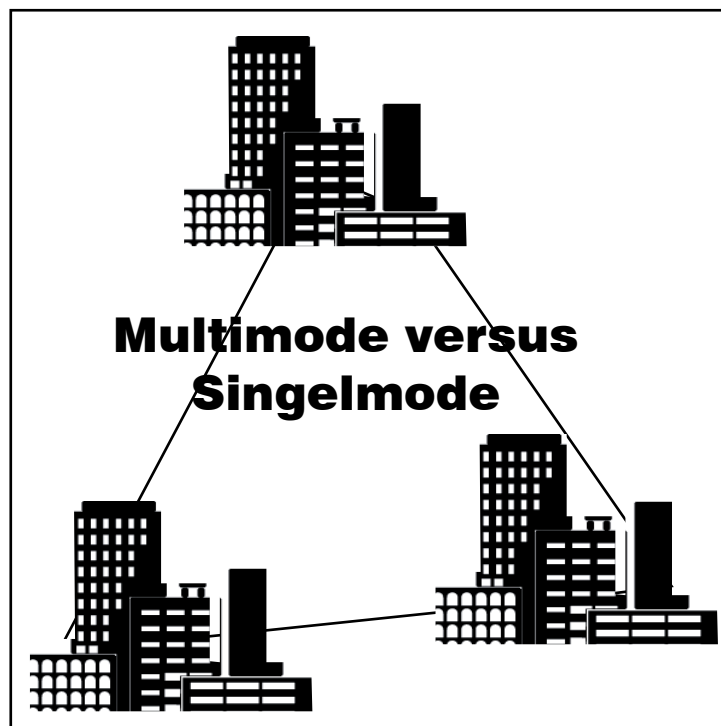


# Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

von Dipl.-Ing. Hartmut Kell



Für den Aufbau einer Verkabelung zur Verbindung von Verteilern, allgemein als Backbone-Verkabelung bezeichnet, hat sich bereits in den 90er-Jahren die Glasfasertechnik als Hauptmedium etabliert. Die Überarbeitung der damit verbundenen Kabelstandards ist im Vergleich zur Kupfertertiärverkabelung eher behäbig vonstatten gegangen.

Der Grund dafür ist, dass die Anforder-

ungen der im Backbone-Bereich benötigten Datenraten an die Verkabelung „bescheiden“ waren und ein permanentes Nacharbeiten nicht notwendig wurde; das galt bis zur Einführung von Gigabit-Ethernet. Mit der Einführung von Gigabit-Ethernet insbesondere der Einführung von noch höheren Datenraten änderten sich die Anforderungen sprunghaft, so dass sowohl die Nutzbarkeit der vorhandenen Verkabelung als auch die Anforderungen

an eine neue Backbone-Verkabelung teilweise völlig neu analysiert werden muss. Häufig werden bei dieser Analyse die physikalischen Anforderungen der Ethernet-Zugangsverfahren zu wenig betrachtet und man wird trotz einer Erfüllung der Kabelnormen bei der Verkabelungsnutzung mit erheblichen Beeinträchtigung konfrontiert.

weiter auf nächster Seite

## Schwerpunktthema

# Singlemode und Multimode in der Backbone- Verkabelung

Fortsetzung von Seite 1



Dipl.-Ing. Hartmut Kell kann bis heute auf eine mehr als 20-jährige Berufserfahrung in dem Bereich der Datenkommunikation bei lokalen Netzen verweisen. Als Leiter des Competence Center IT-Infrastrukturen der ComConsult Beratung und Planung GmbH hat er umfangreiche Praxiserfahrungen bei der Planung, Projektüberwachung, Qualitätssicherung und Einmessung von Netzwerken gesammelt und vermittelt sein Fachwissen in Form von Publikationen und Seminaren.

Der nachfolgende Artikel zieht neben den Empfehlungen der anwendungsneutralen Kabelnormen auch die spezifischen Anforderungen der wichtigsten Ethernet-Zugangsverfahren heran und leitet daraus Planungsempfehlungen ab für das Design von modernen Primär- und Sekundärverkabelungen.

## Elemente einer Backbone-Verkabelung

Am Anfang des Artikels wird zunächst eine Begriffsbestimmung durchgeführt, diese vereinfacht das Verständnis der Erläuterungen. Da in der Normierung DIN/EN 50173 eine Begriffsbestimmung der Grundelemente sehr anschaulich durchgeführt wird, erscheint eine Übernahme der dortigen Definition von Teilelementen der Kommunikationsverkabelung und damit der Backbone-Verkabelung sinnvoll. Eine Verkabelungsanlage, die zur Informationsübertragung genutzt wird, besteht gemäß DIN aus Verteilern und einer Verkabelung zwischen diesen Verteilern. Der Begriff des Verteilers bezeichnet weder den Schrank noch den Raum, sondern er liefert eher eine funktionelle Beschreibung. Obwohl der Begriff des „Verteilerpunktes“ diese Definition besser trifft, soll im Sinne der Norm im weiteren Text von Verteilern gesprochen werden. Folgende Verteiler kennt die Norm:

- Standortverteiler (SV),
- Gebäudeverteiler (GV),
- Etagenverteiler (EV),
- Sammelpunkt (SP).

Das zweite elementare Teilelement zum Aufbau einer Kommunikationskabelanlage besteht aus der Verkabelung zwischen den Verteilern bzw. auch aus der Verkabelung zwischen Teilnehmeranschluss (Endgerätedose) und Verteiler:

- Primärverkabelung,

- Sekundärverkabelung,
- Tertiärverkabelung.

Die DIN/EN 50173 definiert diese Teilelemente wie folgt:

**Standortverteiler** Verteiler, von dem die Primärverkabelung ausgeht.

**Gebäudeverteiler** Verteiler, an dem das (die) Sekundärkabel endet(n) und auf dem das (die) Primärkabel aufliegen darf (dürfen).

**Etagenverteiler** Verteiler, der zur Verbindung von Tertiärkabel, anderen Teilsystemen der Verkabelung und aktiven Geräten benutzt wird.

**Sammelpunkt** Verbindungspunkt im horizontalen Teilsystem der Verkabelung zwischen dem Etagenverteiler und dem informationstechnischen Anschluss.

**Primärkabel** Kabel, das den Standortverteiler mit dem (den) Verteiler(n) verbindet. Primärkabel dürfen auch Gebäudeverteiler direkt miteinander verbinden.

**Tertiärkabel** Kabel, das den Etagenverteiler mit dem (den) informationstechnischen Anschluss (Anschlüssen) oder dem (den) Sammelpunkt(en) verbindet.

Sammelpunkt wie auch die Tertiärverkabelung spielen im Zusammenhang mit der im Artikel betrachteten Backbone-Verkabelung keine Rolle, betrachtet werden nur die Primär- und Sekundärverkabelung.

Im Falle eines anstehenden Redesign dieser Verkabelung sind 2 Hauptfälle zu unterscheiden:

1. Ein neues Gebäude (oder ein neuer Etagenverteiler) muss an eine vorhandene Kommunikationsverkabelung angebunden werden.
2. Die vorhandene Verkabelung zum vorhandenen Gebäude (oder vorhandenen Etagenverteiler) unterstützt die geforderten Zugangsverfahren nicht mehr.

Insbesondere die beabsichtigte Welterweiterung einer vorhandenen Verkabelung, möglicherweise ergänzt um neue Teilstrecken, wird vor allem bei hohen Datenraten von mehr als 1 Gbit/s sehr häufig nicht ohne massive Änderungen im Design oder massiven Beschränkungen bei der Materialauswahl möglich sein. Die Qualität der Verkabelung gibt die maximale Übertragungsraten vor und auf diese Qualität kann man sowohl bei der Planung wie auch bei der Realisierung starken Einfluss nehmen. Um einen solchen Einfluss nehmen zu können, muss im Planungsprozess festgelegt werden, welche Datenraten im Backbone-Bereich im Laufe des Nutzungszeitraumes der Verkabelung potenziell bereitgestellt werden sollen. Daraus leiten sich die „nachrichtentechnischen“ Anforderungen ab. Nicht jede Erhöhung der Datenrate soll einen Wechsel oder eine Veränderung der Verkabelung nach sich ziehen. Eine gute Planung ist bestrebt, einen sehr langen Nutzungszeitraum für möglichst alle in diesem Zeitraum entwickelten bzw. benötigten Datenraten und Übertragungs-

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

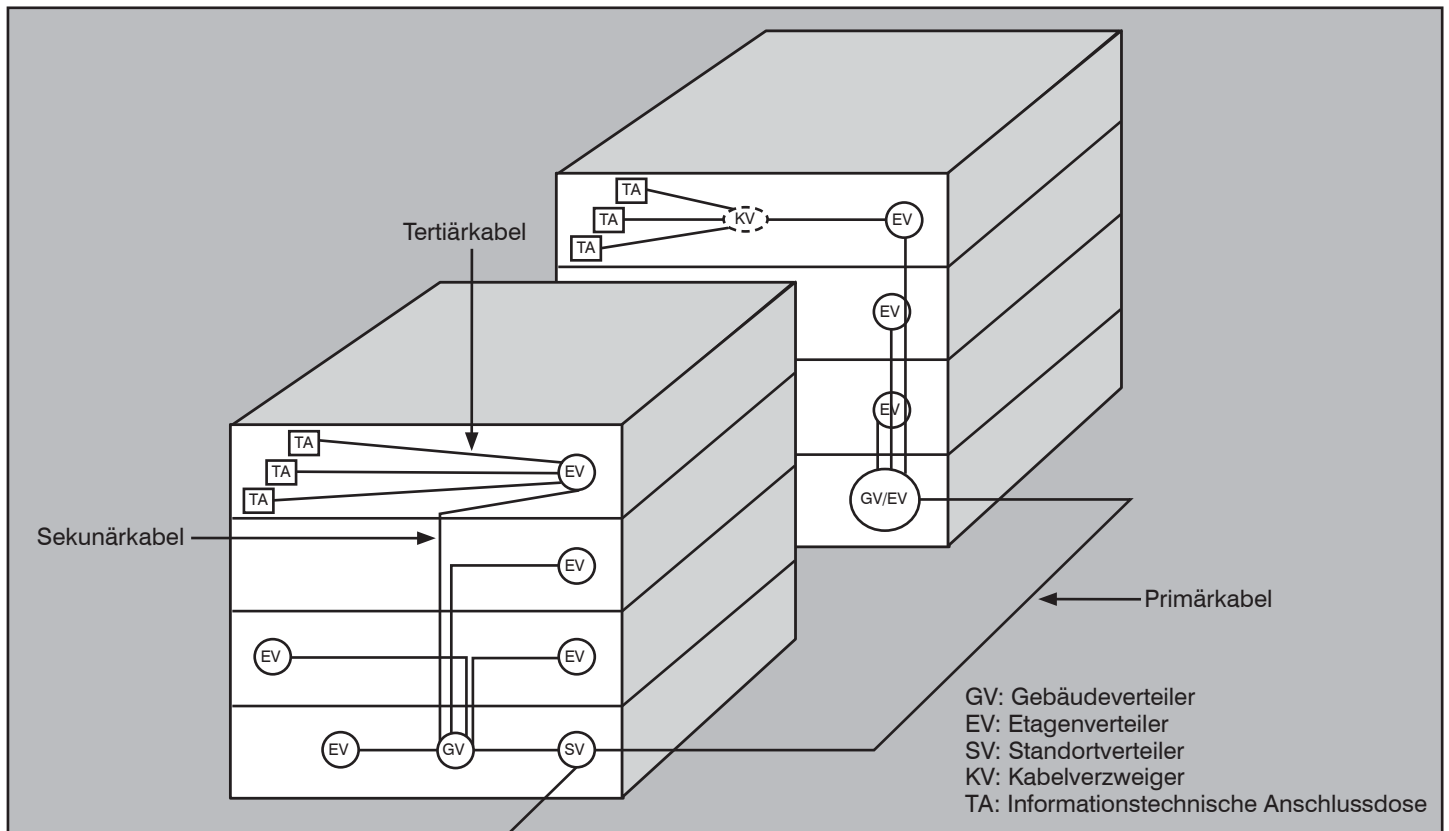


Abbildung 1: Teilelemente nach EN 50173

verfahren sicherzustellen. Eine Hilfestellung bei der Planung leisten dazu zwei wesentliche Elemente:

- Die Anforderungen der Kabelnormen, in Deutschland primär über die DIN EN 50173 spezifiziert.
- Die Anforderungen der Entwickler von Zugangsverfahren, weltweit im Bereich des Ethernets über die IEEE 802.3 spezifiziert.

#### Nutzbarkeit einer Kommunikationsverkabelung

Die Entwicklung der Verkabelungsnormen erfolgte derart, dass alle verfügbaren oder zum Zeitpunkt der Normverabschiedung „absehbar“ verfügbaren Übertragungsverfahren durch die Verkabelungsspezifikationen berücksichtigt werden, sofern die Kabelnormen eingehalten werden sind weitere Normen nicht zusätzlich zu berücksichtigen. Auf der anderen Seite benötigen die Anbieter von neuen Übertragungstechniken (z.B. Switches) eine möglichst große „passive“ Installationsbasis, um ihre Produkte zu verkaufen und die Hardware-Entwickler werden deshalb bemüht sein, neue aktive Systeme auf möglichst weit verbreiteten Verkabelungsinfrastrukturen einsetzen zu können.

Interessant ist der Vergleich, in welchen Zeitabständen beide „Normierungsinstanzen“ aktualisiert wurden, die nachfolgende Abbildung stellt auf einem Zeitstrahl die Updates der Kabel- und Ethernet-Normen dar. Dargestellt werden bei den Kabelnormen die Meilensteine, bei denen es zu finalen Überarbeitungen der Kabelstandards gekommen ist, nicht dargestellt sind die dazwischen liegenden Entwurfsvarianten. (siehe Abbildung 2)

Einige der dargestellten Ethernet-Updates führten zu einer erhöhten Anforderung an die Verkabelung, Beispiel 10GBaseT oder auch 40GBase. Der Zeitstrahl macht deutlich, dass ein zuvor vorausgegangenes Kabelnormen-Update eine Weiterentwicklung nicht immer berücksichtigen konnte und damit der bei der Planung angesetzte Nutzungszeitraum der Kabelnorm manchmal zwangsläufig zu kurz greifen muss.

Beispiel: Eine Planung einer Verkabelungsanlage zwischen 2003 und 2006 wird sich an der aktuellsten Kabelnorm (2003) orientieren. Der Planer wird den Anspruch haben, Materialien und - für den Backbone-Bereich besonders wichtig - die Längen der Strecken so zu planen, dass für einen Zeitraum von 5 bis 10 (oder gar mehr) Jahren diese Verkabelung für alle Datenraten genutzt werden kann. Wie wir später im Artikel noch genauer sehen wer-

den, hätte er in vielen Fällen diese Anforderung nicht erfüllen können; bereits nach 3 Jahren (!) würden durch einige Ethernet-Standards die Anforderungen so hoch gesetzt sein, dass er für die neuen Ethernet-Standards nachverkabeln muss.

Dieser Sachverhalt hat sich so oft wiederholt, dass im Prinzip jede, bezüglich der Glasfaser getroffene Entscheidung unter der Annahme eines minimalen Nutzungszeitraumes von mindestens 10 Jahren falsch war (eine Ausnahme: Singlemodefaser). Diesen Sachverhalt hat auch die Verkabelungsnorm erkannt und macht dazu folgende Aussage (Kapitel 4.4.3 der EN 50173-1): „Es ist grundsätzlich nicht möglich oder ökonomisch sinnvoll, eine Primär- und Sekundärverkabelung für die gesamte Lebensdauer der anwendungsneutralen Kommunikationskabelanlage zu installieren. Stattdessen darf die Planung auf den gegenwärtigen oder absehbaren Anforderungen der Netzanwendungen beruhen. Derartige kurzfristige Auswahlkriterien sind häufig dann für die Primär- und Sekundärverkabelung angemessen, wenn die Kabelführungssysteme für künftige Änderungen gut zugänglich sind“.

Mit dieser realistischen Einschätzung der Nutzbarkeit einer Backbone-Verkabelung soll im nachfolgenden Teil des Artikels eine Betrachtung der sinnvollen Anforder-

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

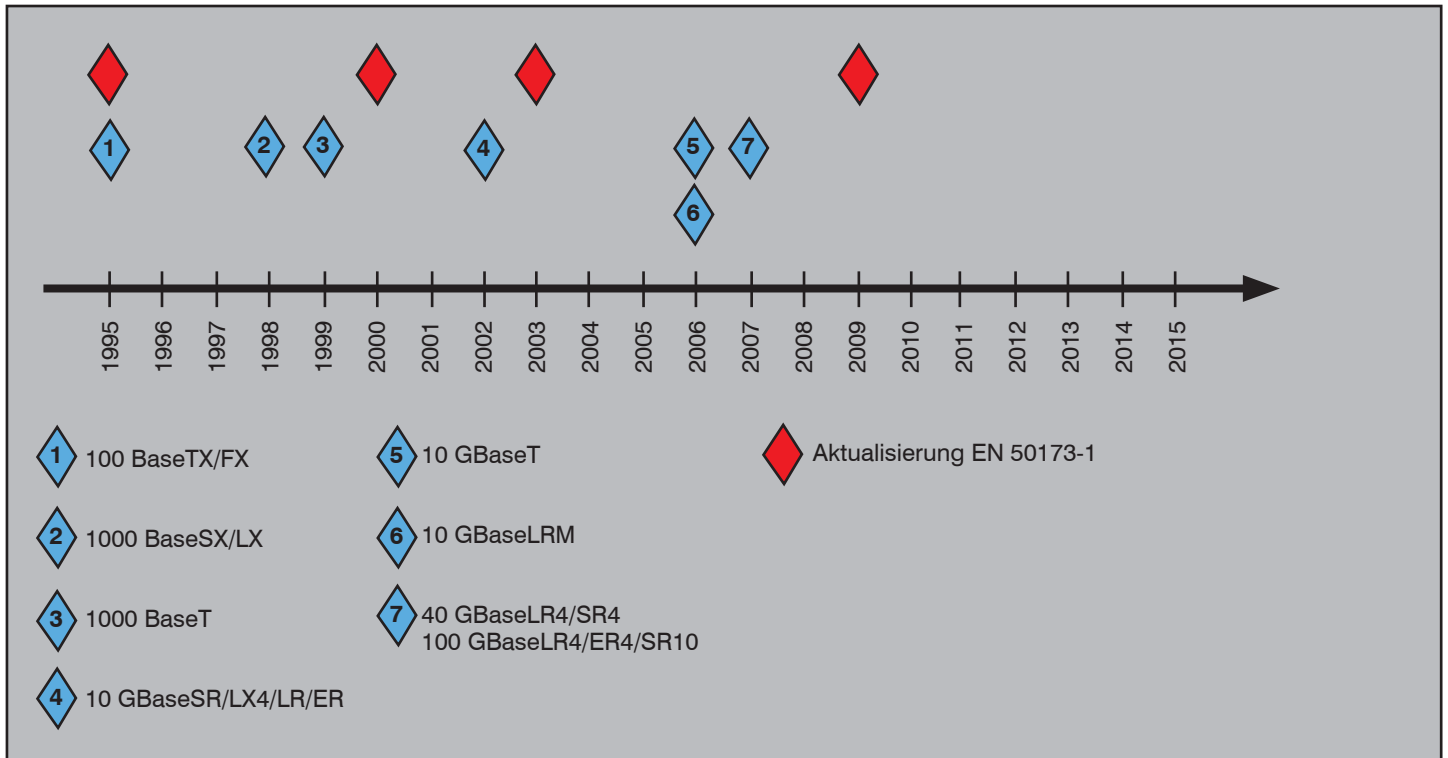


Abbildung 2: Aktualisierungen der Kabel- und Ethernet-Normen

ungen und Lösungsmöglichkeiten für Primär- und Sekundärverkabelungen erfolgen.

Die Planung einer Glasfaser-Backbone-Verkabelung zur Bereitstellung von LAN-typischen Übertragungstechniken konzentriert sich im Wesentlichen auf zwei Parameter, der Dämpfung (genauer gesagt der Einfügedämpfung) und der Streckenlänge. Die Rückflussdämpfung spielt derzeit eine untergeordnete Rolle, ihre Bedeutung nimmt zu, wenn auf einer Faser eine Übertragung in beide Richtungen stattfindet. Auch die Anfang der 90er-Jahre stark beachtete Numerische Apertur (= Maß für die Menge des eingekoppelten Lichtes) beeinflusst nur noch sehr gering die Planung. Dämpfung und Länge lassen sich bekanntlich nicht ganz voneinander trennen, denn eine große Länge führt zwangsläufig zu einer hohen Dämpfung. Andererseits kann es aber sein, dass trotz guter Streckendämpfung die Länge zu groß ist, dafür ist z.B. bei der Multimodefaser die Modendispersion verantwortlich. All dieses ist nicht neu und wird bei vollständigen Neuverkabelungen für die reine Betrachtung eines Kabels zwischen zwei Verteilern meistens berücksichtigt. Wurde die Anfang der 90er-Jahre im Vordergrund stehende Leitungsdämpfung mit Einführung von Gigabit etwas in den Hintergrund gestellt durch die modendispersionsbedingte Längeneinschränkung, so spielt die Dämpfung jedes einzelnen Elementes der Strecke heute wieder

eine deutlich größere Rolle. Grund dafür sind die sehr hohen Anforderungen an das Dämpfungsbudget bei Datenraten ab 1 Gbit/s. Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn eine bereits vorhandene Verkabelung um weitere zusätzliche Strecken ergänzt werden soll oder wenn ein Übertragungslink aus mehreren Teilstrecken besteht. In diesem Falle hat die vorhandene oder auch neu zu realisierende Topologie einen erheblichen - häufig unterschätzten - Einfluss auf die Nutzbarkeit der Verkabelung.

#### Topologie-Betrachtung

Die Standard-Topologie, so wie sie innerhalb der EN 50173 seit Jahren als Richtlinie (keine Forderung!) postuliert wird, sieht sternförmig aus. Ausgehend von einem Standortverteiler werden die Ge-

bäudeverteiler mit diesem über einfache Verbindungen angeschlossen (Primärverkabelung), analog erfolgt die Anbindung der Etagenverteiler an den Gebäudeverteiler (Sekundärverkabelung). Die redundante Verbindung wird durch eine Querverkabelung mit dem Verteiler derselben Hierarchiestufe realisiert. Bei einer höheren Anforderung an die Verfügbarkeit wird man zwei Standortverteiler vorsehen und jeden hochverfügbaren Verteiler an zwei unterschiedliche übergeordnete (= höherwertigere) Verteiler anbinden. (siehe Abbildung 3)

Diese Topologie hat sich vor allem deshalb bewährt, weil die sternförmige Architektur von hierarchischen Ethernet-Netzwerken bestehend aus Access-, Distribution- und Core-Layer sehr gut darauf abzubilden ist. In nachfolgendem

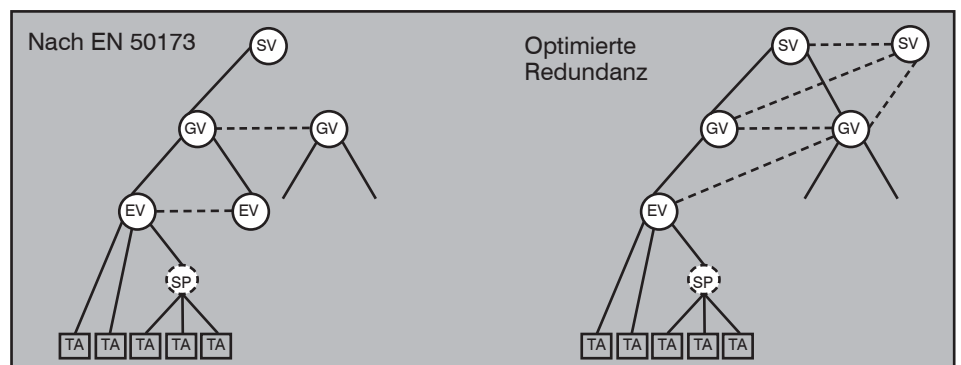


Abbildung 3: Sterntopologie nach Norm und Redundanz-Optimierung

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

einfachen Beispiel eines Ethernet-Netzwerkes mit nur zwei Hierarchieebenen (Distribution-Layer wird ausgespart) wird ein Access-Switch im Etagenverteiler über eine Durchrangierung in einem Gebäudeverteiler mit einem Core-Switch im Standortverteiler verbunden; jeder Access-Switch in jedem Etagenverteiler kann so an den Core-Switch angeschlossen werden. (siehe Abbildung 4)

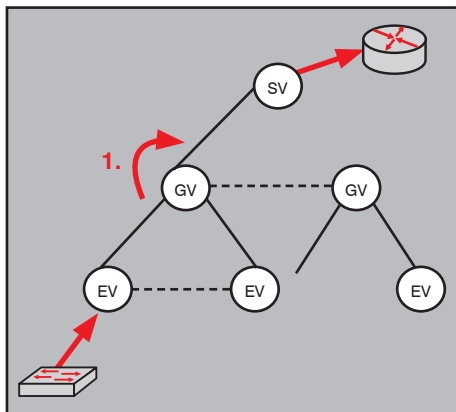


Abbildung 4: Einfaches Ethernet-Netzwerk in einer Sterntopologie

Nicht „normkonform“, aber typisch für „gewachsene“ Verkabelungen die insbesondere älter als 1995 sind, ist die ringförmige Topologie oder gar die vermaschte Topologie. Der Ring war Ende der 80er- und Anfang der 90er-Jahre „die“ Topologie, die bei Hochverfügbarkeit oder z.B. auch bei FDDI oder dem damals stark verbreiteten Tone-Ring verwendet wurde. Bei dieser Topologie gibt es keine Hierarchien in der Verkabelung, jedoch fordert wie bereits beschrieben die Ethernet-Technik eine Hierarchie. Das lässt sich wie im nachfolgenden Beispiel dargestellt im Prinzip auch sehr einfach realisieren. Einer der Verteiler wird als Position für den Core-Switch gewählt und alle Access-Switches in den anderen Verteilern werden mit Hilfe von Durchrangierungen mit diesem verbunden. In Abbildung 5 wurden z.B. 3 Durchrangierungen benötigt um diese Verbindung herzustellen.

Abbildung 6 zeigt eine Struktur, so wie sie (ungünstiger Weise) real geplant worden ist. Im Rahmen der Planung für das physikalische Design des Ethernet-Netzwerkes mussten Standorte für Backbone-Switches festgelegt werden, jeder Etagenverteiler mit Access-Switches musste über zum Teil sehr viele Durchrangierungen zu den Core-Switches hin geschaltet werden. Durch derartige „Durchschaltungen“ wird zum einen die Streckenlänge und zum anderen die Dämpfung der Gesamtstrecke sehr groß. Deshalb ist im Rahmen der Planung zu prüfen, ob diese Erhöhungen normkonform sind oder nicht. Dazu können zwei

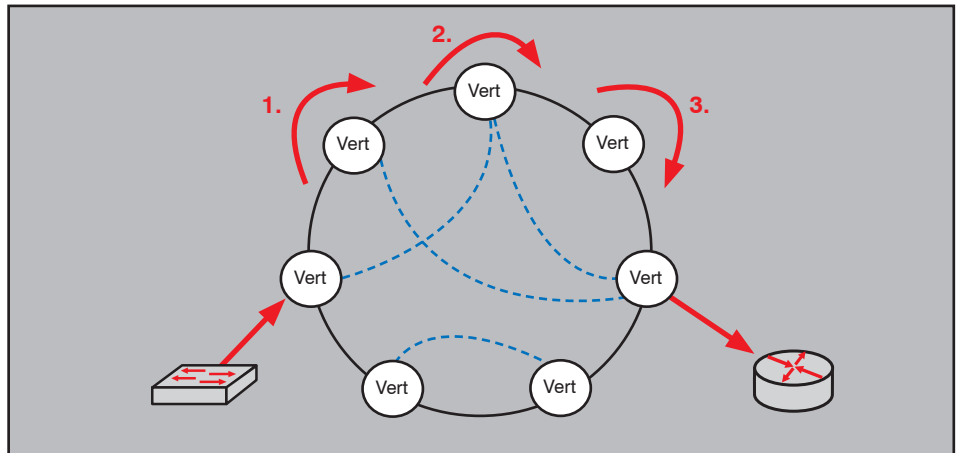


Abbildung 5: Einfaches Ethernet-Netzwerk in einer Ringtopologie

Planungshilfen herangezogen werden:

- Spezifikationen der IEEE802.3
- Spezifikationen der EN 50173-1

#### Übertragungstechnische Werte nach Norm

Beginnen wir bei der Betrachtung mit der - im Regelfall für den Verkabelungsplaner bekannteren - Spezifikation der EN 50173-1. Tabelle 1 stellt sehr übersichtlich dar, welches Übertragungsverfahren mit welcher Glasfaser über welche Entfernung genutzt werden kann und welche optische Übertragungsklasse (OF-Klasse) die Strecke dazu erfüllen muss. Dieser Übertragungsklasse lässt sich mit einer weiteren Tabelle der Norm ein ganz konkreter maximaler Dämpfungswert für die Strecke zuordnen, dieser muss eingehalten werden.

Dazu ein Beispiel:

Das Ethernet-Übertragungsverfahren 1000 BaseSX darf nach Tabelle 1 mit einer OM2-Faser bis mindestens 550 m genutzt werden, wenn die Strecke die optische

Übertragungsklasse OF500 einhält. Gemäß Norm EN 50173-1 (Tabelle 42) wird OF500 eingehalten, wenn die Dämpfung im 2. optischen Fenster 3,25 dB (Channel Insertion Loss) nicht überschreitet.

Obwohl bei der Spezifikation der Verkabelungsnorm sinnvollerweise die Forderungen der Ethernet-Spezifikationen aus der IEEE übernommen wurden, ist festzustellen, dass umgekehrt die Spezifikationen der IEEE über viele Jahre hinweg nie Bezug genommen auf das Modell der EN 50173 mit seinen Faserklassen oder optischen Übertragungsklassen haben. Bis zur Normierung von 10GBaseLRM wurden in den Tabellen der IEEE dämpfungstechnische Anforderungen immer auf Basis von unterschiedlichen Fasern mit unterschiedlichen Bandbreite-Längen-Produkten spezifiziert (unabhängig von OM1, OM2 oder OM3). Dazu zwei Beispiele in Form von Auszügen aus der IEEE 802.3ae (Ethernet mit 10Gbit/s), erkennbar ist, dass nirgendwo ein Hinweis auf Reichweiten mit OM1 oder ähnlichem existiert: (siehe Tabelle 2 und 3)

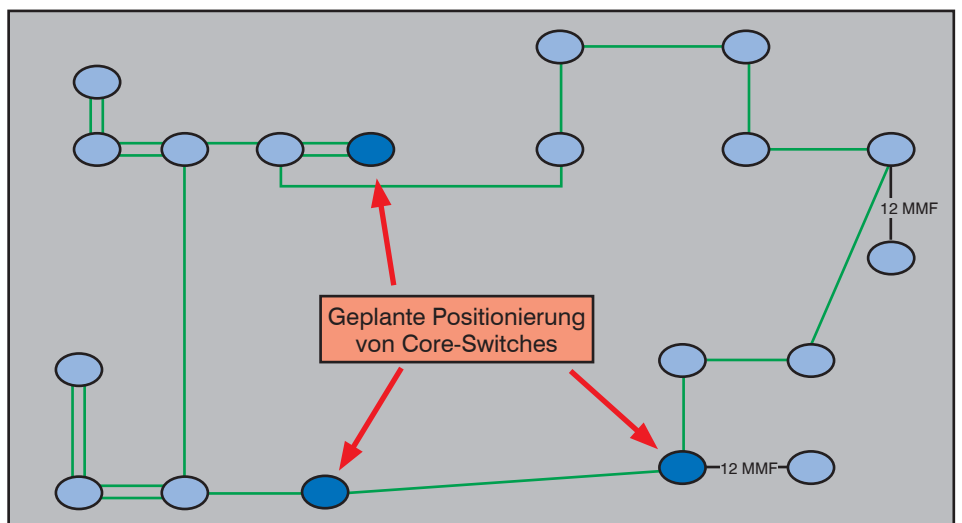


Abbildung 6: Praxisbeispiel Ethernet im Ring

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

LWL-Anwendung	$\lambda$	Fasertyp	Multimodefaser					
			OM1		OM2		OM3 / OM4	
			Reichweite	Klasse	Reichweite	Klasse	Reichweite	Klasse
10BASE-FL	850 nm	G50	1514 m	OF-500	1514 m	OF-500	1514 m	OF-500
		G62,5	2000 m	OF-2000	2000 m	OF-2000	-	-
100BASE-FX	1300 nm	G50	2000 m	OF-2000	2000 m	OF-2000	2000 m	-
		G62,5	2000 m	OF-2000	2000 m	OF-2000	-	-
10000BASE-SX	850 nm	G50	-	-	550 m	OF-500	550 m	OF-500
		G62,5	275 m	OF-100	-	-	-	-
10000BASE-LX	1300 nm	G50	550 m	OF-500	550 m	OF-500	550 m	OF-500
		G62,5	550 m	OF-500	550 m	OF-500	-	-
		E9	-	-	-	-	-	-
10GBASE-SR/SW	850nm	G50	-	-	82 m	-	300 m	OF-300
		G62,5	32 m	-	-	-	-	-
10GBASE-LX4	1300 nm	G50	300 m	OF-300	300 m	OF-300	300 m	OF-300
		G62,5	300 m	OF-300	300 m	OF-300	-	-
		E9	-	-	-	-	-	-
10GBASE-LR/LW	1310 nm	E9	-	-	-	-	-	-
10GBASE-ER/EW	1550 nm	E9	-	-	-	-	-	-
40GBASE-SR4	850 nm	G50	-	-	-	-	100 m	OF-100
100GBASE-SR10	850 nm	G50	-	-	-	-	100 m	OF-100

Tabelle 1: Auszug aus der Tabelle aus der EN 50173-1

Parameter	62.5 $\mu$ m MMF	50 $\mu$ m MMF	10 $\mu$ m SMF	Unit	
Modal bandwidth as measured at 1300 nm (minimum, overfilled launch)	500	400	500	n/a	MHz·km
Operating distance	300	240	300	10000	m
Channel insertion loss	2.0	1.9	2.0	6.2	dB

Tabelle 2: Auszug aus der Spezifikation der IEEE 802.3ae 10GBase-LX4

Schwierig wird es für alle, die bei ihrer Altverkabelung nicht wissen, welche Faserqualität bzw. welches Bandbreite-Längenprodukt die Faser hat. Dieses ist im Nachgang mit Feldmessgeräten nicht mehr nachprüfbar und man wird im Zweifel von einer Qualität im unteren Bereich mit allen damit verbundenen Einschränkungen ausgehen müssen.

Was wird in den bisher aufgeführten Tabellen in Zusammenhang mit einer Backbone-

Verkabelung deutlich?

- Ab einer Streckenlänge von 300 m ist 10 Gbit/s mit einer Multimodefaser weder nach Verkabelungsnorm noch nach IEEE nutzbar.
- Eine 62,5 $\mu$ m-Faser ist für 10 Gbit/s im Prinzip nur in Kombination mit der teuren LX4-Technik „backbone-tauglich“, die üblichere (und kostengünstigere) SR-Technik ist mit 26 m und 33 m indiskutabel.

• Selbst eine herkömmliche 50 $\mu$ m-Faser (nicht OM3) lässt sich im Backbone-Bereich für 10 Gbit/s nur mit LX4-Technik sinnvoll verwenden.

• Das Dämpfungsbudget liegt für 10 Gbit/s und Multimodefaser im Bereich von 1,9 dB bis 2,6 dB und ist damit noch anspruchsvoller als bei 1 Gbit/s.

Die einzig „wahre“ Multimodelösung scheint OM3 in Kombination mit 10GBaseSR zu sein; wenn da nicht 10GBaseLRM wäre. Auch hier lohnt sich ein Blick in die IEEE, da insbesondere diese Technik in der Tabelle der Verkabelungsnorm EN 50173-1 überhaupt nicht aufgeführt wird (die Gründe sind dem Autor nicht bekannt). Zum ersten Mal nimmt eine IEEE-Norm Bezug auf die OM-Faserklassen, von größerer Bedeutung ist aber, dass auch Nutzer von „Altverkabelungen“ mit 62,5 $\mu$ m-Fasern oder auch „schlech-

Description	62.5 $\mu$ m MMF		50 $\mu$ m MMF			Type B1.1, B1.3 SMF			Unit
Nominal wavelength	850					1310	1550		nm
Modal bandwidth (min)	160	200	400	500	2000	N/A		MHz·km	
Operating distance (max)	26 m	33 m	66 m	82 m	300 m	10 km	30 km	40 km	
Channel insertion loss (max)	2.6	2.5	2.2	2.3	2.6	6.0	11.0		dB

Tabelle 3: Auszug aus der Spezifikation der IEEE 802.3ae 10GBase-SR/LR

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

Multimode fiber type	ISO/IEC 11801:2002 fiber type	Operating range (m)	Maximum channel insertion loss (dB)
62.5 $\mu$ m 160/500		0.5 to 220	1.9
62.5 $\mu$ m 200/500	OM1	0.5 to 220	1.9
50 $\mu$ m 500/500	OM2	0.5 to 220	1.9
50 $\mu$ m 400/400		0.5 to 100	1.7
50 $\mu$ m 1500/500	OM3	0.5 to 220	1.9

Tabelle 4: Auszug aus der Spezifikation der IEEE 802.3aq 10GBase-LRM

50 $\mu$ m-Fasern in den Genuss kommen, bei 10 Gbit/s Reichweiten mit ihren Kabeln von deutlich mehr als 100 m realisieren können. Für alle 3 Fasertypen des Kabelstandards wird eine Reichweite von bis zu 220 m spezifiziert. Damit liegt 10GBase-LRM nur 80 m unterhalb der lange postulierten Idealkombination von OM3/10GBaseSR. Neben der grundsätzlichen Nutzbarkeit von alten Fasern bietet 10GBaseLRM einen weiteren Vorteil: Die Kosten der SFP-Module für die Switches sind nochmals günstiger als die der 10GBaseSR-Technik, Preisunterschiede von bis zu 50% sind erzielbar. Neben den beiden Vorteilen ist allerdings auch ein Nachteil in der Tabelle erkennbar, das maximale Dämpfungsbudget liegt knapp unter 2 dB, also nochmals 0,5 dB (= 1 Steckverbindung) niedriger als bei 10GBaseSR (siehe Tabelle 4).

Die Planungserfahrungen des Autors zeigen, dass aktuelle Backbone-Planungen sowohl für die aktiven wie auch die passiven Netzwerkelemente deutlich im Fokus einer Datenrate von maximal 10 Gbit/s stehen. Die im Rahmen von Rechenzentrumsplanungen bereits berücksichtigte nächste Generation mit 40 Gbit/s oder gar 100 Gbit/s wird nur sehr zögerlich als Maßstab für eine Backbone-Verkabelung angelegt; wer eine absolut zukunftssichere Glasfaserverkabelung bereits heute realisieren möchte, muss sich mit den Anforderungen dieser beiden Datenraten beschäftigen. Zunächst einmal sollen einige, gerade für die Planung von aktuellen Backbone-Verkabelungen wichtige Zwischenergebnisse festgehalten und deren Einfluss anhand von Beispielen veranschaulicht werden.

## Projektbeispiele

Die Länge und Dämpfung der Verkabelungsstandards basieren auf den Anforderungen der IEEE, wie oben dargelegt mit übernommenen Dämpfungsmaximalwerten. Die Dämpfung spielt bei direkten Verbindungen zwischen zwei aktiven Knoten über 1 Kabel (mit einer Steckverbindung an jedem Ende) eine geringere Rolle als die bandbreitenbedingte, faserspezifische Längenrestriktion. Wa-

rum ist das so? Nimmt man als Beispiel 10GBaseLRM mit ca. 2 dB Maximaldämpfung und kalkuliert eine Glasfaserstecker-Verbindung in mittlerer Qualität mit ca. 0,5 dB, so bleiben nach Abzug der beiden Steckverbindungen an beiden Enden noch ca. 1 dB reine Faserdämpfung. Dies wäre bei einer mittleren Faserqualität eine Strecke von ca. 300 bis 400 m, der Standard lässt aber „nur“ 220 m zu. Diese Betrachtung ändert sich bei „durchgeschalteten“ Verbindungen zwischen zwei aktiven Knoten über mehrere Kabel hinweg, jetzt spielt die Dämpfung eine - häufig unterschätzte - größere Rolle. Dazu ein ausführliches Projektbeispiel:

Der IT-Netzbetreiber beabsichtigte, auf einer bereits existierenden Backbone-Verkabelung ein Ethernet-Netz zu realisieren und strebte eine Einführung von 10 Gbit/s als Uplink zwischen Access-Switches und Core-Switches an. Eine einfache Doppelauslegung des Core-Bereiches mit „nur“ zwei Core-Switches war aus Gründen der Längenrestriktion nicht möglich, deshalb wurde ein aus 3 Core-Switches bestehender Collapsed-Backbone geplant (siehe Abbildung 7). Der Access-Switch eines je-

den Etagenverteilers sollte an mindestens zwei Core-Switches angebunden werden. Im Bild sieht man die beispielhafte Zuordnung eines Access-Switches (ASW), dieser ist an Core-Switch 1 und Core-Switch 2 (CSW1 und CSW2) anzuschließen. Zu berücksichtigen ist, dass für beide Anbindungen bzw. Wege eine unterschiedliche Anzahl von Durchrangierungen notwendig ist. Jede Durchrangierung in einem Verteiler bedeutet, es werden zwei Rangierfelder (bzw. deren Stecker) mit einem Rangierkabel verbunden und dies ergibt bei einer nach Kabelstandard kalkulierten typischen Steckverbinderdämpfung von je 0,75 dB pro Durchrangierung eine Dämpfung von 1,5 dB reine Rangierdämpfung pro Verteiler. Hinzu kommen nochmals 2 x 0,75 dB zur Aufschaltung der beiden Switches. Lässt man im Beispiel die Faserdämpfung völlig aus der Rechnung heraus, so ergeben sich die in der Tabelle 5 dargestellten Dämpfungswerte, die beiden unteren Zeilen beinhalten sogar eine Berechnung mit einem „realistischeren“ Dämpfungswert für eine Steckverbindung mit 0,4 dB. Zum Vergleich nun einige maximale Dämpfungsbudgets der IEEE:

- 1000BaseSX: 3,25 dB
- 10GBaseSR: 2,6 dB
- 10GBaseLRM: 1,9 dB
- 10GBaseLR: 6 dB

Die ersten drei technischen Lösungen basieren auf Multimodefasern, sie wären auch bei vernachlässigter Faserdämpfung (in der Regel ca. 3 dB/km) fast gar nicht nutzbar. Erst die letzte Technik auf Basis von Singlemodefaser würde mit einem ausreichenden Puffer für die Faserdämpfung „brauchbare“ Distanzen zulassen.

## Jetzt Leser werden



## Der Netzwerk Insider

Der Netzwerk Insider erscheint 12 Mal im Jahr im PDF-Format und informiert Sie per eMail über die Hintergründe aktueller Netzwerk-Technologien. Jeden Monat werden zwei Themen gewählt, über die in ausführlicher Form topaktuelle Insider-Informationen gegeben werden. Der Netzwerk-Insider vertritt die Sichtweise von Technologie-Anwendern und bewertet Produkte und Technologien im Sinne der wirtschaftlichen und erfolgreichen Umsetzbarkeit in der täglichen Praxis. Durch seine strenge wirtschaftliche Unabhängigkeit (keine Hersteller-Anzeigen) kann er es sich leisten, Schwachstellen und Nachteile offen anzusprechen. Der Netzwerk-Insider ist bekannt für seine kritische, herstellerneutrale und fundierte Technologie-Bewertung.

Hier können Sie sich zum Netzwerk Insider kostenlos und ohne jede Verpflichtung registrieren lassen:

<http://www.comconsult-akademie.de/de/Registrierung.php>

Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

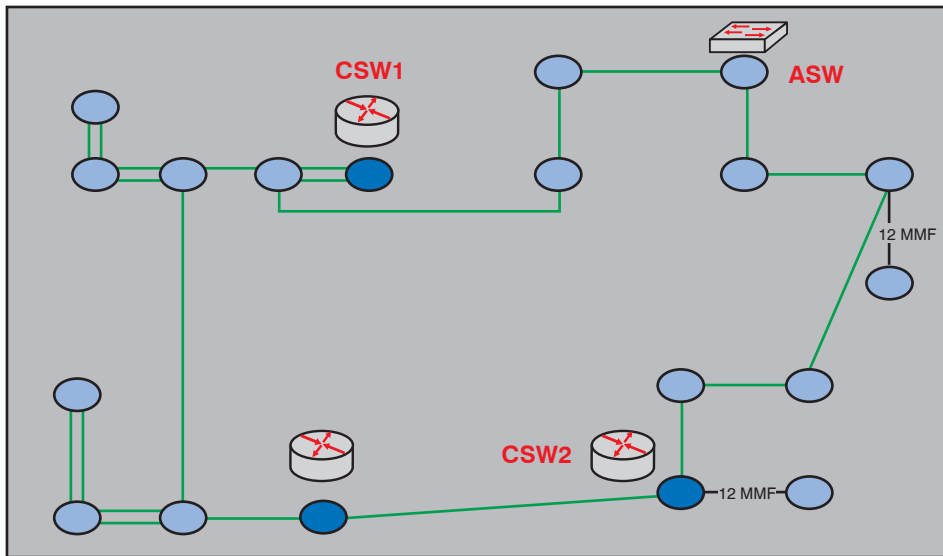


Abbildung 7: Wechselwirkung passive und aktive Netzwerk-Topologie, Projektbeispiel

Verbindung von		Durch-rangierungen	Einaus-kopplungen	Stecker-dämpfung	Gesamtdämpfung <b>ohne</b> Faser/Spleißdämpfung
ASW	CSW1	3	2	0,75 dB	6,00 dB
ASW	CSW2	4	2	0,75 dB	7,50 dB
ASW	CSW1	3	2	0,40 dB	3,20 dB
ASW	CSW2	4	2	0,40 dB	4,00 dB

Tabelle 5: Dämpfungsbudget am Projektbeispiel

Genau dies war im Projektbeispiel die unangenehme Konsequenz bei der Planung der Switches bzw. deren SFP-Techniken, es mussten die teuren Techniken eingesetzt werden; glücklicherweise standen Singlemodefasern in ausreichender Anzahl zur Verfügung. (siehe Abbildung 6 und 7)

In einem weiteren Projekt bildete eine sehr stark vermaschte Topologie mit über 50 Verteilern trotz der vielen (Quer-)Verbindungen ein Problem bei der Einführung von neuen Gigabit-Techniken. Dieses, für eine Industrieumgebung sehr typisches Netz war dadurch geprägt, dass es eine große Anzahl von weit gestreuten kleineren Etagenverteilern (genau genommen sind es „Kleingebäudeverteiler“) mit wenigen Endgeräteanschlüssen bzw. Access-Switches gab. Der Anschluss der Access-Switches mit Hilfe von einfachen 100Mbit/s-Uplinks an zwei Core-Switches wäre kein Problem gewesen (Dämpfungsbudget von über 10 dB und Glasfasertlänge von 2.000 m), doch im Sinne einer zukunftssicheren Planung sollte eine Uplink-Qualität von mindestens 1 Gbit/s bereitgestellt werden. Somit standen nur 3,25 dB als Dämpfungsbudget zur Verfügung und wie oben bereits dargestellt, war die Anzahl von möglichen Durchrangierungen über mehrere Verteiler hinweg

sehr eingeschränkt. Eine Nachverkabelung wäre aufgrund der ungünstigen Geländesituation nur mit sehr hohen Kosten möglich gewesen. Das Ergebnis war, dass man zum Aufbau eines neuen Netzes in 10(!) sich im Gelände befindenden Verteilern Core-Switches positi-

onieren musste. Dabei sorgten einzelne Core-Switches nur für die Anbindung von 2 bis 3 Access-Switches, auch die Realisierung des Redundanzkonzeptes wurde trotz der hohen Anzahl von Core-Switches sehr schwierig.

Neben den beschriebenen planerischen Aspekten des sehr engen Dämpfungsbudgets bei hohen Datenraten ist im Zusammenhang mit der Errichtung des Netzes bzw. der Realisierung der Uplinks ein weiterer Aspekt von zunehmender Bedeutung: Die messtechnische Überprüfung des Dämpfungsbudgets. Wurde die Einmessung einer komplett beschalteten Glasfaserstrecke bisher nur sehr selten bei einer Ausschreibung zum Aufbau des aktiven Netzwerkes vorgesehen (eher im Rahmen der Abnahmemessung der Kabelinstallation), so kann nur dringend geraten werden, dies zur Sicherstellung eines nicht ausgereizten Dämpfungsbudgets grundsätzlich vor der Aktivierung der Links vorzunehmen. Verschmutzte oder zerkratzte Steckerstirnflächen wirken sich bei knappem Dämpfungsbudget möglicherweise gravierend aus und sollten messtechnisch erfasst bzw. ausgeschlossen werden.

**Ausblick: 40 Gbit/s und 100 Gbit/s im Backbone**

Zurück zur Analyse des Einflusses von 40 und 100 Gbit/s. Die Tabelle 6 verdeutlicht sehr einfach, mit welchen Fasertypen welche Reichweiten zu erzielen sind (Informationen der IEEE, nicht der Kabelstandards).

Bereits die Längenkategorien 40km/

	Glasfaser			Bezeichnung und Spezifikation	
	Reichweite	40 km	10 km		100 m
	Technologie	Singlemode	Singlemode		Multimode
Anwendung	40-GbE		40-GBASE-LR4 4 x 10-GbE, 4 Pfade/Link = 2 Fasern/Link, OS1	40-GBASE-SR4 4 x 10-GbE, 4 Ports/Link = 8 Fasern/Link, OM3 (TypA1a nach IEC 60793-2-10)	
	100-GbE	100-GBASE-ER4 4 x 25-GbE, 4 Pfade/Link = 2 Fasern/Link, OS1 (Typ B1.1 & B1.3)	100-GBASE-LR4 4 x 25-GbE, 4 Pfade/Link = 2 Fasern/Link, OS1 (Typ B1.1 & B1.3)	100-GBASE-SR4 10 x 10-GbE, 10 Ports/Link = 20 Fasern/Link, OM3 (TypA1a nach IEC 60793-2-10)	

Tabelle 6: Faserauswahl bei 40/100 Gbit/s

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

10km/100m machen deutlich, dass 40/100-Gigabit-Ethernet zum jetzigen Zeitpunkt nicht den Schwerpunkt im Backbone-Bereich setzt. Entweder gibt es Längenkategorien mit mindestens 10 km (Zielgruppe: Provider oder MAN-Verbindungen) oder Kategorien bis 100 m (Zielgruppe Rechenzentrum). Beschränken wir uns bei der Analyse auf 10 km und 100 m. Folgt man dem bisher üblichen Ansatz, Multimodetechnik als Basistechnik zu verwenden, so würden beide Datenraten nur Backbone-Verbindungen von maximal 100 m zulassen, das reicht knapp für typische Sekundärverkabelungen. Diese Möglichkeit würde aber auch nur OM3-Fasern zur Verfügung stehen, schlechtere Faserqualitäten erlauben gar keine 40/100Gbit/s. Von extrem großer Bedeutung ist aber, dass man bei 40 Gbit/s 8 Multimodefasern für einen Link und bei 100 Gbit/s bereits 20 Multimodefasern vorsehen muss. Diese müssten sich alle in einem Kabel befinden und mit einem sogenannten MPO-Stecker abschließen (= Multi Push On). Entscheidende Frage: Wer wird heute im Backbone-Bereich bei seiner Planung Glasfaserverbindungen vorsehen, bei denen vielfache von 20 Fasern verlegt werden und diese nicht in Rangierfelder mit 20-Einzelports enden, sondern in 20-Port-Steckern? Dies kann fast ausgeschlossen werden und damit ist 40/100-Gigabit-Ethernet in Multimodetechnik eine kaum vorstellbare Option für den Backbone-Bereich.

Anders dagegen Singlemode, hier lässt sich weiterhin die 2-Fasertechnik verwenden und diese bietet mit Längen von 10.000 m weit mehr Reichweite, als in den meisten Geländenetzen notwendig ist.

### Bewertung Singlemode versus Multimode

Folgende wichtigen Zwischenerkenntnisse lassen sich zusammenfassen:

- Singlemode ist bei hohen Übertragungsraten (ab 1 Gbit/s) wichtiger denn je.
- Singlemode erleichtert die Planung von redundanten Switching-Topologien, besonders in stark vermaschten Topologien (oder Ringtopologien).
- Aber: Singlemode erhöht die Kosten bei den aktiven Komponenten.
- Bei Einführung von 40/100 Gbit/s im Backbone-Bereich ist die Multimodefaser definitiv „am Ende“, dies ist nur sinnvoll mit Singlemodetechnik zu realisieren.

Also gar keine Multimodefasern mehr in der Primär- und Sekundärverkabelung? Diese extreme Abkehr wird vom Autor nicht als sinnvoll erachtet, zum einen wären auch bei kurzen Strecken der Einsatz der teureren GBIC/SFP-Techniken notwendig. Zum anderen ist derzeit ein Trend festzustellen, dass neue Anwendungen aus dem Bereich der Gebäudemess- und regelungstechniken (noch) keine Gigabit- oder Mehr-als-Gigabit-Übertragungsraten benötigen und es deshalb dazu keine entsprechenden elektronischen Komponenten gibt, hier wird weiterhin sehr stark auf Multimode gesetzt. Deshalb scheint eine Reduzierung der Anzahl von Multimodefasern in einer Backbone-Verkabelung sinnvoller zu sein als der völlige Wegfall.

### Multimodeauswahl

Lassen die Distanzen zwischen den Verteilern Multimodetechnik zu, so wird sich natürlich die Frage stellen, welche der derzeit kategorisierten 4 Fasertypen OM1 bis OM4 zu verwenden sind. Dargelegt wurde, dass die „älteren“ Fasern OM1 bis OM2 bis zu einer Reichweite von 220 m durchaus für 10 Gbit/s genutzt werden können. Über diese Distanz hinaus geht wohl kein Weg an OM3 oder OM4 vor-

bei. OM4 bringt normativ keinen Vorteil in diesem Einsatzumfeld, deshalb sind aus Sicht des Autors keine Notwendigkeiten erkennbar, von der OM3-Faser abzuweichen. Diese wird also bei absoluten Neuverkabelungen ohne Altbestand die Nummer-1-Wahl sein für Strecken bis 300 m. In Umgebungen mit vorhandenen OM1/OM2-Fasern kann natürlich auch OM3 nachinstalliert werden, in diesem Falle gibt es jedoch keine nennenswerten Erfahrungen bei einem Mix von OM1/OM2/OM3-Fasern innerhalb eines Links, hier wird man wohl eigene Tests durchführen müssen. Die Standards sehen diesen Mix natürlich nicht vor.

Neben den Reichweiten, welche die standardisierten Fasern nutzbar machen, muss auch darauf hingewiesen werden, dass viele Kabel- bzw. Faserhersteller mit eigenen, optimierten Fasern auf dem Markt auftreten und für diese Fasern bei Einsatz von Standardelektronik deutliche höhere Reichweiten versprechen. Marketinggerecht werden solche Fasern dann auch als OM3+ oder OM3e o.ä. gekennzeichnet. Corning sagt z.B. mit seiner OM3+-Faser Infinicor eSX+ eine Erhöhung der Reichweite für 10GBaseSR um 250 m im Vergleich zum Standard zu. Unabhängig von der Zuverlässigkeit der Herstellerzusagen ist festzuhalten, dass es nach Erfahrungen des Autors seitens der Switch-Hersteller hier keinerlei Garantie zu den höheren Reichweiten gibt, hier beschränkt man sich weiterhin auf die Längen der IEEE-Spezifikationen. Deshalb kommt ein Nutzer dieser besseren Fasern an eigenen Tests nicht vorbei.

### Singlemodeauswahl

Weit weniger bekannt ist die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Singlemodefasern. Planer, die nur mit dem Verkabelungsstandard vertraut sind, kennen dazu die Kategorie OS1, neuerdings auch OS2.

Bezeichnung ITU-T ...	Bezeichnung IEC (60793-2)	Bezeichnung EN 50173	Typ	Optimiert für (nm)
G.652 a	B1.1		Non Dispersion Shifted Fiber	1310, 1550, 1625
G.652 b	B1.1		Non Dispersion Shifted Fiber	1310, 1550, 1625
G.652 c	B1.3	OS1 & OS2	Low Water Peak Single Mode	1310 bis 1550
G.652 d	B1.3	OS2 & OS2	Low Water Peak Single Mode	1310 bis 1550
G.653	B2		Dispersion Shifted Fiber	1310, 1550
G.654	B1.2		Cutoff Shifted Fiber	1550
G.655	B4		Non Zero Dispersion Shifted Fiber	1550, 1625
G.656	B5		Non Zero Dispersion Shifted Fiber	1460, 1625
G.657 A-Typen	B6	OS1	bending loss insensitive single mode	1310 bis 1625
G.657 B-Typen	B6		bending loss insensitive single mode	1310, 1550, 1625

Tabelle 7: Vielfalt der Singlemodefasern

## Singlemode und Multimode in der Backbone-Verkabelung

Diese Unterteilung ist jedoch sehr grob, wie die Tabelle 7 zeigt.

Zunächst einmal ist auffällig, dass es drei unterschiedliche Normierungsinstitutionen gibt, die sich mit der Kennzeichnung von Singlemodefasern beschäftigen:

Die IEC (60793-2) verwendet die im Zusammenhang mit Glasfaserausschreibungen häufig verwendete Bezeichnung mit einem voranstehenden Buchstaben „G“. In der ITU dagegen wird eine Bezeichnung mit dem Buchstaben „B“ vorneweg verwendet und die EN 51073, die nur einen Teil der in der IEC und ITU spezifizierten Fasern übernimmt, verwendet letztendlich die im IT-Bereich eher bekannten OS1/OS2-Abkürzungen. Die verschiedenen Typen unterscheiden sich in erster Linie in dem nutzbaren optischen Bereich (=Wellenlängenbereich), für den sie ausgelegt wurden. Um LAN-spezifische CWDM-Techniken im Umfeld einer IT-Verkabelung nutzen zu können, benötigt man relativ breitbandige Fasern, die im Bereich zwischen 1300 nm und 1650 nm eingesetzt werden können. Einige der aufgeführten Fasern liegen aber entweder völlig außerhalb dieses Bereiches oder besitzen nur punktuell ein nutzbares optisches Fenster (z.B. die Faser G.625b deckt genau die drei Wellenlängen 1310 nm, 1550 nm und 1625 nm ab). Mit einer Anforderung nach Nutzbarkeit von CWDM reduziert sich die große Anzahl von Fasern auf G.652c-, G.652d- und G.657A-Typen, dies sind die entsprechenden OS-Typen der EN50173-1.

Viele Nutzer vorhandener Verkabelungen werden sich noch nie Gedanken gemacht haben, ob der bereits verlegte Typ denn passend ist, hier kann zur Beruhigung davon ausgegangen werden, dass in den letzten Jahren zumeist eine G.652c-Faser verlegt worden ist und man damit eine normkonforme Singlemodefaser ohne Einschränkungen im Campus-Bereich nutzen kann.

Eine Besonderheit stellen die G.657A-Typen dar, ihre Fähigkeit, extrem enge Biegeradien zuzulassen wird im Bereich der Glasfaserverkabelungen in Wohnhäusern bevorzugt genutzt (die Faser wird teilweise mit Hilfe von „Tacker-ähnlichen“ Befestigungswerkzeugen z.B. direkt auf Holzverkleidungen festgemacht), diese Eigenschaft ist im Bereich der Backbone-Verkabelung meistens nicht gefordert.

### Zusammenfassung

Bei der Backbone-Verkabelung in Geländen mit großer Ausdehnung ist die Multimodefaser ganz klar auf dem Rückweg, gerade Nutzer von sehr hohen Datenra-

ten werden mit diesem Fasertyp permanent mit Planungsschwierigkeiten bzw. -einschränkungen rechnen müssen. Die Multimodefaser kann deshalb, trotz der geringeren Kosten bei den aktiven Komponenten, nicht mehr den Hauptanteil der Fasern bei Neuverkabelungen übernehmen. Die stärkere Berücksichtigung der Singlemodefaser bringt insbesondere Vorteile durch eine fast unbegrenzt nutzbare Datenrate, keinerlei Längenrestriktionen im LAN-Bereich, eine einfache Typauswahl der Faser, Beibehaltung der Zwei-Faserigkeit und eine sich abzeichnende praxisfreundliche Standardisierung der Glasfaserstecker. Trotzdem wird empfohlen, die Multimodefaser nicht völlig bei der Planung von neuen Glasfaserstrecken rauszunehmen, es ist lediglich mit einem deutlich geringeren Anteil zu planen, dieser ist aber abhängig von der Nutzungsform der Backbone-Verkabelung.

## Jetzt Leser werden

### Der Netzwerk Insider

Der Netzwerk Insider erscheint 12 Mal im Jahr im PDF-Format und informiert Sie per eMail über die Hintergründe aktueller Netzwerk-Technologien. Jeden Monat werden zwei Themen gewählt, über die in ausführlicher Form topaktuelle Insider-Informationen gegeben werden. Der Netzwerk-Insider vertritt die Sichtweise von Technologie-Anwendern und bewertet Produkte und Technologien im Sinne der wirtschaftlichen und erfolgreichen Umsetzbarkeit in der täglichen Praxis. Durch seine strenge wirtschaftliche Unabhängigkeit (keine Hersteller-Anzeigen) kann er es sich leisten, Schwachstellen und Nachteile offen anzusprechen. Der Netzwerk-Insider ist bekannt für seine kritische, herstellerneutrale und fundierte Technologie-Bewertung.



Hier können Sie sich zum Netzwerk Insider kostenlos und ohne jede Verpflichtung registrieren lassen:

<http://www.comconsult-akademie.de/de/Registrierung.php>