

Wenn Daten mit Highspeed durch Wellenleiter sausen

In Zukunft werden Kommunikationssysteme parallele Datenraten im Terabit/s-Bereich verarbeiten. Dies bedeutet für die einzelnen Verbindungen zwischen den Prozesseinheiten Datenraten bis 40 Gbit/s, was für elektrische Leitungen Probleme aufwirft. Mit optischen Verbindungen versuchen Forscher aus Hochschule und Industrie, diesen Engpass der Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung zu beseitigen.

Brain-tank ETHZ – Gespräch mit Prof. Heinz Jäckel, Electronics Laboratory

Was war Ihre Motivation, sich in diesem KTI-Projekt zu engagieren?

Als Fachgruppe «High Speed Electronics and Photonics» wollen wir die Möglichkeiten der tiefen Submikron-CMOS-Technologie für den 10–40-Gb/s-Bereich systematisch und wissenschaftlich ausloten im Hinblick auf sehr schnelle analoge und digitale Schaltungen in der Kommunikationstechnologie, und dies in Anbindung an eine herausfordernde Problemstellung der Industrie. Da wir am Institut eine ähnliche Fragestellung mit Transistoren und Mikrochips, basierend auf III-V-Verbindungshalbleitern, verfolgen, jedoch für wesentlich höhere Datenraten von 80–160 Gbit/s, ist diese quervergleichende Forschung sehr reizvoll und aufschlussreich. Das KTI-Projekt mit einem industriellen Prozess erlaubt eine Bearbeitung von wesentlich komplexeren ICs und realistischen Systemen, als wir sie intern an der ETH durchführen können.

Wie beurteilen Sie die bis Sommer 2005 erarbeiteten Resultate?

Eine Beurteilung ist noch verfrüht, da die Hardware eines ersten Entwurfsdurchgangs bei etwas tieferen Datenraten von 25 Gbit/s vorliegt, aber

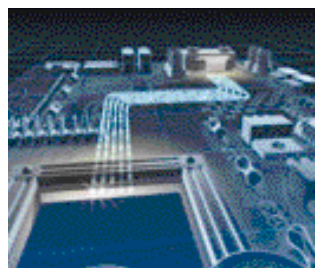
noch nicht vollständig charakterisiert ist. Die angestrebte finale IC-Version für eine Datenrate von 40 Gbit/s ist im Entwurfs- und Analysestadium und wird von den Erkenntnissen aus der ersten Designphase wesentlich profitieren können.

Worin sehen Sie den Nutzen dieser Kooperation für die ETHZ?

Neben der wissenschaftlichen Herausforderung und dem damit verbundenen Erkenntnisgewinn an vorderster Technologiefrente für den Standort Schweiz ermöglichen uns solche Projekte, einer unserer Hauptaufgaben – der Ausbildung von Doktoranden als Ingenieure von morgen – nachzukommen. Dies nicht zuletzt dank der mit dem Projekt verbundenen grosszügigen Förderung von Doktorandenstellen. Wertvoll ist für uns das Engagement von IBM Rueschlikon, die mit dem Zugang zu ihrer fortschrittlichen Technologie das Projekt grundsätzlich ermöglicht. Und last but not least verdanken wir es der KTI, die ein komplexes und risikoreiches Projekt mit Partnern aus Industrie, Hochschulen und Fachhochschulen grosszügig fördert. Besonders die synergetische Interaktion und Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Hoch- und Fachhochschulen haben in diesem Projekt Beispielcharakter für die Zukunft.

ELSBETH HEINZELMANN

Wenn Christian Kromer in den Rueschlikoner IBM-Labors seinen in IBM-90-nm-CMOS-Technologie gebauten Datenempfänger ausmisst, ist ihm wohl bewusst, dass er sich in «kostbarem» Umfeld bewegt. Clock-Generatoren, Sampling-Oszilloskop, Datengenerator, Multiplexer und Waferprober – um ihn herum sind Geräte von über einer Million Franken in Betrieb. Der Wissenschaftler der ETH Zürich arbeitet in einem KTI-Projekt als Doktorand an neuartiger Empfangselektronik, die grössere Datenmengen verarbeiten und damit

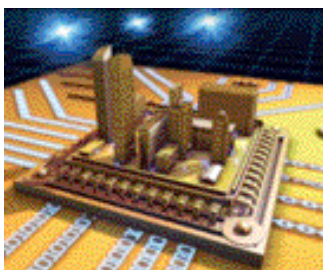


Zur Vermeidung elektrischer Verluste in elektronischen Leiterplatten arbeiten Forscher von IBM in Rueschlikon zusammen mit Partnern an integrierten optischen Wellenleitern. Ziel ist, in Zukunft einzelne elektrische Signallagen durch optische Lagen zu ersetzen. (Bild: IBM)

die Datenraten in Kommunikationssystemen massiv erhöhen kann.

Spitzen-Know-how im Netz verknüpft

Konzepte, Architekturen und Schaltungen für Hochgeschwindigkeitsdaten-transfer sind die Domäne von IBM, deren Forscher seit einigen Jahren schon über hochdichten Chip-zu-Chip-Verbindungen brüten. Wie ihre Marktstudien zeigen, werden Grosssysteme bis zum Jahr 2006 Datenübertragungsgeschwindigkeiten von 5 Tbit/s benötigen. 1 Terabit (Tbit) entspricht 1024 Gigabit (Gbit). Dies ist beispielsweise der Fall für grosse Internet-Switch-Router-Systeme und die Cache-Hierarchie von leistungsstarken Servern, bei denen das IBM-Forschungslabor in Rüschlikon weltweit Akzente setzt. Um die Grenzen des heute Machbaren zu überschreiten, kontaktierte Martin Schmatz, IBM-Leiter I/O Link Technology, das Zentrum für Mikroelektronik Aargau (ZMA). Es kann als «Sahnehäubchen» promovierte Doktoren mit fundierten Hochfrequenzkenntnissen in KTI-



Die immer grösser werdenden Schaltungen auf einem CMOS-Chip sind vergleichbar mit einer schnell wachsenden Stadt, wo das Wachstum der Verkehrswege mit dem zunehmenden (Daten-) Verkehr nicht Schritt halten kann. (Bild: IBM)



Marcel Kessel analysiert im IBM-Forschungslabor ein Testboard für mehrkanalige Datenübertragung bis 10 Gbit/s. Die zu testende CMOS-Schaltung (IBM-gonm-CMOS-SOI-Technologie) sitzt in einer Package auf dem Board, umgeben von Hochfrequenzsteckern, über die sich Testsignale mit Datenraten von 10 Gbps anlegen lassen. Die eigentliche Messung läuft unter Kontrolle eines Laptops. Er tauscht via USB Port und einem kleinen FPGA sämtliche Informationen bezüglich Einstellungen und gemessener Resultate mit dem Chip aus und steuert dazu die Laborgeräte. Die Software wurde am IBM-Forschungslabor entwickelt. (Bild: Elsbeth Heintelmann)

Projekte einbringen, wie es der IBM-Forscher ausdrückt. Unter der Federführung von ZMA-Leiter Professor Karl Schenk entstand ein Projekt, das die KTI, die Förderagentur für Innovation, mit einem beachtlichen Bundesbeitrag unterstützt. Mit von der Partie sind die Fachgruppe «High Speed Electronics and Photonics» von Professor Heinz Jäckel vom Institut für Elektronik (IfE) der ETH-Zürich sowie das Labor für Hochfrequenztechnik der HTI Burgdorf.

Tatsache ist, dass es den Kommunikationsnetzen zunehmend an der nötigen Bandbreite in den zentralen Verbindungsnetzen mangelt. Um grössere Datenpakete sekundenschnell verschicken zu können, muss die Übertragung leistungsfähiger, müssen die Datenraten in optischen Kanälen von 10 Gbit/s auf 40 Gbit/s gesteigert werden. Dafür gilt es, schnelle, integrierte Schaltungen sowie neue Aufbau- und Verbindungstechniken zu entwerfen. Verschie-

dene Forschungszentren arbeiten an Übertragungssystemen mit direkt modulierten Signalen mit einer Geschwindigkeit von 40 Gbit/s an der optischen Schnittstelle. «Da

Inserat

DIE OPTIMALE STEUERUNG FÜR IHRE MASCHINE

- ▶ EINFACH
- ▶ LEISTUNGSFÄHIG
- ▶ UNIVERSSELL

CNC-Steuerungen
• ETIernet
• CANopen

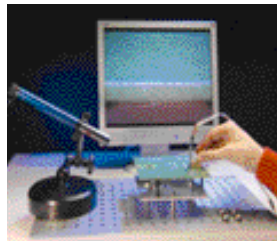
AFFOLTER

AFFOLTER TECHNOLOGIES SA
GRAND-RUE 76
CH-2735 MAËLERAY
TEL. +41 32 491 70 00
FAX +41 32 491 70 05
www.affoltech
info@affoltech.ch

EMO Hannover
14.21.9.2005 Halle 13/Stand B 74

TR 47

sich elektrische Signale nur für Datenraten bis 10 Gbit/s mit erschwinglichen Verbindungstechniken handhaben lassen, ist es technisch und kommerziell sinnvoll, elektrische Schnittstellen mit maximal 10 Gbit/s bereitzustellen, selbst wenn der optische Durchsatz 40 Gbit/s und mehr erreicht», erklärt Alex Huber, ZMA-Projektleiter. «Die nötige Wiederherstellung der Taktdaten und das Demultiplexing im Empfänger erfordern komplexe elektronische Funktionen. Diese waren bisher nur durch aufwändige SiGe-BiCMOS oder III/V-Prozesse in einen Einzelchip integrierbar.»



Testaufbau zur Demonstration von preisgünstigen Positioniermethoden für optische Module. Mit Hilfe einer Kamera wird getestet, ob ein selbst zentrierendes optisches Modul genügend Licht durch einen in die elektrische Leiterplatte integrierten Wellenleiter projiziert. (Bild: IBM)

CMOS-Prozess ein Muss

Allerdings ist die zulässige Schaltungskomplexität in diesen aufwändigen Technologien auf einige 10 000 Transistoren beschränkt. Allein mit CMOS-Prozessen ist es möglich, Millionen von Transistoren oder Schaltelementen (gates) zu integrieren und so komplexe elektronische Funktionen preisgünstig und mit geringem Energieverbrauch zu realisieren. Alex Huber: «Eine optische 40-Gbit/s-Schnittstelle mit einer elektrischen Schnittstelle bei einer Datenrate von 10 Gbit/s zu integrieren, ist aus preislicher und wissenschaftlicher Sicht interessant, wenn die Imple-

Starker Industriepartner für Pionierleistung: Gespräch mit Martin Schmatz, Leiter I/O Link Technology, IBM Research Rüschlikon

IBM hat sich in diesem KTI-Projekt sehr stark engagiert. Welche Chancen versprechen Sie sich davon?

Der Trend geht klar zu höheren Datenraten, entsprechend müssen wir heute die Weichen stellen. Wir glauben, dass die in diesem Projekt entwickelten Schaltungen und Konzepte in drei bis fünf Jahren Eingang in die Welt der Server finden, wo sie dazu beitragen, viele einzelne Rechner miteinander zu verbinden. Es sind nicht nur anspruchsvolle Rechenaufgaben wie die Simulation komplexer biologischer Vorgänge, die extrem hohe Übertragungsraten benötigen. Die Unterhaltungsindustrie hat ebenso einen zunehmenden Bedarf, beispielsweise für Super-HDTV-Bildschirme und Gamestations. Marktumsetzungen erfolgen auch indirekt, geht doch das erarbeitete Know-how mit den ausgebildeten Doktoranden in die Industrie und kann dort in verschiedensten Formen den Weg in Produkte finden. Unabhängig davon, ob dies innerhalb oder ausserhalb von IBM geschieht, resultiert ein positiver Einfluss auf das wirtschaftliche Umfeld. Man könnte sagen: «Solange es der Wirtschaft allgemein gut geht, können auch wir gute Geschäfte machen – vorausgesetzt, dass wir im Bereich der Hochtechnologie international Schritt halten!» Dies gilt für IBM ebenso wie für die «Firma Schweiz»!

Sind Sie mit den bis jetzt erzielten Resultaten zufrieden?

Unsere Aufgabe ist es, die grossen technischen Probleme aus dem Weg zu schaffen, damit unsere Entwickler und das Marketing die Umsetzungen realisieren können. Hier wurde ein grosser Schritt getan, und im inter-

nationalen Vergleich müssen sich die Ergebnisse absolut nicht verstecken. Im Gegenteil, die Resultate konnten und können an hochkarätigen internationalen Konferenzen gezeigt werden. Das internationale Interesse beweist, dass ein wirtschaftliches Potenzial gegeben ist. Mich beeindruckt, dass es gelungen ist, CMOS-Schaltungen mit guter Funktionalität weit oberhalb einer Frequenz von 40 GHz zu demonstrieren: 40 000 000 000 Schwingungen pro Sekunde ist für mich eine der möglichen Definitionen des Wortes «schnell».

Weshalb wählen Sie die Kooperation innerhalb eines KTI-Projekts, das ja den Industriepartner mit mindestens 50% der Projektkosten zur Kasse bittet?

Es ist wahr, dass IBM keine Gelder von der KTI erhält. Diese fliessen an die Hochschulen und sind durch IBM in Form von bereitgestellter Infrastruktur und Technologiezugriff aufzuwiegen. Vielleicht gerade deshalb eignen sich KTI-Projekte überaus gut für die Wirtschafts- und Hochschulförderung, muss doch die Wirtschaft durch eigene Investitionen Farbe bekennen und bekommt als Gegenleistung direkten Zugriff auf die Arbeiten der vom Bund geförderten Partner. Die KTI-Projekte sind übrigens aus administrativer wie wissenschaftlicher Sicht äusserst effizient. Damit wird ein «Verheizen» von Fördermitteln weitgehend vermieden. Die USA haben mit den – allerdings sehr teuren – DARPA-Programmen eine ähnliche Effizienz. In diesen US-Programmen bekommen neben den Universitäten sogar die Wirtschaftspartner direkt Geldmittel. Die KTI bietet eine hervorragende Symbiose von privatwirtschaftlichen Investitionen und staatlichen Beiträgen, lässt Bildung und Produktentwicklung nahe zusammenrücken. KTI-Projekte sollten deshalb mindestens beibehalten, wenn nicht ausgebaut werden.

mentierung in CMOS-Technologie erfolgt.» Im KTI-Projekt ging es deshalb darum, basierend auf einer 90-nm-CMOS-Technologie, einen komplett integrierten Empfänger mit einem optischen Input von 40 Gbit/s und einem elektrischen Output von 4 x 10 Gbit/s zu implementieren. Während das ZMA zusammen mit IBM das System entwarf und integrierte, darauf basierend dann die einzelnen Schaltungsblöcke skizzierte, besorgten die ETH-Wissenschaftler im Rahmen

mehrerer Dissertationen das Design der Teilschaltungen. Aufgabe der Gruppe von Professor Alfred Kaufmann an der HTI Burgdorf war es, die voll digitalen Schaltungsblöcke zu entwerfen. Diese übernehmen die wichtige Funktion, das Zusammenspiel der aufwändig optimierten analogen, hochfrequenten Teilschaltungen zu koordinieren und zu überwachen.

Sukzessiver Know-how-Aufbau

Für die Entwicklungsarbeiten konnten die Projektpartner auf Erkenntnisse aus KTI-Vorgängerprojekten zurückgreifen. In einen ging es um ein kombiniertes elektrisches und opto-elektronisches Breitbandsystem für universelle Chip-zu-Chip-Kommunikation extrem hoher Datenraten, im anderen um einen optischen Empfänger für 5–10 Gbit/s. Diese Arbeiten legten die Basis für die Implementierung von analogen und digitalen Schaltungen sehr hoher Geschwindigkeit für die faseroptische Kommunikation. «Innovativ im neuen Projekt ist der Sprung von den bisher angewandten, teuren Indium-Phosphid (InP)-Prozessen für die Implementierung von relativ einfacher 40-Gbit/s-Elektronik zur industriell verfügbaren, günstigeren CMOS-Technologie», so Alex Huber. «Damit lässt sich ein komplettes und komplexes System integrieren, das genügend Funktionalität aufweist, um im



Christian Kromer von der ETHZ beim Ausmessen seines in IBM-gonm-CMOS-Technologie gebauten Datenempfängers am Bitfehler-Messplatz bei IBM. Im Bild (von oben nach unten): Clock Generatoren bis 20 GHz und 40 GHz, ein Sampling-Oszilloskop mit 50 GHz Bandbreite zur Anzeige der Daten, ein schneller Datengenerator mit vier 12,5 Gbps Kanälen und Multiplexer bis 40 Gbps. Im Hintergrund ein 300-mm-Waferprober. (Bild: Elsbeth Heinzelmann)



Martin Schmatz, der heute den Bereich I/O Link-Technologie am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon leitet, dokumentierte am Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik der ETHZ und begleitete vor seinem Wechsel zu IBM die damalige Verwandlung des Micro Swiss-Zentrums in Brugg/Windisch zum heutigen Zentrum für Mikroelektronik Aargau. (Bild: Elsbeth Heinzelmann)

Mail-box

Dr. Alex Huber, ZMA – Zentrum für Mikroelektronik
 Fachhochschule Aargau Nordwestschweiz
 Steinackerstrasse 1, 5210 Windisch
 Tel. 056 462 46 11, hubera@zma.ch

Dr. Martin L. Schmatz, Manager I/O Link Technology,
 IBM Zurich Research Laboratory, Säumerstrasse 4
 8803 Rüschlikon, Tel. 044 724 83 10, mrt@zurich.ibm.com

Professor Dr. Heinz Jäckel, Electronics Laboratory
 High Speed Electronics and Photonics, ETH Zürich
 Gloriastrasse 35, 8092 Zürich, Tel. 044 632 27 57
 jaeckel@ife.ee.ethz.ch

KTI, Förderagentur für Innovation: www.kti-cti.ch

ANSON liefert Axial- und Radial-Ventilatoren preisgünstig und in Top-Qualität:

					
BAD-/WC-Ventilatoren beste Qualität für Einzelrohrführung, 1-Rohr-Entlüftung und mit Wärmerückgewinnung. Formschön.	ANSON Hochleistungsventilatoren mit Flanschplatten oder Wandring. 400–25000 m ³ /h. Alle Stromarten. Auch Ex-geschützt	Ventilatoren 10–50 cm Ø für direkten Rohranschluss. Auch Ex-geschützt. 150–15000 m ³ /h. Dazu Rohre, Aussengitter, Schalter. Von:	ANSON Ventilatoren Kastenform Auch superschallgedämmt. 125–800 mm Ø. Bis 20000 m ³ /h 600 Pa. Offerten überzeugen! Fragen Sie uns an:	Radial-Gebläse für Abluft, Apparatebau, etc. Alle Spannungen und Stromarten. Auch Ex-geschützt. 200–6000 m ³ /h. Fragen Sie uns an:	Ventilatoren und Gebläse energiesparend mit modernsten Steuerungen betreiben. Manuell, zeit-, druck-, temperaturabhängig etc. Fragen Sie an:

ANSON 01/461 11 11

für Beratung, Offerte und preisgünstige Lieferung
 Friesenbergstrasse 108 8055 ZÜRICH Fax 01/461 31 11

Wettbewerb neue Standards zu setzen.»

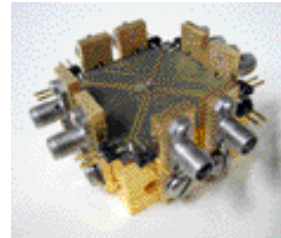
Im Sommer 2005 stand das Projekt bei Halbzeit – Zeit, eine erste Bilanz zu ziehen. Ein kompletter Empfänger für 25 Gbit/s wurde vom Projektteam entworfen, integriert und hergestellt, ebenso Teilschaltungen zu Testzwecken eingebaut. Diese sollen in Zukunft ausschliesslich für die Datenkommunikation zwischen einzelnen Chips zum Einsatz kommen. In einem nächsten Schritt wollen die Projektpartner das realisierte 25-Gbit/s-System und die einzelnen Teilschaltungen ausmessen sowie Systemuntersuchungen durchführen. Auch stehen Re-Design und Modifikationen der Schaltungen und des Systems an, um schliesslich

die angestrebten 40 Gbit/s zu erreichen. «Die bisherigen Messresultate dieser Testschaltungen sind viel versprechend und geben Hoffnung, dass das System funktioniert», bilanziert Alex Huber. «Dies wäre für uns ein grosser Erfolg, da schon ein 25-Gbit/s-System zur Weltklasse gehören würde.»

Es winkt ein Riesenmarkt

Bereits wittern die Projektpartner weitere Einsatzmöglichkeiten. «Ein neues Anwendungsgebiet für die optische Kommunikation mit sehr hoher Geschwindigkeit ist die Verbindung verschiedener Prozessormodule zu einem verteilten Computergitter (computing grid)», kommentiert Alex Huber. Er konstatiert, dass in diesem Bereich der

Bedarf an Kommunikationsbandbreite noch rasanter zunimmt als für Kommunikationssysteme. «Mikroprozessoren werden in naher Zukunft viele Prozessorkerne bei Taktfrequenzen von mehreren GHz kombinieren. Da dürfte die massiv parallele Verbindung solcher ultraschneller Multicore-Prozessoren zu Gittern Potenzial bieten, um noch höhere Rechenleistung zu erzielen.» Gerade bei diesen Multicore-Prozessen stellt die Bandbreite elektrischer Interconnects zwischen den verschiedenen Computersubsystemen einen Engpass dar. Eine Möglichkeit, die Kommunikationsgeschwindigkeit zu erhöhen, dürfte auch hier die Implementierung von optoelektronischen Kommunikationskanälen zwischen den ultraschnellen Rechnermodulen sein. In den Grundzügen ist die Implementierung von Empfänger- und Transmitterschaltungen für die Computer- und Daten-



Für den Test von sehr schnellen Schaltungen sind spezielle Testhalterungen notwendig. Diese verbinden den weniger als 1 mm grossen Chip in der Mitte des Testaufbaus mit verschiedenen hochfrequenten Koaxialsteckern. Modernstes Flip-Chip-Bonding kommt hier zur Sicherstellung optimaler Hochfrequenzeigenschaften zum Einsatz.

(Bild: IBM)

kommunikation ähnlich. Da jedoch für Letztere eine grosse Anzahl von Transceivern – Transmittern und Receivern – auf einem einzelnen Chip untergebracht werden muss, ist es nötig, einerseits einen möglichst energiearmen Betrieb zu realisieren und andererseits eine Alternative für die parallele Implementierung einer Vielzahl von Transceivern zu bieten. Letzteres bedingt, dass alle Transceiver-Komponenten auf einem einzelnen Chip integriert sind und den kleinsten Schaltungsbereich besetzen. Im ersten Fall braucht es modernste CMOS-Prozesse für die Implementierung, da die alternativen Bipolarprozesse SiGe oder III/V bei Hochgeschwindigkeit zu viel Strom pro Schaltungsoperation erfordern. Mit ihren Arbeiten legen die Projektpartner den Grundstein für eine raschere Datenübertragung, denn eines ist klar: Sind die Flaschenhälse der Schnittstellen beseitigt, könnte dies völlig neue Anwendungen erschliessen. ■

Elsbeth Heinzelmann, Journalistin für Technik und Wissenschaft, Basel

Inserat

VITRINEN

- Verkauf und Vermietung von Vitrinen
 - Sofort lieferbar
 - Individuelle Anfertigung
 - Katalog mit Preisliste auf Anfrage

b+m Vitrinen

www.vitrinen.ch

Wolfgang Meixner
 Hauptstrasse 38
 5212 Hausen b. Brugg
 Telefon 056 - 441 50 41
 Telefax 056 - 442 16 67