

Topologien

Die Struktur des Zusammenschlusses mehrere Stationen (*Nodes*) zu einem Netz wird als *Topologie* des Netzes bezeichnet. Sie lässt sich durch die Graphentheorie beschreiben. Hierbei stellen die Stationen die Knoten sowie die Verbindungen und die Kanten dar. Obwohl der Begriff Topologie abstrahiert von der verwendeten Leitungs- und Verbindungstechnik ist, wird durch die Wahl der Leiter die Topologie des Netzes meistens schon implizit festgelegt.

Aus der Netztopologie lassen sich bereits Leistungs- und Stabilitätsparameter des Netzes ableiten:

- Möglichkeiten und Verhalten zur bzw. bei Skalierung des Netzes sowie die hierbei anfallenden Kosten.
- Reaktion des Netzes auf den Ausfall einer Station oder Leitung.
- Anzahl der Leitungen, die Ausfallen dürfen, ohne dass eine Station von der Kommunikation abgeschlossen wird (Zusammenhangsgrad).
- Einsetzbare Methoden zur Wegfindung (*Routing*).
- Zur fehlerfreien Kommunikation notwendiger Protokolloverhead.

Bus-Topologie

Die Bus-Topologie ist immer noch die verbreitetste Methode für eine LAN-Vernetzung. Sie ist zudem das klassische Beispiel eines *Diffusionsnetzes*. Alle Stationen sind an ein gemeinsames Medium (*shared LAN*) angeschlossen und haben so einen direkten Zugriff auf dem Bus.

Abbildung:

Topologie einer Bus-Verkabelung

Die Erweiterung des Busses um weitere Stationen sowie seine maximale Länge werden durch die verwendeten Zugriffsprotokolle und Kabel begrenzt. Zudem ist eine Erweiterung des Busses bzw. das Zuschalten weiterer Stationen möglich.

einem kurzzeitigen Ausfall des Netzes verbunden. Der Ausfall einzelner Stationen beeinträchtigt die Funktion des Netzes, sofern, als die betroffene Station nicht mehr erreichbar ist. Eine Beschädigung des Busses, egal an welcher Stelle, oder ein Ausfall der Terminierung an einem Busende, bedeutet jedoch den Abbruch der gesamten Kommunikation unter den angeschlossenen Stationen.

Das typische Beispiele für eine Bus-Verkabelung ist das Ethernet in seiner Ausprägung als *10Base5* und *10Base2*. In dieser Leiter impliziert automatisch eine Bus-Verkabelung.

Ring-Topologie

Bei der Ring-Topologie ist jede Station mit ihren beiden Nachbarstationen verbunden. Eine Station empfängt die in der Ring übertragene Nachrichten und reicht sie an den Nachbarn weiter. Der Nachrichtenumlauf im Ring ist dabei gerichtet.

Abbildung:

Topologie einer Ring-Verkabelung

Da der Ausfall eines Segmentes den Ausfall des gesamten Netzes bedeuten würde, wird der Ring meistens doppelt ausgelegt und unterteilt sich damit in einen primären und einen sekundären Ring. Bei Ausfall eines Segmentes kommt es zu einer Rekonfiguration. Die beiden offenen Ringe werden zu einem primären Ring zusammengeschlossen. Das Netz bleibt auch nur mit halber Bandbreite, aktiv. Ein weiterer Segmentausfall führt zum Zerfall des Ringes in zwei funktionsfähige Segmente. Wie beim Ethernet mit einer Bus-Verkabelung nach *10Base2* bedeutet das Einbringen einer weiteren Station eine Netzunterbrechung.

Abbildung:

Doppelring bei Ausfall von Segmenten Der typische Vertreter für eine Doppelring Technologie ist FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*). Der von IBM spezifizierte *Token Ring* folgt physikalisch gesehen hingegen der Stern-Topologie (s. Abbildung). Der eigentliche Ring wird in einem zentralisierten Verteiler nachgebildet.

Stern-Topologie

Die Stern-Topologie ist durch einen zentralen Knoten gekennzeichnet. Jede Station ist exklusiv mit ihm verbunden und die Kommunikation über diesen Knoten abgewickelt werden muß.

Abbildung:

Topologie einer Stern-Verkabelung

Durch unterschiedliche Schaltungsarten des zentralen Knotens, können andere Topologien nachgebildet werden. In der Bus oder Ring innerhalb des zentralen Knotens konzentriert. Die Vorteile dieser Konzentration liegen in der Erweiterbarkeit des LANs sowie seiner Stabilität in Hinblick auf den Ausfall einzelner Segmente. So wird bei Be- einzelner Leiter allein die über diese verbundene Station gestört, jedoch nicht das gesamte LAN.

Wie die Vorteile der Stern-Topologie liegt jedoch auch ihr fundamentaler Nachteil in der Zentralisierung. Ein Ausfall des zentralen Knotens bedeutet den Zusammenbruch der gesamten Kommunikation auf dem Netz.

Als Beispiel für eine moderne Stern-Topologie ist wiederum das Ethernet, jedoch hier in seinen Ausprägungen 10BaseT, 100BaseT4, anzuführen. Auch hier bedeutet die Verwendung der angeführten Kabel automatisch die Festlegung der

Baum-Topologie

Die strukturierte Verkabelung größerer Institutionen wie z.B. einer Universität oder eines größeren Unternehmens führt in der Regel unweigerlich auf eine hierarchische Verkabelung. Diese hat die Gestalt einer *Baum-Topologie*. Bedingt durch die Konzentration der anfallenden Datenmengen zur Baumwurzel ist der Einsatz unterschiedlicher Technologien inner-

Text Netzwerktopologien

Netzes notwendig. Grundsätzlich werden drei Bereiche unterschieden:

Primärverkabelung

Sie stellt die Verbindung aller zur Institution gehörenden Gebäude dar (*Campus Backbone Cable*). Auf dies kommen Technologien zum Einsatz, welche neben einer hohen Bandbreite den Anforderungen verschieden Dienstarten, wie Sprach- und Datenübertragung, genügen.

Sekundärverkabelung

Sie verbindet die Etagen einzelner Gebäude untereinander (*Building Backbone Cable*). Die Sekundärverkabelung ist ein typische Einsatzgebiet neuer 100 Mbps Technologien wie dem Fast-Ethernet.

Tertiärverkabelung

Sie beinhaltet die horizontale Verkabelung auf einer Etage (*Horizontal Cable*). Hier finden zum Großteil in der Vergangenheit herkömmlich 10 Mbps Ethernet Technologien Verwendung.

Abbildung:

Hierarchische Verkabelung

Bei der Ausbildung der Backbones wird weiterhin zwischen dem *distributed Backbone* sowie dem *collapsed Backbone* unterschieden. Der *distributed Backbone* ist als Bus oder Ring ausgelegt. Sämtliche Verteiler der nächsthöheren Verkabelungsebene sind an dasselbe Kabel angeschlossen. Die Merkmale dieser Backbone-Topologie entsprechen

des Busses bzw. Rings. Der collapsed Backbone hingegen ist als Stern ausgelegt. Er bietet, wie bei einer Stern-Topologie üblich, die höhere Flexibilität und Ausfallsicherheit.

Koaxialkabel

Das Koaxialkabel gehört zu den unsymmetrischen Kupferleitern. Es verfügt über einen zylindrischen Innenleiter, welcher von einem als Hohlzylinder ausgebildeten Außenleiter umgeben ist. Die Verwendung weiterer Außenleiter dieser Art ermöglicht eine weitere Erhöhung der Unempfindlichkeit gegenüber Fremdeinkoppelungen.

Abbildung:

Aufbau eines Koaxialkabels

Die Formgebung des Außenleiters ermöglicht die Führung hoher Frequenzen bis in den Gigahertzbereich innerhalb des Koaxialkabels. Sein Anwendungsfeld ist daher neben älteren Varianten des Ethernets hauptsächlich die Breitbandkommunikation. Ein populärstes Beispiel ist hier die Verbreitung analoger und digitaler Fernsehprogramme über das Breitband-Koaxialkabel.

Eine wichtige Größe des Koaxialkabels ist der Wellenwiderstand. Er muß zur Vermeidung von Reflexionen an den Enden des Widerstandsbelag des Kabels angepaßt werden. Die Tabelle zeigt eine Übersicht der in der Datenübertragung am häufigsten verwendeten Koaxialkabel.

Tabelle: Koaxialkabel zur Datenübertragung

□

Wellenwiderstand

Yellow Cable

RG-58U

RG-59

Die Verwendung des Koaxialkabels zur Datenübertragung nimmt trotz seiner guten übertragungstechnischen Eigenschaften stetig ab. Während es im Bereich lokaler Netze immer weiter durch die symmetrischen Kupferleiter verdrängt wird, ist es in Weitverkehrsnetzen durch die steigende Popularität der Lichtwellenleitertechnik nahezu bedeutungslos geworden.

Symmetrische Kupferkabel

Die überragende Rolle bei der Neuverkabelung lokaler Netze hat inzwischen das zu den symmetrischen Kupferkabel gehörende *Twisted-Pair*-Kabel (TWP) eingenommen. Es besteht aus insgesamt vier bzw. acht Adern, die paarweise miteinander verdreht sind (Abb.). Unterschieden wird weiterhin in der Art der Abschirmung. Während das *Unshielded Twisted-Pair* (UTP) nur mit einer Gesamtabschirmung versehen wird, ist beim *Shielded Twisted-Pair* (STP) eine zusätzliche Abschirmung jedes Adernpaares vorgesehen.

Die heute allgemein anerkannte Gliederung für Twisted-Pair Kabel in fünf Kategorien geht auf die 1991 von der amerikanischen *Electronic Industry Association* und der *Telecommunications Industry Association* (EIA/TIA) veröffentlichte Richtlinie *TSB-36* zurück. Zur Gliederung der UTP-Kabel wurden die Wellendämpfung sowie Nahnebensprechdämpfung herangezogen. Allen Kabeln gemeinsam ist ein Wellenwiderstand von 100Ω . Die ISO übernahm die Spezifikationen zu UTP-1 bis 5 in den von ihr veröffentlichten Kabelklassen (Class A,B,C und D). Zusätzlich legte sie die maximale Länge eines UTP-Kabels innerhalb einer Stern-Topologie (s.u) auf 100 m fest.

Abbildung:

Shielded- und Unshielded Twisted-Pair

Tabelle: Twisted-Pair Kategorien, ISO-Klassen

□

Lichtwellenleiter

Als Medium für eine breitbandige Datenübertragung in LANs und vor allem in WANs werden immer häufiger Lichtwellenleiter verwendet. Als Material eignet sich insbesondere aufgrund geringer Dämpfung, mechanischer und chemischer Eigenschaften sowie seiner hohen Verfügbarkeit *Quarzglas*. Daraus abgeleitet werden Lichtwellenleiter auch als *Glasfasern* bezeichnet. Weitere Materialien sind Fluoridglas sowie diverse Kunststoffe. Lichtwellenleiter können generell anhand der

- Zahl der in ihnen geführten Wellen (*Moden*) und der
- Art des Brechzahlprofiles ihres Faserkerns

unterschieden werden. In Abhängigkeit von der Anzahl der in der Faser geführten Moden wird zwischen Mehrmodenfasern (*Multimode Fiber*) und Einmodenfasern (*Singlemode Fiber*) unterschieden. Während in Mehrmodenfasern mehrere Wellenzüge ausbreitungsfähig sind – die Wellengleichung besitzt hier mehrere Lösungen –, kann sich in Einmodenfasern allein der Grundmode ausbreiten. Beide Faserarten können unterschiedliche Brechzahlprofile aufweisen:

- Stufenprofil mit einem optischen Mantel.
- Stufenprofil mit mehreren optischen Mänteln.
- Gradientenprofil.

Abbildung:

Lichtwellenleiter

Zu den Mehrmodenfasern zählen Fasern mit Gradientenprofil sowie Stufenprofil-Fasern mit nur einem Mantel. Letztere bestehen aus einem Kern mit hoher Brechzahl, welcher von einem Mantel geringerer Brechzahl umgeben ist. Durch Totalreflexion an der Grenzschicht werden die Wellen innerhalb der Faser geführt. Durch den im Vergleich zur Wellenlänge sehr großen Kerndurchmessers (100..400 μ m Durchmesser bei $\lambda < 800$ nm) breiten sich unterschiedliche Wellenzüge unter verschiedener Winkeln in der Faser aus. Die hieraus resultierende Laufzeitunterschiede führen zu einer Verzerrung der gesendeten Impulse. Dieser Effekt wird *Modendispersion* genannt. Er begrenzt die maximal nutzbare Datenrate bzw. die Länge, über die mit einer gegebenen Datenrate übertragen werden kann.

Mehrmodenfasern mit Gradientenprofil weisen einen kontinuierlichen Verlauf der Brechzahl auf. Dies bewirkt, daß Wellen mit wachsendem Abstand zur Kernachse stärker gebrochen werden. Durch diesen Effekt können die auftretenden Laufzeitunterschiede und somit die Modendispersion erheblich vermindert werden.

Innerhalb von Einmodenfasern ist, wie bereits erwähnt, allein der Grundmode ausbreitungsfähig. Mit dem damit verbundenen Fortfall der Modendispersion erschließt sich die nutzbare Bandbreite bis in den Terrahertzbereich. Heutige Hochgeschwindigkeitsnetze auf Basis von Lichtwellenleitern agieren zwischen 100 MHz und mehreren Gigahertz.

Lichtwellenleiter

Text Netzwerktopologien

Als optische Sender finden neben LEDs bzw. IREDS (*Light Emitting Diode* bzw. *Infrared Emitting Diode*) inzwischen häufig *Laserdioden* (LD) Verwendung. Sie zeichnen sich durch eine kohärente, gebündelte Abstrahlung aus und ermöglichen daher im Vergleich zu allen anderen optischen Sendern eine erheblich bessere Einkoppelung der Wellen in die Faser.

Zu den wichtigsten Vorteilen der Lichtwellenleitertechnik gegenüber dem Einsatz von Kupferleitern zählen

- die großen Übertragungsbandbreiten,
- eine niedrige Signaldämpfung,
- die Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen,
- die Galvanische Entkoppelung zwischen Sender und Empfänger sowie
- eine nahezu vollkommene Abhörsicherheit.

Dem generellen Einsatz von Lichtwellenleitern auf allen Datenübertragungsstrecken stehen jedoch die gravierenden Nachteile der aufwendigen Einkoppelung, der komplizierten Verlängerung von Glasfasern (Spleißen) und die damit verbundenen hohen Kosten entgegen.

Entwicklungsaspekte

Eines der Hauptziele bei der Entwicklung neuer Netzwerkstandards ist die Integration aller durch *Rechnernetze* und bisherige *Spezialnetze* bereitgestellten Dienste in einem gemeinsamen *Kommunikationsnetz*. Neben dem Gesichtspunkt der reinen Steigerung der verfügbaren Bandbreite sind daher folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- die gleichzeitige Übertragung verschiedener Datenformate wie z.B. Video, Audio und Standbilder über dasselbe Medium,
- die Übertragung zeitkritischer Daten in Echtzeit sowie
- die optimale Auslastung der zur Verfügung stehenden Bandbreite bei gleichzeitiger Zuteilung gesicherter Datenraten an die einzelnen Anwendungen.

Ein hierzu geeignetes Übertragungsverfahren muß daher in der Lage sein, mögliche Datenformate bzgl. ihrer Anforderungen in Klassen zu gruppieren und eine entsprechende Dienstgüte, *Quality of Service (QoS)*, bei der Übertragung zu gewährleisten.

Charakterisierung der Dienstgüte

Die Dienstgüte wird durch die Summe der Übertragungseigenschaften des (virtuellen) Kanals bestimmt, welcher für die Anwendung bereitgestellt wird. Je nach Art des dienst anbietenden Netzes wird zwischen zwei Arten des QoS unterschieden:

Timeliness QoS

Beschreibung der Dienstgüte in Abhängigkeit zeitlicher Aspekte der Übertragung.

Connectivity QoS

Beschreibung der Dienstgüte in Hinblick auf den Koppelungsgrad an das dienstbietende Netz.

Timeliness QoS

Vom Standpunkt der drahtgebundenen Kommunikation, wie sie z.B. innerhalb einer LANs vorliegt, ist der Timeliness QoS der wesentliche Aspekt. Im Gegensatz zu Datenkommunikation über Funk stellt hier die reine

Text Netzwerktopologien

Verfügbarkeit eines Kanales zur Kommunikation meist kein Problem dar. Vielmehr wird hier die Dienstgüte anhand der Eignung des verfügbaren Kanals für eine Anwendung beschrieben. Zur Differenzierung dienen hier

- die Höhe des Datendurchsatzes (*Throughput*),
- die absolute zeitliche Verzögerung bei der Übertragung (*Latency*) sowie
- die Schwankungen der absoluten Verzögerungszeit (*Jitter*).

Der zentrale Parameter ist hierbei der Throughput. Er ist durch die einer Verbindung zugewiesenen Bandbreite bestimmt.

Streng voneinander unterschieden werden müssen Latency und Jitter. Die Latency spezifiziert die absolute Verzögerungszeit einzelner autonomer Dateneinheiten zwischen ihrer Generierung durch die Datenquelle und der Ankunft bei der Datensenke. Im Gegensatz hierzu wird durch den Jitter die zulässige Schwankung der Laufzeit beschrieben. Er ist durch unterschiedliche zeitliche Abstände von Dateneinheiten innerhalb eines Datenstroms zu erkennen

Abbildung:

Laufzeit einzelner Dateneinheiten

Abbildung:

Jitter während der Übertragung

Datendurchsatz und Jitter sind die für einen isochronen, kontinuierlichen Datenfluß, wie z.B. der Übertragung eines Videosignals, ausschlaggebenden Qualitätsparameter. In Bereichen von Echtzeitkontrollsystemen, wie der Überwachung verteilter Produktionsabläufe, ist hingegen die absolute Verzögerungszeit der Dateneinheit selbst der wichtigste Qualitätsparameter. Hier muß sichergestellt sein, daß eine Steuerinformation innerhalb

einer definierten Maximalzeit übertragen wird.

Connectivity QoS

Die Koppelung der Station an das Übertragungsmedium und die damit verbundene Verfügbarkeit von nutzbaren Kanälen wird im Connectivity QoS erfaßt. Die Verfügbarkeit von Kanälen ist hierbei insbesondere von der Mobilität der Dateneinrichtung sowie deren Zugriffshäufigkeit auf die Ressourcen des Übertragungsmediums abhängig. Es wird daher zwischen Netzen unterschieden, deren Dateneinrichtungen aufgrund ihrer Funktionalität *keiner*, *einer zeitweisen* oder *einer ständigen* Koppelung an das Medium bedürfen. Die verfügbare Bandbreite ist dabei gegenläufig zur Mobilität der Dateneinrichtung.

Abbildung:

Charakterisierung von Netzen bzgl. ihrer zeitlichen Koppelung an das Medium

Serviceklassen

Auch wenn der Begriff der *Serviceklasse* im allgemeinen an die spezifische Implementierung eines Übertragungssystems gebunden ist, soll er an dieser Stelle implementierungsunabhängig betrachtet werden.

Eine Serviceklasse umfaßt jeweils eine Untergruppe möglicher QoS-Parameter. Ihre Eigenschaften korrespondieren daher direkt mit denen der Applikationen, die sie anfordern. Die Gesamtheit aller Serviceklassen spiegelt die Leistungsfähigkeit des Übertragungssystems wieder. Von der *Integrated Services Working Group* der IETF (*Internet Engineering Task Force*) wurden fünf Serviceklassen definiert:

- Controlled Load QoS.
- Controlled Delay QoS.
- Predictive Delay QoS.
- Committed Rate QoS.
- Guaranteed QoS.

Insbesondere von Seiten der Implementierung sind dabei der *Controlled Load QoS* und der *Guaranteed QoS* die entscheidenden Serviceklassen.

Durch die Kontrolle der von Anwendungen angeforderten Übertragungsraten mit der durch das Übertragungsmedium maximal bereitgestellten, ermöglicht der *Control Load QoS* die dedizierte Zuweisung von Bandbreite. Die übrigen QoS-Parameter bleiben unberücksichtigt. Da die maximale Transferrate eines

Text Netzwerktopologien

Übertragungsmediums eine unveränderliche Größe ist, ist eine Implementierung des Control Load QoS auch oberhalb der Sicherungsschicht möglich. Dies bedeutet, daß eine internetweite Einführung des Control Load QoS auf Basis von *RSVP* ohne Änderungen der unteren Schichten und damit zum Großteil ohne Austausch von Hardware erreicht werden kann. Auch wenn allein der Parameter des Throughputs berücksichtigt wird, so nimmt der Control Load QoS damit doch eine Sonderstellung im Vergleich zu den übrigen Serviceklassen ein.

Im Gegensatz zum Control Load QoS berücksichtigt der *Guaranteed QoS* alle Serviceparameter bzw. Kombinationen daraus

Abbildung:

Resourcenbelegung einzelner Serviceklassen

Unterschieden wird zwischen folgenden Serviceklassen:

Constant Bit Rate (CBR)

Einer Anwendung wird eine feste Transferrate (Bitrate) incl. maximal zulässiger Jitter- und Latency-Werte zugewilligt. Diese Serviceklasse ist auf anspruchsvolle Dienste wie z.B. Videokonferenzen zugeschnitten.

Variable Bitrate (VBR)

Die Serviceklasse wird durch die Angaben der mittleren Bitrate sowie einer ggf. maximal auftretenden Burstrate beschrieben. In einer zweiten Ausprägung, dem *Realtime VBR* (rt VBR), können zudem Angaben für die Latency und den Jitter spezifiziert werden.

Unspecified Bit Rate (UBR)

In dieser Serviceklasse könne keine Vorgaben gemacht werden. Die maximale Bitrate wird zwar spezifiziert, wird aber vom Netz nicht garantiert, sondern dient allein der Kalkulation der abzüglich CBR, VBR und dieser Serviceklasse noch verfügbaren Ressourcen.

Available Bit Rate (ABR)

Ihr stehen die nicht durch andere Serviceklassen belegten Ressourcen zur Verfügung. Anders als bei UBR-Verkehr wird eine minimale Datenrate spezifiziert. ABR-Verkehr genügt daher höheren Anforderungen als UBR-Verkehr.

Text Netzwerktopologien

Serviceparameter berücksichtigt (*), nicht berücksichtigt (–)

Table: Parameter der Serviceklassen

CBR	rt VBR	nrt VBR	UBR	ABR	
Maximale Transferrate	*	*	*	*	*
Mittlere Transferrate	–	*	*	–	–
Burstrate	–	–	–	–	*
Jitter	*	*	–	–	–
Latency	*	*	–	–	–

Als weitere „Serviceklasse“ kann der *Best Effort QoS* angesehen werden. Er impliziert die Nichtberücksichtigung jeglicher QoS-Parameter und beschreibt damit die gegenwärtige Art des Datenaustausches im größten Teil des Internets. Die Ressourcen der Übertragungsstrecken können nicht für einzelne Anwendungen reserviert werden, sondern sind jedem Teilnehmer in gleicher Weise zugänglich. Im Zustand geringer Last, können zwar auch Best-Effort-Netze zur Echtzeitdatenkommunikation genutzt werden (z.B. eine Audiokonferenz über ein LAN mit nur wenigen angeschlossenen Maschinen), bei ansteigender Last hingegen wird die Kommunikation aufgrund der nicht mehr verfügbaren Ressourcen scheitern.

Die Gewährleistung eines Guaranteed QoS setzt die Präsenz von QoS-sensitiven Protokollen auf allen Ebenen des OSI-Modells voraus. Die folgenden Kapitel werden daher die hierzu notwendigen Protokolle vorstellen.