielen aus der Praxis in vielfältigen Projekten zu Erlebnisorientierung, Events und Nachhaltiger Entwicklung angereichert.

Dieser Leitfaden beschreibt sehr anschaulich, wie Eventmanager die zwei Megatrends Nachhaltigkeit und Erlebnisorientierung in ihrer Arbeit vereinen

können und dabei Menschen über den Eventanlass hinaus auch für die Idee der Nachhaltigkeit begeistern können. Deutlich wird, dass und wie die Integration von erlebnisorientiertem Event und Nachhaltiger Entwicklung gelingen kann. Ulrich Holzbaur stellt zunächst die Grundlagen von Eventmanagement und Nachhaltiger Entwicklung vor. Darauf aufbauend werden erprobte Strategien und Maßnahmen zur erfolgreichen Integration dieser Konzepte besprochen. Vielfältige Beispiele illustrieren die Vorgehensweise. Zahlreiche Checklisten und Formblätter – übersichtlich dargestellt im Anhang – sowie ein Planspiel erleichtern die Umsetzung.

U. Holzbaur: Events nachhaltig gestalten - Grundlagen und Leitfaden für



die Konzeption und Umsetzung von Nachhaltigen Events, Springer Wissenschaftsverlag, Springer-Gabler, 364 S., ISBN: 978-3658077167, Softcover 49,00, ebook 39,99