Ethernet ist eine Familie von Netzwerktechniken, die vorwiegend in lokalen Netzwerken, aber auch zum Verbindung großer Netzwerke zum Einsatz kommt.

Für Ethernet gibt es eine Vielzahl an Standards, für die das Institute of Electrical and

Electronics Engineers (IEEE) verantwortlich ist.

Ethernet ist ein paketvermittelnde Netzwerktechnik, die auf der Schicht 1 und 2 des OSI-Schichtenmodells die die Adressierung und die Zugriffskontrolle auf das Übertragungsmedium definiert. Die Daten kommen bereits in Paketen von den darüberliegenden Schichten. Zum Beispiel von TCP/IP. Zusätzlich werden diese Datenpakete mit einem Header und einer Prüfsumme versehen. Danach werden sie übertragen.

Bestandteil der Schicht 2 sind die LLC- und MAC-Schicht (IEEE 802.2 und 802.1). Sie sind unabhängig von Ethernet und werden auch für andere Übertragungstechniken verwendet.

Geschichtlicher Hintergrund

Ursprünglich wurde Ethernet in den siebziger Jahren im PARC (Palo Alto Research Center), im Forschungslabor der Firma Xerox entwickelt. In Zusammenarbeit mit den Firmen DEC und Intel wurde Ethernet später zu einem offenen Standard. Dieser Standard bildete die Grundlage für den offiziellen 802.3-Standard des IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Einer der Vorläufer von Ethernet war ein Funknetz mit dem Namen ALOHA, das die Hawaii-Inseln miteinander verbunden hat. Hier war das Übertragungsmedium die Luft. Genauso wie ALOHA wurde Ethernet für die gemeinsame Nutzung eines Übertragungsmediums durch viele Stationen entwickelt. Während es für ALOHA die Luft war, wurde für Ethernet als Übertragungsmedium ein Koaxialkabel gewählt, das die Rechner in einer Bus-Topologie miteinander verbunden hat.

Angefangen hat es in den 80er Jahren beim 10-MBit-Ethernet über Koaxialkabel. Es folgten verschiedene Weiterentwicklungen für Twisted-Pair-Kabel und Glasfaserkabel mit höheren Übertragungsraten.

**CSMA/CD und Kollisionen (Ethernet)**

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ist ein Zugriffsverfahren

von Ethernet, um auf das Übertragungsmedium zugreifen zu können. Dabei spielt die

Behandlung von Kollisionen bei der Signalübertragung ein große Rolle.

CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

* Carrier Sense (Träger-Zustandserkennung): Jede Station prüft, ob das Übertragungsmedium

frei ist.

* Multiple Access (Mehrfachzugriff): Mehrere Stationen teilen sich das Übertragungsmedium.
* Collision Detection (Kollisionserkennung): Wenn mehrere Stationen gleichzeitig senden,

erkennen sie die Kollision.

Ablauf von CSMA/CD

Das ursprüngliche Ethernet entspricht einer Bus-Topologie an der mehrere Stationen

angeschlossen sind (Multiple Access). Es dürfen alle Stationen die Signale auf dem Bus lesen, aber es dürfen nicht alle Stationen gleichzeitig senden. Welche der angeschlossenen Stationen senden darf, wird durch das CSMA/CD-Verfahren bestimmt. Alle Stationen hören permanent das Übertragungsmedium ab (Carrier Sense). Sie können zwischen einem freien und einem besetzten Übertragungsmedium unterscheiden. Bei einem freien Übertragungsmedium darf gesendet werden. Will eine Station senden, prüft sie, ob der Bus frei ist. Ist er frei, so beginnt die Station zu senden. Das bedeutet, sie legt das Datensignal

auf den Bus. Während der Signalübertragung überprüft die Station, ob das gesendete Signal mit dem Signal auf dem Bus identisch ist. Entspricht das gesendete Signal nicht dem abgehörten Signal, dann

hat eine andere Station gleichzeitig gesendet. Die beiden Signale überlagern sich. Diesen Zustand auf dem Übertragungsmedium bezeichnet man als Kollision. Durch prüfen des Zustands auf der Leitung kann diese Kollision erkannt werden (Collision Detection). Wurde eine Kollision erkannt wird die Übertragung abgebrochen. Der Sender, der das Störsignal zuerst entdeckt, sendet ein spezielles Signal, damit alle anderen Stationen wissen, dass das Netzwerk blockiert ist. Nach einer zufälligen Wartezeit wird wieder geprüft, ob der Bus frei ist. Ist das der Fall, wird von neuem gesendet. Der Vorgang wird so oft wiederholt, bis die Daten ohne Kollision übertragen wurden. Konnte die Übertragung ohne Kollisionserkennung beendet werden, dann gilt die Übertragung als erfolgreich. Kamen die Daten aus irgendwelchen Gründen beim Empfänger nicht an, dann müssen diese Daten durch Protokolle, wie z. B. TCP, neu angefordert werden. Tritt dies häufiger auf, werden mehr Datenpakete gesendet. Das drückt auf die effektive Übertragungsgeschwindigkeit des Netzwerks.

Kollisionsdomäne

Die Kollisionsdomäne (collision domain) umfasst ein Netzwerk oder auch nur ein

Teilnetzwerk aus Leitungen, Stationen und Kopplungselementen der Schicht 1 (OSIReferenzmodell).

In der Kollisionsdomäne müssen die Kollisionen innerhalb einer bestimmten Zeit jede Station erreichen. Das ist die Bedingung, damit das CSMA/CD-Verfahren funktionieren kann. Ist die Kollisionsdomäne zu groß, dann besteht die Gefahr, dass sendende Stationen Kollision nicht bemerken können. Aus diesem Grund ist die maximale Anzahl der Station in einer Kollisionsdomäne auf 1023 Stationen begrenzt.

Wie kann man Kollisionen verhindern?

**Grundsätzlich:** Je weniger Stationen sich in einer Kollisionsdomäne befinden, desto weniger Kollisionen können auftreten.

Halbduplex und Vollduplex

Halbduplex-Ethernet basiert auf dem CSMA/CD-Verfahren. Es handelt sich dabei um das ursprüngliche Ethernet bis 10 MBit/s. Vollduplex-Ethernet ist eine Weiterentwicklung, die als Fast Ethernet bezeichnet wird und auf CSMA/CD verzichtet. Auch alle weiteren Ethernet-Entwicklungen arbeiten im Vollduplex-Betrieb. Die Stationen kommunizieren über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen direkt miteinander.

Weil Fast Ethernet in der Regel im Vollduplex-Modus arbeitet und damit auf CSMA/CD verzichtet, ist eine zusätzliche Flusskontrolle erforderlich.

**MAC-Adresse (Ethernet)**

Jede Station in einem Ethernet-Netzwerk hat eine eigene Adresse. Diese Adresse soll die Stationen eindeutig identifizieren. Sie werden als MAC-Adressen, Hardware-Adressen, Ethernet-Adressen oder physikalische Adresse bezeichnet. Die unterschiedlichen Bezeichnungen kommen daher, weil die MAC-Adresse den physikalischen Anschluss bzw. der Netzzugriffspunkt einer Station adressiert. Der physikalische Anschluss ist die Hardware. Zum Beispiel eine Netzwerkkarte oder Netzwerkadapter. Die Bezeichnung Ethernet-Adresse kommt daher, weil MAC-Adressen üblicherweise für Ethernet-Netzwerkkarten vergeben werden. Jede Netzwerkkarte besitzt eine eigene, individuelle MAC-Adresse. Sie wird einmalig hardwareseitig vom Hersteller konfiguriert und lässt sich im Regelfall nicht

verändern.

In jedem Ethernet-Frame (Datenpaket) befinden sich die Adressen von Sender (Quelle) und Empfänger (Ziel). Beim Empfang eines Frames vergleicht die Empfangseinheit der empfangenden Station die MAC-Zieladresse mit der eigenen MAC-Adresse. Erst wenn die Adressen übereinstimmen, reicht die Empfangseinheit den Inhalt des Frames an die höherliegende Schicht weiter. Wenn keine Übereinstimmung vorliegt, dann wird das Frame verworfen.

Format einer MAC-Adresse

Alle bekannten Zugriffsverfahren mit einer MAC-Schicht, zum Beispiel Ethernet, Token Bus, Token Ring oder FDDI verwenden das gleiche MAC-Adressformat mit 48 Bit langen MACAdressen.

**I/G U/L OUI OUA**

1. Bit 2. Bit 3. - 24. Bit 25. - 48. Bit

Die ersten beiden Bit der MAC-Adresse kennzeichnen die Art der Adresse. Das erste Bit hat eine besondere Bedeutung. Ist es gesetzt, dann handelt es sich um eine Gruppe von Rechnern

(Multicast). Eine Adresse, bestehend aus lauter Einsen ist eine Broadcast-Adresse. Damit werden alle Rechner angesprochen.

I/G = 0: Individual-Adresse (Unicast Address), Adresse für einen Netzwerkadapter

I/G = 1: Gruppen-Adresse (Multicast Address), Ziel-Adresse für eine Gruppe von Stationen

U/L = 0: universelle, weltweit eindeutige und unveränderbare Adresse

U/L = 1: lokal veränderbare Adresse

Vom 3. bis zum 24. Bit wird der Hersteller der Netzwerkkarte gekennzeichnet. Man

bezeichnet diese Bitfolge als Organizationally Unique Identifier (OUI). Da bei universellen Individual-Adressen die ersten beiden Bit auf "0" stehen, werden sie häufig in den OUI mit einbezogen.

Die Bitfolge vom 25. bis zum 48. Bit wird vom Hersteller vergeben. Man bezeichnet diese Bitfolge als Organizationally Unique Address (OUA).

MAC-Multicast- und MAC-Broadcast-Adressen

Gelegentlich kommt es vor, dass ein Ethernet-Frame an mehrere Stationen (Multicast) oder alle Stationen (Broadcast) eines Netzwerks gesendet werden sollen. Für diese Zwecke gibt es entsprechende Multicast- und Broadcast-Adressen. Sie existieren nur als Ziel-Adressen. Für spezielle Anwendungen gibt es standardisierte Multicast-Adressen. Für Broadcasts (Ethernet-Frames an alle Stationen) gibt es aber nur eine einzige Adresse. Sie lautet:

**Bitmuster**

**Kanonische**

**Form**

**Broadcast-**

**Adresse**

11111111 11111111 11111111 11111111 11111111

11111111

FF-FF-FF-FF-FFFF

Broadcasts können ein Netz sehr stark belasten, da in diesem Fall das ganze Netz für einen Augenblick mit einem einzigen Datenpaket belegt ist. Bei einem Broadcast-Sturm kann ein Netz sogar ganz zum Erliegen kommen. Nach Möglichkeit vermeidet man Broadcasts über Netzgrenzen hinweg.

**Ethernet-Frame (Rahmenformat)**

Ethernet ist ein paketvermittelndes Netzwerk. Die Daten werden in mehrere kleine Pakete aufgeteilt. Diese Pakete werden Frames oder Rahmen genannt. Es gibt verschiedene Ethernet-Rahmenformate.

Grundsätzliches zu Ethernet-Rahmenformaten bzw. Ethernet-Frames

Dem Ethernet-Frame wird eine Präambel vorangestellt. Sie dient zur Synchronisation der Empfänger. Sie besteht aus einer Schwingung von 6,4 μs Länge. Es handelt sich dabei um eine Folge von 1010..., auf einer Länge von 8 Byte. Der Präambel folg Start Frame Delimiter (SFD). Das ist ein Bitfolge, die das Ethernet-Frame einleitet.

In einem Frame werden neben den Daten (Datenpakete aus den oberen Protokoll-Schichten) auch Zieladresse, Quelladresse und Steuerinformationen verpackt. Als Adressen dienen MAC-Adressen. Das sind die Hardware-Adressen der Netzwerkadapter, die vom Hersteller vergeben werden. Für die MAC-Adressen stehen jeweils 6 Byte zur Verfügung. Die Steuerinformationen nehmen je nach Rahmenformat unterschiedlich viel Platz ein. Das Ethernet-Frame muss eine Mindestlänge von 64 Byte haben. Wenn die Nutzdaten weniger als 42 bzw. 46 Byte (mit bzw. ohne VLAN-Tag) betragen, dann muss der Rest aufgefüllt werden. Durch das PAD-Feld (Padding-Bits) wird das Ethernet-Frame auf die Minimalgröße gebracht. In der weiteren Betrachtung der verschiedenen Ethernet-Rahmenformate wird das PAD-Feld nicht berücksichtigt. Das Ethernet-Frame endet mit der Frame Check Sequence (FCS). Das ist eine 32-Bit-CRC Prüfsumme. Sie wird über das gesamte Frame berechnet. Beginnend von der Ziel-MACAdresse bis zum PAD-Feld. Die Präambel und der SFD sind nicht in der Prüfsumme enthalten.

Nach dem Senden eines Frames erfolgt eine Pause von 9,6 μs. Diese Pause wird als Inter Frame GAP bezeichnet.

**Fast-Ethernet / IEEE 802.3u**

Fast-Ethernet gehört zu einer Familie von Netzwerktechniken, die vorwiegend in lokalen Netzwerken zum Einsatz kommen. Ethernet ist aber auch für die Verbindung großer Netzwerke geeignet. Fast-Ethernet ist sowohl für Glasfaserkabel und Twisted-Pair-Kabel entwickelt und spezifiziert. Die verschiedenen Fast-Ethernet-Varianten erlauben die Übertragung von Daten mit 100 MBit/s (vollduplex).

IEEE 802.3x / Flow Control

Weil Fast-Ethernet in der Regel im Vollduplex-Modus arbeitet und damit auf CSMA/CD verzichtet, ist eine zusätzliche Flusskontrolle erforderlich.

Der Grund: Wenn eine Ethernet-Station zu viele Datenpakete bekommt, dann besteht die Gefahr, dass die Datenpakete teilweise verworfen werden. Mit einer Flusskontrolle kann die Station der Gegenstelle signalisieren, eine Sendepause einzulegen. Die betroffene Station schickt dem Verursacher ein PAUSE-Paket. Entweder an eine spezielle Multicast-MAC-Adresse oder direkt an die MAC-Adresse des Verursachers. Im PAUSE-Paket steht dann die gewünschte Wartezeit.

Beispiel: Ein Switch hat 32 Gigabit-Ports, aber nur 10 GBit/s interne Bandbreite. Mit einem PAUSE-Paket kann der Switch den Stationen mitteilen, dass sie mit einer geringeren Übertragungsrate senden sollen. Wenn die Stationen sich daran halten, dann verwirft der Switch weniger Datenpakete. So wird verhindert, dass das Netzwerk mit wiederholt gesendeten Datenpaketen überflutet wird.

Auto-Negotiation

Mit Auto-Negotiation können Ethernet-Stationen automatisch die Ethernet-Variante der Station am anderen Ende der Leitung erkennen. Häufig wird Auto-Negotiation auch als AutoSensing bezeichnet. Dieser Begriff ist allerdings missverständlich und sollte daher nicht verwendet werden. Auto-Negotiation wurde deshalb notwendig, weil der Umstieg von 10Base-T auf 10Base-TX in der Regel in einem Mischbetrieb endete. Aus diesem Grund beherrschen Fast-Ethernet- Komponenten durchgängig Auto-Negotiation.

Um Probleme mit Auto-Negotiation zu vermeiden, sollte man die Netzwerk-Stationen

entweder mit Auto-Negotiation betreiben oder auf eine feste Übertragungsart einstellen. Probleme treten in der Regel nur dann auf, wenn man Vollduplex- und Halbduplex-fähige Komponenten mischt.

**Gigabit-Ethernet / 1GBase-T / 1000Base-T /**

**IEEE 802.3z / IEEE 802.3ab**

Gigabit-Ethernet gehört zu einer Familie von Netzwerktechniken, die vorwiegend in lokalen Netzwerken zum Einsatz kommen. Gigabit-Ethernet ist aber auch für die Verbindung großer Netzwerke geeignet. Gigabit-Ethernet wurde erst für Glasfaserkabel, später auch für Twisted-Pair-Kabel entwickelt und spezifiziert. Beide Varianten erlauben die Übertragung von Daten mit 1.000 MBit/s bzw. 1 GBit/s. Das ist eine Steigerung um den Faktor 10 gegenüber Fast-Ethernet mit 100 MBit/s.

Fast-Ethernet galt lange Zeit als "der" Standard für die lokale Vernetzung. Doch wer denkt, dass Fast-Ethernet mit 100 MBit/s vollkommen ausreichend ist, der irrt. Wenn Daten im Netzwerk gespeichert werden, dann ist das 100-MBit-Netz ein Flaschenhals. 1 GBit/s ist ein Muss, wenn man Server und Speichergeräte in ein Netzwerk einbinden will und viele Netzwerk-Teilnehmer darauf zugreifen sollen.

Viele verschiedene Anwendungen (z. B. Internet, Multimedia, elektronischer

Dokumentenaustausch) verursachen eine hohe Netzlast. Deshalb ist es notwendig, die zentralen Netzwerk-Stationen, wie z. B. Router, Server und Switche mit mehr Bandbreite zu verbinden, als es bei den meisten Stationen nötig ist.

IEEE 802.3z / Gigabit Ethernet auf Glasfaser und Twinax-Kabel

1000Base-SX: Glasfaser mit einer Wellenlänge von 850 nm (Singlemode- oder Multimode-

Glasfaser)

1000Base-LX: Glasfaser mit einer Wellenlänge von 1300 nm (Singlemode- oder Multimode-

Glasfaser)

1000Base-CX: Twinax-Kabel bis maximal 25 Meter (Übergangslösung)

IEEE 802.3ab / Gigabit Ethernet über Twisted-Pair-Kabel

1000Base-T ist eine Erweiterung von IEEE 802.3z. Der Standard beschreibt auf der

physikalischen Schicht des OSI-Schichtenmodells, wie und in welcher Form Daten auf dem Kabel übertragen werden. Alle weiteren Funktionen von Ethernet, dazu gehört auch das Zugriffsverfahren, sind auf dem MAC-Layer definiert.

Gigabit-Ethernet ist zu 100 MBit/s und 10 MBit/s abwärtskompatibel.

**10-Gigabit-Ethernet / 10GBase-T / IEEE**

**802.3ae / IEEE 802.3an**

10-Gigabit-Ethernet gehört zu einer Familie von Netzwerktechniken, die vorwiegend in

lokalen Netzwerken zum Einsatz kommt. Ethernet eignet sich auch zur Verbindung großer

Netzwerke. 10-Gigabit-Ethernet wurde erst für Glasfaserkabel, später auch für Twisted-Pair-

Kabel entwickelt und spezifiziert. Die verschiedenen Varianten erlauben die Übertragung von

Daten mit 10 GBit/s. Das ist eine Steigerung um den Faktor 10 gegenüber Gigabit-Ethernet

mit 1 GBit/s.

10-Gbit/s-Ethernet wird für LAN und WAN verwendet.

Jumbo-Frame

Jumbo-Frames wurden bereits bei 1GBase-T eingeführt, sind jedoch in 10GBase-T

standardisiert. Man kann sie aktivieren, ohne das es zu Problemen bekommt. In Jumbo-

Frames passen bis zu 9014 Byte Nutzdaten in ein Ethernet-Frame. Vorher waren es nur 1500

Byte. Der Anteil des Overheads(Zusatzinformation) an der Übertragung hat sich durch Jumbo-Frames reduziert.

IEEE 802.3ae / 10-Gigabit-Ethernet über Glasfaserkabel

10GBase-LX4: Multimode- oder Singlemode-Glasfaser (300 m und 2 km) mit einer

Wellenlänge von 1310 nm

10GBase-SR: Multimode-Glasfaser (bis 300 m) mit einer Wellenlänge von 850 nm

10GBase-LR: Singlemode-Glasfaser (bis 10 km) mit einer Wellenlänge von 1310 nm

10GBase-ER: Singlemode-Glasfaser (bis 40 km) mit einer Wellenlänge von 1550 nm

IEEE 802.3ak / 10-Gigabit-Ethernet über Twinax-Kabel

10GBase-CX4: 10 Gigabit über 8 Twinax-Paare auf 15 Meter (Verbindung für Switche)

IEEE 802.3an / 10-Gigabit-Ethernet über Twisted-Pair-Kupferkabel

10GBase-T: 10 Gigabit über CAT7- und CAT6a-Kabel

**40- und 100-Gigabit-Ethernet / IEEE**

**802.3ba**

40-Gigabit- und 100-Gigabit-Ethernet (100GE) gehören zu einer Familie von

Netzwerktechniken, die vorwiegend in lokalen Netzwerken zum Einsatz kommen. Die auf Ethernet basierende lokale Netzwerktechnik eignet sich auch zur Verbindung großer Netzwerke. Der Standard IEEE 802.3ba umfasst 40-Gigabit- und 100-Gigabit-Ethernet und ist der erste Ethernet-Standard, in dem zwei Geschwindigkeitsstufen definiert sind. IEEE 802.3ba ist für Entfernungen bis 40 km ausgelegt.

Auf dem Weg zum 100-Gigabit-Ethernet ist 40 Gigabit nur ein Zwischenschritt. Der ist deshalb notwendig, weil 100 Gigabit technisch sehr anspruchsvoll und teuer in der

Implementierung ist. Lange Zeit gab es nicht genug Nachfrage für höhere Geschwindigkeiten, da sich 10-Gigabit-Ports kostengünstig bündeln lassen. 100 GBit/s kann man zum Beispiel dadurch erreichen, dass 10 x 10 GBit/s gebündelt werden. Doch das ist für den Einsatz in Weitverkehrsnetzwerken nicht praktikabel und auch nicht wirtschaftlich. Die 40-GBit-Technik ist bei optischen Weitverkehrsstrecken (WAN) seit Jahren etabliert. Mit ihr konnte der Bandbreitenbedarf von Netzwerk- und Datenzentren-Betreibern befriedigt

werden. Netzwerk-Betreiber würden 100-Gigabit-Ethernet zum Beispiel zur schnellen Verbindung in Rechenclustern, zum Vernetzen von Massenspeichern oder im Internet-Backbone der nächsten Generation favorisieren. Für die Zukunft müssen die Netzbetreiber den steigenden Anforderungen durch Videoübertragungen oder Cloud Computing gewachsen sein. Außerdem sinkt mit 100 Gigabit die Zahl der pro Router erforderlichen Ports. Ohne 100-Gigabit-Ports sind Datenraten über 10 GBit/s nur umständlich über mehrere parallele 10-GBit-Verbindungen möglich.

Übersicht: 100-Gigabit-Ethernet-Standards

40GBase-KR4: kurze Strecken im Backplane (4 Leitungspaare) bis 1 Meter

40GBase-CR4: Twinax-Kabel mit 4 Adernpaare für 10 Meter

100GBase-CR10: Twinax-Kabel mit 10 Adernpaare für 10 Meter

40GBase-SR4: Multimode-Faser mit vier Faserpaaren (OM3 für 100 Meter, OM4 für 125 m

Reichweite)

100GBase-SR10: Multimode-Faser mit 10 Faserpaaren (OM3 für 100 Meter, OM4 für 125 m

Reichweite)

40GBase-LR4: Single-Mode-Faserpaare mit 4 Wellenlängen a 10 GBit/s bei 10 km

100GBase-SR10: Single-Mode-Faserpaare mit 4 Wellenlängen a 25 GBit/s bei 10 km

100GBase-ER4: Single-Mode-Faserpaare mit 4 Wellenlängen a 25 GBit/s bei 40 km

100-Gigabit-Ethernet über Kupferkabel?

Die Übertragung von 10 GBit/s über Kupfer galt schon als technisch sehr anspruchsvoll. Eine weitere Steigerung gilt als nahezu unmöglich. Kupferkabel sollen bei beiden Geschwindigkeitsstufen auf Twinax-Kabel für Strecken von maximal zehn Metern möglich sein (100GBASE-CR10). Es ist aber bereits im Gespräch, dass bei einer Kabellänge von 70 Metern 100 GBit/s auf Cat7-Kabel machbar ist. Mit IEEE 802.3bq it ein Standard in Arbeit für 40 GBit/s über Kupferkabel (40GBase-T).

Das Problem: Die heutigen Chips mit einer 65-nm-Strukturbreite sind für die

Transmitter/Receiver ungeeignet. Bis es ein 100-Gigabit-Ethernet für Kupferkabel gibt, müssen noch zwei bis drei Chip-Generationen ins Land gehen. Hinzu kommt, dass 100GE auf Twisted-Pair-Kabel, falls überhaupt technisch machbar, ökonomisch völlig unsinnig ist.

**Switching**

Switching ist ein Mechanismus in paketorientierten Netzwerken, um für eingehende

Datenpakete den richtigen Ausgang zu ermitteln. Dabei geht es darum auf Basis von Sender und Empfänger-Adressen eine Verbindung zwischen einem Eingangs-Port und einem Ausgangs-Port zu schalten.

Dafür gibt es verschiedene Switching-Verfahren, die in der folgende Beschreibung Ethernet als Grundlagen haben.

Switching-Verfahren

Beim Switching wird das eingehende Ethernet-Frame (Datenpaket) analysiert. Die MAC-Adressen von Sender und Empfänger werden in der MAC-Tabelle (FDB, Forwarding Database) gespeichert. So können die Datenpakete schneller an den Switch-Port, an dem der Empfänger hängt, weitergeleitet werden. Da eine Station an einen anderen Switch-Port umgezogen werden kann, wodurch der Tabelleneintrag veralten würde, werden die Einträge in der MAC-Tabelle regelmäßig gelöscht (Ageing-Mechanismus).

Cut-Through

Store-and-Forward

Adaptive-Cut-Through

FragmentFree-Cut-Through

Cut-Through

Der Switch analysiert die Ethernet-Frames, bevor sie vollständig eingetroffen sind. Hat er die Ziel-Adresse identifiziert, wird das Frame sofort an den Ziel-Port ausgegeben. Die Latenz, die Verzögerungszeit zwischen Empfangen und Weiterleiten eines Frames, ist äußerst gering. Das Cut-Through-Verfahren verzichtet auf die vollständige Analyse der Frames, wobei fehlerhafte oder beschädigte Frames unerkannt bleiben und ungehindert weitergeleitet werden. Obwohl dieses Verfahren sehr schnell ist, kann es auch zu einer Belastung des Netzwerks führen, weil defekte Ethernet-Frames nochmals übertragen werden müssen.

Store-and-Forward

Der Switch nimmt stets das gesamte Frame in Empfang und speichert es in einem Puffer. Erst danach wird das Frame analysiert. Dazu wird geprüft, ob das Frame die richtige Struktur (nach IEEE 802.1d) hat. Außerdem wird die Richtigkeit der CRC-Prüfsumme (nach IEEE 802.3) getestet. Erst danach wird die Ziel-MAC-Adresse ausgelesen und überprüft. Befindet sich die Ziel-Adresse in der MAC-Tabelle wird das Frame an den gespeicherten Port ausgegeben. Wenn die Adresse sich nicht in der MAC-Tabelle befindet wird das Frame an alle Ports weitergeleitet (Broadcast).

Wenn ein Frame der Ziel-Adresse zurückkommt, dann speichert der Switch die Ziel-Adresse und den dazugehörigen Port in seiner MAC-Tabelle. Beim nächsten Datenpaket mit dieser Ziel-Adresse schickt der Switch das Frame gleich an den zugeordneten Port. Grundsätzlich benötigt das Store-and-Forward-Verfahren mehr Zeit bis ein Frame weitergeleitet ist. Die genaue Analyse eines Frames reduziert jedoch die Netzbelastung durch fehlerhafte Frames.

Adaptive-Cut-Through

Je nach Implementierung gibt es Unterschiede bei diesem Switching-Verfahren. In jedem Fall wird auf eine Kombination aus Cut-Through und Store-and-Forward gesetzt. Im einen Fall werden die Frames mit Cut-Through weitergeleitet, aber anhand der Prüfsumme (CRC) geprüft. Wird eine bestimmte Fehlerrate überschritten wird automatisch auf Store-and-Forward umgeschaltet. Geht die Fehlerrate zurück, wird auf Cut-Through zurückgeschaltet. Mit diesem Verfahren wird in teuren Switches eine Optimierung des Datenverkehrs zwischen Schnelligkeit und Fehlerfreiheit hergestellt. Unterschiedliche Datenraten kann dieses Switching-Verfahren nicht berücksichtigen. Die Switches unterstützen nur eine Art der Datenrate (10 MBit / 100 MBit / 1 GBit).

Eine anderen Art von Adaptive-Cut-Through entscheidet anhand der Länge des Frames, welches Verfahren angewendet wird. Ist keine Anpassung der Datenrate nötig, werden Frames mit einer Länge über 512 Byte per Cut-Through weitergeleitet. Kürzere Frames werden vor der Weiterleitung mit Store-and-Forward analysiert. Mit diesem Switching-Verfahren optimiert man die Latenz anhand der Länge von Frames.

FragmentFree-Cut-Through

Dieses Verfahren stammt von Cisco und geht von einem Erfahrungswert bei fehlerhaften Frames aus. Man hat festgestellt, dass Übertragungsfehler am häufigsten innerhalb der ersten 64 Byte eines Frames auftreten. Deshalb überprüft ein, mit FragmentFree-Cut-Through arbeitender, Switch die ersten 64 Byte auf Fehler. Ist es fehlerfrei wird das Frame per Cut- Through weiterverarbeitet. Ist ein Fehler vorhanden, dann wird das Frame verworfen.

Fragen:

Ist 100 GBit/Sekunde die höchste Übertragungsrate?

Wieso gehen Kupferkabel bei 100 GBit nicht mehr?

Wieso funktioniert CSMA/CD nur in halbduplexfähigen Ethernet?

Was kann in einem Ethernet Frame noch drinnen stehen anstatt der Typinformation?

Wieso werden bei der einen adaptive Cut Through Variante die kleinen Frames mit Store and Forward analysiert?