

# **Netzwerk-Redesign 2010:**

## **Neue Anforderungen, Technologien und Strukturen**

**von**

**Dr. Franz-Joachim Kauffels**

#### **1.4 Basistechnologie: die Integration optischer Komponenten hält uns den Rücken frei**

Die Grundprinzipien der Integration optischer Komponenten sind schon länger bekannt. Mittlerweile haben aber verschiedene Entwicklungen den Weg vom Labor in die Praxis gefunden. Manche von ihnen werden auch das Bild zukünftiger Corporate Networks erheblich prägen. Dieser Abschnitt erklärt die für uns wichtigsten Entwicklungen und erschließt eine extrem frohe Botschaft.

Zu meinem Leidwesen ist es den meisten Lesern dieser Publikation ziemlich gleichgültig, wie die zu übertragenden Datensignale auf eine Leitung und von ihr wieder zurückkommen, solange es funktioniert. Das ist natürlich legitim, aber so alle 10 Jahre kann man auch den Blick einmal darauf lenken, was sich hinsichtlich der Übertragungstechnologie mittlerweile entwickelt hat und wie es die uns interessierenden Komponenten letztlich beeinflusst. Daraus lassen sich nämlich wertvolle Schlussfolgerungen für die zukünftige Planung ableiten.

*Für die Ungeduldigen: die heute mögliche Integration optischer Komponenten bestimmt das Transceiver-Design. Wir können uns für einen sehr langen Zeitraum darauf verlassen, dass auch jenseits von 40- und 100-Gb-Ethernet ein dauerhaftes Leistungswachstum möglich und erschwinglich ist. Die Integration optischer Komponenten hält uns sozusagen dauerhaft in dieser Hinsicht den Rücken frei!*

Bei der optischen Übertragung ist vor allem die Integration optischer Komponenten die Haupt-Triebfeder. Der aktuelle kommerzielle Erfolg bei InP- und InGaAsP-basierenden Photonic Integrated Circuits (PICs) hat hier die Welt verändert. Bis vor wenigen Jahren war zwar die Theorie klar, aber es hat zunächst nicht zu Produkten geführt, die hinsichtlich ihres Preis/Leistungsverhältnisses oder in Bezug auf ihre Zuverlässigkeit geeignet gewesen wären, die bestehenden, aus Einzelkomponenten zusammengesetzten Schaltungen wie Transceiver zu ersetzen.

Mittlerweile gibt es jedoch eine Reihe stabiler Herstellungsprozesse, die bestimmte Komponenten zusammenfügen können. Die dabei erzielten Reduktionen in Größe und Gewicht waren dabei weniger überraschend als die Gewinne bei Kosten, Stromverbrauch, Zuverlässigkeit und Leistung. Nunmehr werden geeignete PICs für eine Reihe von Anwendungen entwickelt.

Kern der meisten PIC-Entwicklungen ist eine aktive und passive Integrations-technik für Wellenleiter. Art und Weise dieser Integrationstechnik entscheiden letztlich über die Brauchbarkeit der so entstehenden PIC-Plattformen für unterschiedliche Anwendungsbereiche.

### 1.4.1 Anwendungsbereiche für integrierte optische Komponenten

Es gibt für den Betreiber von Corporate Networks zwei wesentliche Anwendungsbereiche, nämlich die Kommunikation innerhalb einer Multi-Core Architektur und die Kommunikation über Systemgrenzen hinweg.

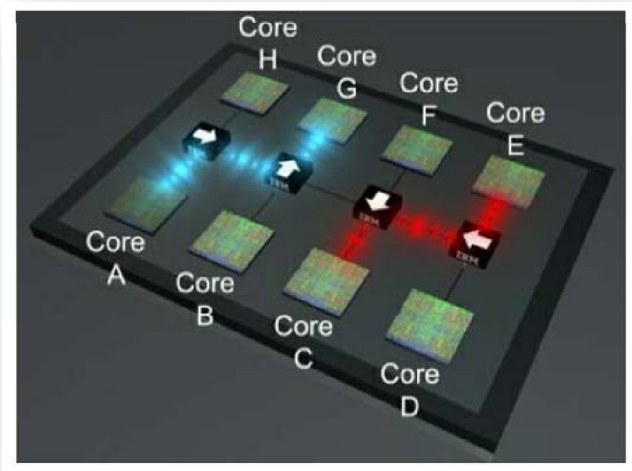
Wie schon in anderen Artikeln, Vorträgen und Studien dargelegt, basiert die gesamte aktuelle Datenverarbeitung auf Rechnern mit immer mehr Kernen und geeigneten Virtualisierungstechnologien für deren optimale Nutzung. Im normalen VLSI-Bereich gilt nach wie vor „Moore's Law“. Es wird oft als die Verdopplung der Leistung innerhalb von 18 Monaten missverstanden, tatsächlich bezieht es sich auf die Verdopplung von Transistorfunktionen in der Fläche. Die heute existierenden Multi-Core Architekturen haben allesamt ein gewaltiges Problem, nämlich die Kommunikation zwischen den Kernen und zwischen Kernen und weiteren Komponenten, wie Speicherchips. Intel, AMD und andere Hersteller arbeiten hier mit Hochdruck an Alternativen zur elektrischen Übertragung, denn man kann jetzt schon ausrechnen, wann diese endgültig ausgereizt sein wird. Die Probleme bei den sozusagen inneren Übertragungswegen stellen ein ernst zu nehmendes Hindernis für die zukünftige Leistungsentwicklung dar. Außerdem sind sie in erheblichem Maße für den Energieverbrauch der Chips und die dadurch entstehende Abwärme-Problematik verantwortlich. Die Probleme beginnen dann, wenn zwischen den Cores Mehrfache von 10 Gbit/s. übertragen werden sollen. Die Leistung einer Verbindung innerhalb des Chips, die zwar nur wenige mm lang, dafür aber auch nur 25 oder 40  $\mu\text{m}$  breit ist, liegt so etwa bei 2,5 ... 3,5 Gbit/s. Der „Querschnitt“ einer solchen Leitung liegt zwischen 20 und 50  $\mu\text{m}^2$ , der Innenwiderstand und die wegen ihm bei einer Übertragung aufzubringende Verlustleistung sind entsprechend sehr hoch. Für 10 Gbit/s Vollduplex zwischen zwei Cores benötigt man schon acht solcher Leitungen, ab circa 16 - 32 Cores entsteht ein Bus, dessen Fläche auf dem Chip größer als die der eigentlichen Rechnerkerne werden kann.

Gefragt ist also eine andere Übertragungstechnologie, die letztlich nur durch die PICs erreicht werden kann. Dabei ersetzen integrierte optische Wellenleiter die bisherigen Leiterbahnen und optische Transceiver die bisherigen elektrischen Treiber. Abbildung 1.5 zeigt die Idee.

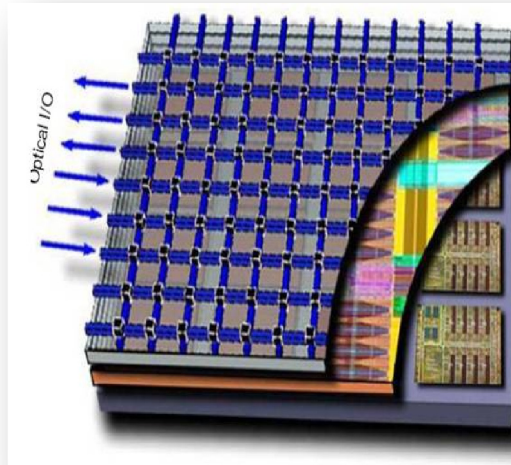
Eine unmittelbare Konsequenz aus diesen Überlegungen ist natürlich, dass die Herstellungsverfahren für VLSI im herkömmlichen Sinne und für PICs nicht zu völlig artfremden Gebilden führen, sondern dass man die entsprechenden Prozesse so kombinieren kann, dass sie ganz am Ende in einem einheitlichen Chipaufbau münden, sonst wäre das Ganze ja sinnlos.

Auf der ECOC 2009 zeigte IBM schon, wie man sich das vorstellt. Das elektrooptische Prozessor-Package besitzt in der oberen Schicht eine Menge integrierter und über Kreuzungspunkte verknüpfbarer Lichtwellenleiter. Die eigent-

lichen elektrischen Prozessoren liegen in der untersten Ebene. Die mittlere Schicht besteht aus vielen Lichtsendern- und – Empfängern, die die Konversion der elektrischen in optische Signale und vice versa vornehmen können. Siehe dazu Abbildung 1.6.



**Abbildung 1.5: Lösungen bei Providern und Corporate Networks**



**Abbildung 1.6: Lösungen bei Providern und Corporate Networks**

Da niemand von uns Einfluss auf diese Entwicklungen hat und dadurch auch keine Entscheidungsnotwendigkeiten entstehen, wollen wir die Entwicklung innerhalb eines Chips nicht mehr weiter betrachten.

Außerhalb des Multicore-Prozessorbereiches geht es vor allem um die Schaffung eines „harmonischen“ Systems, bei dem alle Komponenten sinnvoll zu-

sammenarbeiten können. Innerhalb eines Gehäuses oder eines Blades wird man noch sehr lange auf elektrische Kommunikation setzen, denn die aktuellen Busstrukturen auch bei Blade-Systemen sind bis weit in den Multi-Terabit-Bereich geeignet.

Sobald man aber die Enclosure verlassen möchte, kommt die optische Kommunikation im herkömmlichen, uns bekannten Sinne zum Tragen. Auch wenn 40GBASE-T technisch möglich sein wird, ist es fraglich, ob es auch vernünftig ist. Die Integration optischer Komponenten wird die Preise für Transceiver nachhaltig in den Keller drücken, denn jedes Mal, wenn man statt mehrerer einzelner Komponenten nur noch einen Chip mit zusammengesetzter Funktionalität verwenden kann, spart man Herstellungskosten. Außerdem werden Anwender, die heute 10-GbE einsetzen und in bestimmten Bereichen über 40-GbE nachdenken, in 3-5 Jahren auch zu 100-GbE kommen. Hier ist die Übertragung auf metallischen Leitern nicht nur nach absehbarem Stand der Technik, sondern auch aufgrund physikalischen Fundamental-Tatsachen (Shannon) definitiv nicht mehr einzusetzen.

Die Leistung optischer Übertragungssysteme ist in den letzten 10 Jahren etwa um den Faktor 100 gestiegen. Dies ist harmonisch zu anderen Bereichen der Übertragung. Bei Ethernet kamen wir in diesem Zeitraum von Fast Ethernet mit 100 Mbit/s zu 10-GbE. Im Wireless-Bereich kamen wir von 1 Mbit/s mit den frühen 802.11-Standards zu Mehrfachen von 100 Mbit/s bei 802.11n.

Damit ist aber jetzt Schluss. Ethernet auf metallischen Kabeln schafft noch einen Faktor 4, bei Wireless kann man sich in den nächsten Jahren noch den Faktor 10 – 40 vorstellen. Einzig und alleine die optische Übertragungstechnik ist in der Lage, quasi ungebremst weiterzuwachsen. Während im RZ 100-GbE ankommen, arbeiten Provider schon längst mit DWDM-Systemen im Bereich von 1 – 10 TbE auf großen Entfernungen. Es gibt bereits erste Überlegungen zu Petabit-Netzen (1000 Terabit/s).

Das sind natürlich heute unerschwingliche Systeme. Durch die Integration optischer Komponenten werden sie aber im interessierenden Zeitraum so billig werden, dass wir so ab 2015 durchaus damit beginnen werden, über Terabit Ethernet im RZ ernsthaft zu diskutieren.

Und nach wie vor fällt es in den Zuständigkeitsbereich eines Netzwerklers, sich derartige Dinge anzusehen und ggf. entsprechende Entscheidungen zu treffen.

Bevor ich Beispiele für die aktuelle Entwicklung zeigen kann, müssen wir die Basiskomponenten optischer Kommunikationssysteme besprechen.

### 1.4.2 Basiskomponenten

Optische Basiskomponenten sind generell:

- Lichtsender oder Strahlungsquelle,
- Lichtwellenleiter,
- Verstärker,
- Lichtempfänger.

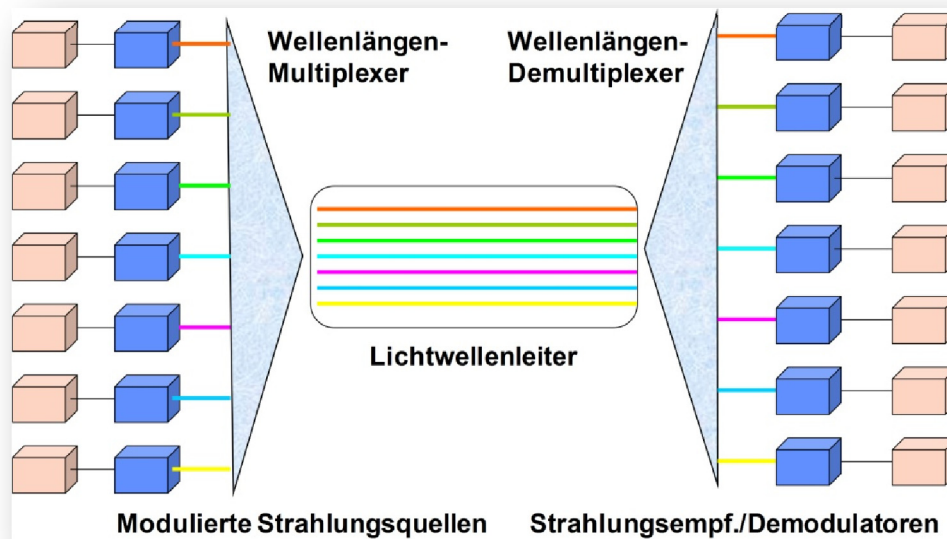
Möchte man Informationen übertragen, kommen

- Modulatoren und
- Demulatoren

hinzu. Möchte man auf einem Lichtwellenleiter mehrere Informationsströme parallel übertragen (CWDM, DWDM), benötigt man desweiteren

- Wellenlängenmultiplexer und
- Wellenlängendemultiplexer.

Die Abbildung 1.7 zeigt den Aufbau eines optischen Übertragungssystems mit diesen Komponenten. Die Leistung eines solchen Systems ist von der Einzel-Leistung der Komponenten abhängig.



**Abbildung 1.7: Mehrkanal-Wellenlängenmultiplex-Übertragungssystem**

Lichtwellenleiter betrachten wir hier nicht weiter, sie sind in anderen Publikationen hinreichend dokumentiert und tragen zum Verständnis der integrierten optischen Technologie nicht weiter bei.