

Glasfaser

Der Übergang von 10 Gigabit zu 40 Gigabit Systemen

Mit Hilfe der Wellenlängen-Multiplextechnologie (DWDM: Dense Wave Division Multiplexing) lassen sich Dutzende Von Wellenlängen in einer Glasfaser bündeln. Jeder einzelne dieser Kanäle kann schon immense Datenmengen transportieren; üblich sind heute 10 Gigabit. Um Glasfasern noch effektiver auszunutzen, wird zunehmend der Einsatz von 40 Gigabit-Systemen geplant. Hierbei müssen also auf einer Wellenlänge viermal so viele Impulse, von denen jeder ein Datenbit repräsentiert, übertragen werden. Im Prinzip entspricht dabei ein Lichtblitz der 1, eine Dunkelpause der 0. Diese Impulse huschen mit einer Geschwindigkeit von 200 000 km pro Sekunde durch die Glasfaser, denn dort wird die maximale Lichtgeschwindigkeit, die im Vakuum 300 000 km pro Sekunde beträgt, nur zu zwei Dritteln erreicht.

In einem 10 Gigabit-System kann ein einzelner Impuls maximal den zehnmilliardsten Teil einer Sekunde oder 100 Attosekunden dauern. Und während ein 1-Sekunden-Impuls einen Lichtstrahl von 200 000 km Länge erzeugen würde, ist der Lichtstrahl oder die Lichtpause – eines Impulses im 10-Gigabit-System nur ganze 2 Zentimeter lang.

In einem 40-Gigabit-System drängen sich die Impulse dann schon im 5-Millimeter-Abstand – aber immer noch mit der gleichen Geschwindigkeit. Deshalb ist es auch eigentlich falsch – auch wenn es sich eingebürgert hat -, wenn man beim Wechsel zu einem System mit einer höheren Bitrate von der Erhöhung der Übertragungsgeschwindigkeit spricht. Denn erhöht worden ist lediglich die Übertragungskapazität oder die Dichte der übertragenen Daten. Das System-Upgrade ist eher vergleichbar mit einer Autobahn, auf der vorher alle Autos einen abstand von 200 Metern einhakten und mit 200 Sache dahin brettern. Danach geht es noch genauso schnell voran – nur ist jetzt der Abstand auf 50 Meter geschrumpft, wodurch natürlich viermal so viele Autos auf der Autobahn fahren können.

Dass auf der dichter befahrenen Autobahn das Unfallrisiko steigen wird, ist wahrscheinlich.

In der Glasfaser zerfließen die Lichtimpulse

Auch bei einem 40 Gigabit System macht der geringe Abstand zwischen den Impulsen den Entwicklern von Übertragungssystemen zu schaffen. Ein dort verstärkt auftretender Störeffekt ist, dass die einzelnen Impulse während ihrer Reise durch die Glasfaser immer länger werden. 40 Gigabit Systeme reagieren auf diese Signalverbreiterung bereits 16 mal so empfindlich wie 10 Gigabit Systeme. Die Impulsverbreiterung kann zu der so genannten Intersymbol-Interferenz führen, bei der sich benachbarte Impulse überlappen, was zu Übertragungsfehlern führt. Zurückzuführen ist das Auseinanderlaufen der Impulse vor allem auf die **chromatische Dispersion**.

Chromatische Dispersion:

Durch diesen physikalischen Effekt haben verschiedene Wellenlängen, also verschiedenen Farben, in ein einem bestimmten Medium wie Glas geringfügig unterschiedliche Laufzeiten. Abhängig ist die Laufzeit einer bestimmten Wellenlänge vom Brechungsindex des Glases.

In Glasfasernetzen sorgen spezielle Module, so genannte DCMs (Dispersion Compensating Modules), für die Kompensation der chromatischen Dispersion. DCMs sind speziell dotierte Glasfasern, die den Effekt der chromatischen Dispersion wieder umkehren können. Ein Nachteil dieser Kompensationsmodule ist jedoch, dass sie die Signale stark abschwächen. Diesem Effekt kann aber durch eine entsprechende Positionierung der DCMs in der Nähe von optischen Verstärkern recht einfach entgegengewirkt werden.

Die heute eingesetzten DCMs korrigieren jedoch aus Kostengründen viele Wellenlängen. Die Wirkung bei Wellenlängen am oberen oder unteren Rand ihres Wirkspektrums ist deshalb nicht optimal. In Carrier-Netzen befinden sich Netzwerkknoten, in denen die optischen Signale elektrisch regeneriert werden, üblicherweise in 80 bis 120 km Entfernung.

Um in diesen Netzen Daten mit 40 Gigabit pro Sekunde zu übertragen, reicht die recht unspezifische Wirkung von heutigen DCMs allerdings nicht mehr aus. Eine feinteiligere Kompensation, mit der höhere Bitraten möglich werden, würde jedoch eine größere Anzahl von heutigen DCMs voraussetzen – was man eben aus Kostengründen vermeiden möchte. Die Forschung arbeitet

deshalb auch an neuen Technologien wie beispielweise dynamischen Kompensatoren, die die Dispersion in verschiedenen Wellenlängen besser korrigieren können.

Neben der chromatischen Dispersion machen den Highspeed-Netzen vor allem die so genannten **nichtlinearen Effekte** zu schaffen.

Sie unterteilen sich in zwei Gruppen:

Die erste Kategorie **beeinflusst die Energie eines Impulses**, die zweite **beeinflusst die Form eines Impulses**.

Zwei Effekte, die die Energie eines Impulses verändern, sind das:

Stimulated Brillouin Scattering (SBS) und das Stimulated Raman Scattering (SRS).

Beide können einen Impuls sowohl in als auch entgegen seine Laufrichtung streuen. Im Endeffekt entsteht dabei ein gestreutes Signal, das immer eine größere Wellenlänge hat. Hierdurch haben SDS und SRS ähnliche Auswirkungen: Durch beide Effekte können bestimmte DWDM-Kanäle längerwellige Kanäle verstärken, wobei sie ihre eigene Energie aufbrauchen.

Störeffekte lassen sich auch positiv nutzen

SBS und SRS machen sich deshalb vor allem dann negativ bemerkbar, wenn man auf eine Faser einen zunehmend Anzahl von Wellenlängen packt, wodurch deren Abstand immer geringer wird. Durch beide Effekte kann es so leichter zu Interferenzen kommen. Diese Störeffekte lassen sich aber auch nutzen, wie beispielweise bei der Raman-Verstärkung: Dabei wird SRS eingesetzt, um durch die Einspeisung einer bestimmten Wellenlänge in eine Faser einem Kanal mit niedriger Frequenz ohne opto-elektronische Wandlung wieder mehr Energie zuzuführen.

Ein als Four Wave Mixing (FWM) bezeichneter Effekt wirkt sich besonders störend aus: Er lässt ab einer bestimmten Intensität des Laserlichts Geisterkanäle entstehen. Nach einer festen Formel können durch FWM aus einem Acht-Kanal-System schon 224 Geisterkanäle entstehen, bei einem 16-Kanal-System sind es bereits 1920. Wenn einige dieser neuen Wellenkanäle auf echte Datenkanäle fallen oder Interferenzen mit diesen entstehen, kommen auf der Empfängerseite schnell nur noch chaotische Signale an.

Die Modulationsinstabilität (MI) zählt zu beiden Gruppen der nichtlinearen Effekte, sie beeinflusst also die Energie und die Form des Impulses. Hierbei verstärkt sich das Signalrauschen, der resultierende Effekt ist ähnlich wie bei der chromatischen Dispersion ein auseinanderlaufen des Signals. Die störenden Auswirkungen der MI lassen sich deshalb auch durch den richtigen Einsatz von DCMs reduzieren.

Der Brechungsindex ändert sich zwar über das gesamte Lichtspektrum für weit auseinanderliegende Wellenlängen, aber für den Bereich, der in DWDM-Systemen eingesetzt wird, kann diese Größe als konstant oder linear angesehen werden.

Doch in Abhängigkeit von der Signalstärke des Lichts – wenn diese eine bestimmte Energie überschreitet – kann sich der an sich konstante Brechungsindex aber doch verändern.

Diese Nichtlinearität des Glases führt zu einem weiteren Effekt, der Self-Phase-Modulation (SPM). Da die Bits als Impulse unterschiedlicher Intensitäten, also hell und dunkel, codiert werden, beeinflusst ein Lichtimpuls den Brechungsindex mehr als eine Lichtpause – und wird durch diesen veränderten Brechungsindex selbst verändert. Dabei verlangsamt sich die ansteigende Flanke des Impulses, die abfallende wird schneller – es entsteht also ein weiterer Dispersionseffekt. Über einen weiteren Effekt, der Cross-Phase-Modulation (XPM), können sich in DWDM-Systemen auch benachbarte Kanäle durch diese Art der Dispersion negativ beeinflussen.

Spezialmaterial regeneriert die Signale

Mit den verschiedensten Tricks versuchen die Netzwerker all diesen Störeffekten beizukommen. Oft hilft dabei schon die Tatsache, dass sich gewisse Effekte gegenseitig aufheben. So eignen sich Erbium-dotierte Faserstücke, so genannte EDFAs (Erbium Doped Fiber Amplifiers), gut zum kostengünstigen, rein optischen Verstärken der Datenbits. Ihr Nachteil: Sie verstärken die

Signale so, dass sie mit abrupt gesteigerter Energie weiterreisen – und hierdurch wird das Auftreten von nichtlinearen Effekten wahrscheinlicher. Werden dagegen spezielle EDFAs in Verbindung mit Raman-Verstärkern eingesetzt, dann erhält man eine verteiltere Signalverstärkung, bei der die unerwünschten Nebeneffekte noch nicht auftreten. Ein weitere Kniff, um die Gesamtenergie eines Bitstroms und damit Störeffekte zu verringern, sind andere Codierungen der Bits. Die traditionelle Methode, 1 gleich hell und 0 gleich dunkel, wird als Non-return-to-Zero (NRZ) bezeichnet, weil die Übertragung eines gesamten Einer-Bits hell entspricht. Bei der Return-to-Zero-Codierung (RZ) wird die 1 nur durch Licht in der ersten Hälfte des Bits codiert – damit wird die Gesamtenergie eines Bitstroms halbiert.

Nicht jedes Glas taugt für die Faser

Um Daten per Laserlicht in Glasfasern übertragen zu können, muss das Material der hauchdünnen Lichtwellenleiter die passenden Eigenschaften haben. Ein entscheidender Faktor ist dabei die Dämpfung durch die Faser. Sie bestimmt den Wert der Lichtmenge, die am Ende der Faser wieder herauskommt. Würde einfaches Fensterglas für die Herstellung von Glasfasern verwendet werden, dann kämen die Laserimpulse nicht sehr weit: Schon nach nur 60 Zentimetern wird in gewöhnlichem Fensterglas Licht auf etwa ein Tausendstel des Ausgangswerts abgeschwächt. Gemessen wird die Dämpfung in Dezibel (dB). Mit dieser auf dem Zehnerlogarithmus basierenden dimensionslosen Größe werden die Verhältnisse von Eingangs- und Ausgangsleistungen angegeben. Eine Dämpfung von 10 dB entspricht einer Abschwächung auf ein Zehntel. 20 dB auf ein Hundertstel und 30 dB auf den tausendsten Teil.

Erst Ende der 60er-Jahre ist für die Herstellung von optischen Fasern ein neues Verfahren entwickelt worden, mit der deutlich geringere Dämpfungswerte erreicht werden konnten. Heute haben Glasfasern Dämpfungswerte von nur wenigen zehntel-dB pro Kilometer. Das Ausgangsmaterial wird dabei nicht mehr aus Quarzsand geschmolzen. Stattdessen wird eine Mischung aus Silizium- und Germaniumgas auf das innere einer Glasröhre aufgedampft, bis die Röhre vollständig gefüllt ist.

Es entsteht so ein gut ein Meter langer Stab, dessen Aufbau im Durchmesser bereits dem der Glasfaser entspricht: Im Inneren befindet sich nämlich das Kernglas, der so genannte Core. Dieser ist umgeben vom Cladding, dem Mantel. Beide unterscheiden sich geringfügig durch ihren Brechungsindex, was bewirkt, dass ein Lichtstrahl an der Grenzfläche reflektiert wird.

Die dünne Glasfaser entsteht dann, indem der Glasstab mit induzierter Hitze durch Radiowellen nach und nach geschmolzen wird. Dies erfolgt ganz oben in einem Turm, von wo nach dem Beginn des Schmelzens ein Tropfen nach unten fällt und die Faser nach sich zieht, die dann am Boden des Turms mit Längen von bis zu 100 Kilometern aufgewickelt wird.

Mithilfe von Messgeräten werden aus dieser Faser fehlerhafte Stücke identifiziert und herausgetrennt, um Faserstücke von üblicherweise 50 Kilometer Länge für die weitere Verarbeitung zu erhalten.

Aktueller Stand der Entwicklung laut Computerzeitung vom 14. Januar 2002:

Die Firma Alcatel hat auf einer 1500 km langen Glasfaserstrecke 5 Terabit pro Sekunde übertragen. 125 Kanäle zu je 40 Gigabit pro Sekunde wurden dazu mit der Wellenlängenmultiplex-Technologie gebündelt. Die damit erreichte Kapazität reicht für 80 Millionen gleichzeitige Telefongespräche aus.

(Alle Berichte aus der Computerzeitung vom 8. November 2001 und vom 14. Januar 2002)