

Die Ethernet-(R)Evolution

Gegen alle Kollisionen gerüstet?

Kai-Oliver Detken

Ethernet ist aus der Netzwelt nicht mehr wegzudenken. Es hat im LAN längst die Konkurrenz von FDDI, Token Ring oder ATM weit hinter sich gelassen und letztendlich vom Markt genommen. Nachdem die „Schlacht“ im LAN gewonnen wurde, machte sich Ethernet auf den Weg, den angestammten Techniken wie SDH und ATM im WAN-Bereich das Fürchten zu lehren. Aber nicht genug der fließenden Übergänge im LAN, MAN und WAN: Ethernet schickt sich auch an, im Feldbus-Umfeld, bei der Storage-Anbindung (NAS) oder als Servicenetz (Metro Ethernet Services) Alternativen aufzuzeigen. Dabei war die kollisionsbehaftete Technik als reines Datennetz konzipiert worden und so auch jahrzehntelang im Einsatz. In den letzten vierzig Jahren hat sich allerdings einiges bei Ethernet getan, weshalb es Zeit für eine Bestandsaufnahme ist.

Ethernet ist ein reines Kunstwort, das vereinfachend für das standardisierte IEEE-Verfahren CSMA/CD in 802.3 zur Kollisionserkennung eingesetzt wurde. Es ist leichter auszusprechen und machte auch gleich klar, dass man sich in einem gemeinsamen Äther mit allen anderen Teilnehmern befindet, in dem natürlich auch Kollisionen entstehen können. In einem solchen Shared Media Network wurden vorzugsweise nur Daten übertragen, da diese unabhängig vom Empfangszeitpunkt verarbeitet werden konnten. Kam es zu Paketkollisionen, wurden die verlorenen Pakete einfach neu gesendet und kamen etwas später an.

Das Hauptproblem von Ethernet war daher in den ersten zwanzig Jahren seines Daseins, dass es mit 10 Mbit/s langsam an seine Performance-Grenze kam. Dies änderte sich schlagartig, als FDDI und ATM Anfang der 1990-er Jahre in den Backbone vorstießen und Ethernet immer mehr als veraltetes Netz bezeichnet wurde.

Langer Standardisierungsweg

Die IEEE-Arbeitsgruppe brachte 1995 den 100-Mbit/s-Standard 802.3u heraus. Leider war mit der vorhandenen Entfernungsbegrenzung (noch) nicht an den Einsatz im Backbone zu denken, aber es gab bereits Vollduplexunterstützung und Switching-Performance, die die Kollisionen im Keim erstickten sollte.

Da Fast-Ethernet aber keine Alternative zu ATM darstellte, wurde sofort im Anschluss Gigabit-Ethernet spezifiziert und 1999 der Standard 802.3z veröffentlicht. Gigabit-Ethernet fokussierte immer noch auf reine Datennetze, ermöglichte aber bereits eine Priorisierung und die Trennung der Datenströme auf Layer 2 voneinander (802.1q). Zusätzlich kamen wichtige Leistungsmerkmale hinzu. So wurden kleine Ethernet-Pakete künstlich er-

weitert, um Kollisionen bei dieser Geschwindigkeit überhaupt noch erkennen zu können, Trunking bzw. Link Aggregation zur Zusammenfassung von Ethernet-Links zur Erhöhung der Bandbreite ermöglicht, Lichtwellenleiter für größere Entfernungen unterstützt und Jumbo-Frames mit bis zu 9.000 byte für ein Paket eingeführt. Dann konnte Ethernet endlich im Backbone eingesetzt werden und rudimentär Echtzeitdienste wie z.B. VoIP (Voice over IP) unterstützen.

Aber damit gab sich die Ethernet-Gemeinde nicht zufrieden und entwickelte umgehend an 10-Gigabit-Ethernet (10GE) nach 802.3ae weiter. Um hierbei auch ältere Glasfaserleitungen mit unterstützen zu können, behalf man sich mit einem Trick. Dazu wurden bei der Nutzung von 8/10 bit-Codierung vier parallele Datenströme mit einer jeweiligen Nutzdatenrate von 2,5 Gbit/s eingeführt. Dies wurde ähnlich umgesetzt wie bei Gigabit-Ethernet bei der Nutzung von Cat.5-Kupferleitungen, wo auf vier Aderpaaren jeweils 250 Mbit/s transportiert werden. Für die serielle Übertragung musste man aber bessere Codierungen (64/66bit) verwenden, um die neue Datenrate in einem Stück transportieren zu können. Neu war auch, dass zum ersten Mal ein sog. SDH-Framing angeboten wurde, um SDH-Netze mit 9,58 Gbit/s direkt anbinden zu können. Die Ethernet-Technik vollzog somit auch offiziell den Schritt ins Weitverkehrsnetz.

Im Dezember 2007 traf die IEEE die Entscheidung, 40/100-Gigabit-Ethernet nach 802.3ba anzugehen. Der Standard wurde 2011 endgültig verabschiedet und wartet hauptsächlich mit einer noch höheren Performance und der Unterstützung bestehender Standards auf. Das bedeutet auch, dass als maximale Rahmenlänge nach wie vor 1.518 byte (ohne VLAN-ID) angeboten werden. Ein erster Switch

kam zur Cebit 2012 von Extreme Networks auf den Markt, der erst einmal nur 40 Gbit/s unterstützte. Nichtsdestotrotz begannen im März 2013 die Arbeiten an 400/1.000-Gigabit. Erste Ergebnisse werden bis 2017 erwartet. Es scheint bei Ethernet kein Geschwindigkeitslimit zu geben.

Kompatibilitätsprobleme

Bild 1 stellt die verschiedenen VLAN-ID-Techniken übersichtlich dar. Während links der Urstandard 802.3 noch keinerlei VLAN-IDs enthält, wurde mit Fast-Ethernet das Ur-Paket um 4 byte erweitert. Damit hatte man nun 4.096 VLAN-Möglichkeiten bei der vorhandenen 12-bit-Kennung. Für ein LAN natürlich ausreichend, nicht aber für Provider-Netze im WAN-Umfeld. Daher wurde ein sog. Q-in-Q-Tag mittels Provider Bridges nach 802.1ad eingeführt, um VLAN-IDs innerhalb VLAN-IDs anbieten zu können. Ein Q-Tag war dabei für den Kunden vorgesehen, ein zweiter sollte die jeweiligen Dienste unterscheiden. Um nun auch verschiedene Backbones unterstützen zu können, musste eine weitere Backbone-ID entsprechend dem Standard „Provider Backbone Bridging“ nach 802.1ah eingeführt werden.

Das Zusammenspiel der unterschiedlichen VLAN-IDs kann dabei auch nicht unbedingt als trivial bezeichnet werden. Da verschiedene Provider auch die IDs unterschiedlich belegen, sind Inkompatibilitäten im Grunde vorgezeichnet. Auch müssen die eingesetzten Switch-Komponenten alle genannten Standards gleichermaßen unterstützen, da sonst die VLAN-IDs nicht erkannt werden können. Um eine Kompatibilität zwischen verschiedenen Switchen hinzubekommen, werden auf dem Uplink die entsprechenden VLAN-IDs abgeschnitten. Geschieht dies nicht, wie z.B. bei einem Endgerät, das eine VLAN-ID aktiviert, obwohl der Switch nicht VLAN-fähig ist, kommt es zu Verbindungs- und Stabilitätsproblemen. Bild 1 zeigt zudem, dass der Overload weiter ansteigt, während der Payload unverändert bleibt. Damit verringert sich die Effizienz der Datenübertragung gegenüber größeren Paketen weiter.

Die Abwärtskompatibilität führt zudem dazu, dass das CSMA/CD-Verfahren weiter mitgeschleppt wird. Dies ist im Grunde zwar nicht mehr nötig, wenn alle Verbindungen in einem Netz voll duplex sind, da dann die Kollisionsdomäne auf den einzelnen Port begrenzt wird. Allerdings kommt es öfter als gedacht vor, dass sich Netzwerke an Server-Systemen oder Ports an Switchen auf halbduplex umstellen (z.B. durch Autonegotiation). In diesem Fall hat man sofort wieder Kollisionen zu befürchten, und die Netz-Performance sinkt merklich. Daher sollten diese Einstellungen bei Performance-Problemen immer als erstes untersucht werden. Dabei ist zu beachten, dass voll duplex nicht mit der doppelten Performance gleichzusetzen ist, d.h., es werden auf einem 1-Gbit/s-Link nicht insgesamt 2 Gbit/s erreicht, sondern es können max. 1 Gbit/s gleichzeitig in beide Richtungen verwendet werden.

Performance-Engpässe

Durch die angestrebte Rückwärtskompatibilität wird weiterhin auf eine max. Nutzdatengröße von 1.500 byte gesetzt. Diese Paketgröße ist aber im Grunde genommen zu klein, um in Hochgeschwindigkeitsnetzen bei geringem Overhead große Datentransferraten zu ermöglichen. Messungen und wissenschaftliche Analysen ergaben, dass erst ab 9.000 byte eine optimale Performance erreicht werden kann. Diesen Umstand nutzen alle anderen Techniken besser aus (z.B. Token Ring mit 4,5 bis 18 kbyte), aber eben nicht Ethernet. Bild 2 zeigt beispielhaft eine direkte Messung zwischen zwei Windows-Rechnersysteme-

men, die mit einer Gigabit-Ethernet-Karte direkt im Vollduplexmodus miteinander betrieben werden. Dabei wird die Betriebssystem-Puffergröße, die zur Zwischenspeicherung von Ethernet-Paketen genutzt wird, von 16 auf 64 kbyte angehoben. Verwendet wur-

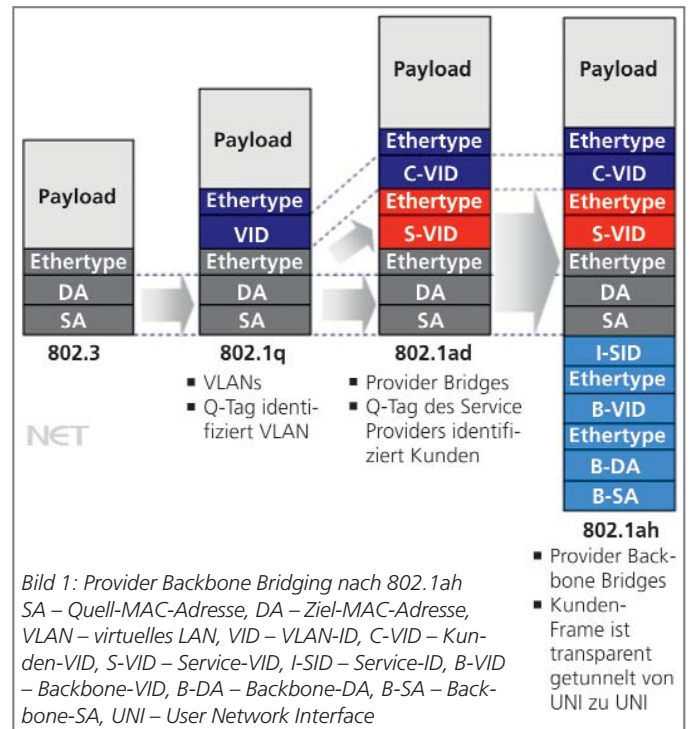


Bild 1: Provider Backbone Bridging nach 802.1ah
 SA – Quell-MAC-Adresse, DA – Ziel-MAC-Adresse,
 VLAN – virtuelles LAN, VID – VLAN-ID, C-VID – Kunden-VID, S-VID – Service-VID, I-SID – Service-ID, B-VID – Backbone-VID, B-DA – Backbone-DA, B-SA – Backbone-SA, UNI – User Network Interface

den dabei verschiedene TCP/IP-Pakete (von 64 byte bis 65 kbyte), die über die Ethernet-Layer-2-Schicht übertragen wurden. Es ist deutlich zu erkennen, dass kleine Pakete das Netz wesentlich mehr belasten und nur eine geringfügige Datenrate (schlechtes Overhead-Nutzverhältnis) erreichen. Besser ist die Datenrate bei 65-kbyte-Paketen bei maximaler Puffergröße. Aber auch hier wird nur eine Nettodatenrate von 600 Mbit/s erreicht, die weit von der maximal möglichen Datenrate entfernt ist.

Jumbo-Frames stellen eine Verbesserungsmöglichkeit dar, können aber eigentlich nur in Serverumgebungen eingesetzt werden, da kaum alle Netzkomponenten im LAN Jumbo-Frametauglich sind. Zusätzlich können manchmal auch Kompatibilitätsprobleme bei den unterschiedlichen Herstellerimplementierungen zu Störungen führen, da es bisher keinen einheitlichen Standard gibt. Jumbo-Frames werden daher eher in Storage-Szenarien eingesetzt, um den Zugriff

auf den zentralen Datenspeicher zu verbessern.

Im Speicherumfeld will sich Ethernet seit einiger Zeit gegen Fiber-Channel-Lösungen etablieren. Hier treten Network-Attached-Storage- (NAS) gegen Storage-Area-Network-Konzepte an. NAS-Systeme sind im engeren Sinne Serverdienste, die den über einen Netzdienst angeschlossenen Clients ein-

sentlich effizienter. 2010 wurde der FC-Standard auf 16 Gbit/s erweitert. Weitere Datenraten sind in Planung. Im Standard „Converged 10 GbE“ verschmelzen inzwischen 10-Gbit-Ethernet und -Fiber-Channel miteinander. Hierin enthalten ist auch die Spezifikation „Fiber Channel over Ethernet“ (FCoE). Dabei werden FC-Pakete in Ethernet-Paketen gekapselt und da-

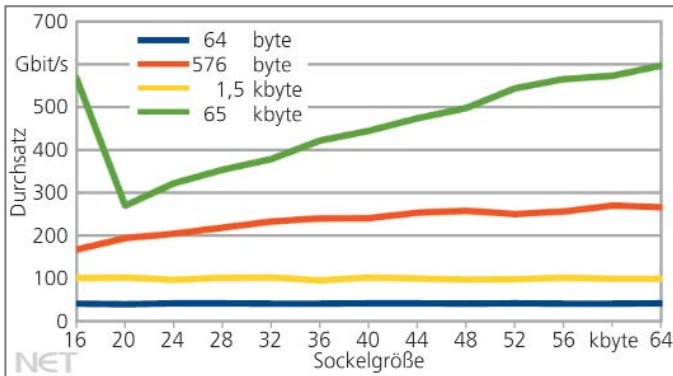


Bild 2: TCP-Messungen zwischen zwei Windows-Rechnersystemen

satzbereite Dateisysteme zur Verfügung stellen. Dies grenzt sie etwas von Direct-Attached-Storage- oder SAN-Systemen ab, da sie normalerweise mehr können, als nur einen zentralen Speicher im Netz bereitzustellen. Dateibasierte Dienste wie NFS oder SMB/CIFS stellen hierbei die Kernfunktionen dar. Die Anbindung findet über Ethernet statt, wobei neben Jumbo-Frames auch Port-Trunking zum Einsatz kommt, um die Link-Performance zu erhöhen. Durch die

Erhöhung auf andere Datenraten (aktuell 100 Gbit/s) zu kompensieren.

Fehlende Qualitätsgarantien

Um Ethernet als Konkurrenz zu ATM auch für Echtzeitsysteme (Telefonie, Video) zu etablieren, wurden mit dem Standard 802.1q VLAN-Tags eingeführt, die neben der VLAN-ID auch 3 bit für die Priorisierung von Datenströmen bieten (Tabelle). So ist eine Unterscheidung von acht Prioritäten

Priorität	Service	Beschreibung
0	Default	Pakete werden als Best Effort behandelt
1	Background	weniger als die Dienstgüte „Best Effort“ (Hintergrund)
2	Excellent Effort	besser als die Dienstgüte „Best Effort“
3	Critical Applications	Unterstützung von kritischen Anwendungen
4	Delay Sensitive	Videodaten mit < 100 ms Verzögerung
5	Delay Sensitive	Sprachdaten mit < 10 ms Verzögerung
6	Internetwork Control	Kommunikation mit anderen Netzen
7	Network Control	höchste Priorität beim Netzmanagement

Verkehrsarten-Unterscheidung nach IEEE802.1Q-2005

Nutzung des Ethernet-Protokolls mit seinem Overhead ist eine NAS- einer SAN-Lösung aber trotzdem unterlegen, da Letztere blockbasiert auf die Speicherbereiche zugreift. Fiber Channel (FC) besitzt eine Paketgröße von 2.148 byte bei einem Overhead von nur 36 byte. Das ist zwar nicht optimal, verglichen mit Ethernet aber we-

möglich, wobei 1 die geringste Priorität besitzt und 7 die höchste. Nun können über den Ansatz „Class of Service“ (CoS) z.B. Telefonie- von Videodaten unterschieden werden. Leider wird aber weder festgelegt, wie die einzelnen Rahmen im Einzelfall behandelt werden sollen, noch wird überprüft, ob die Latenzwerte auch wirklich erreicht bzw. gehalten werden können. Und dies, obwohl niedrige Latenz, geringer Jitter und hohe Datensicherheit ein Garant für die volle Unterstützung von Echtzeitsystemen darstellen.

Hinzu kommt, dass bei gleicher Priorisierung aller Datenströme letztendlich wieder nur „Best Effort“ erreicht werden kann. Ethernet versucht hier traditionell das Problem mit Überkapazitäten zu lösen, indem eine wesentlich höhere Netz-Performance als eigentlich nötig zur Verfügung gestellt wird. Eine Qualitätsgarantie gibt es dadurch aber nicht, sondern nur eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Pakete rechtzeitig und ohne Verluste beim Empfänger ankommen werden.

Fazit

Der heutige Ethernet-Standard hat nicht mehr viel mit dem alten gemein, sieht man mal von der einheitlichen Paketgröße ab und das nach wie vor CSMA/CD unterstützt werden muss. Um die Entwicklung im Gigabit-Ethernet-Umfeld rascher umzusetzen, bediente man sich der Fiber-Channel-Technik, blieb aber bez. der Performance weit hinter Fiber Channel zurück, da sich der Overhead wesentlich erhöhte. Dies soll wiederum durch höhere Datenraten kompensiert werden. Die Skalierbarkeit von Ethernet mit der „Brechstange“ betrieben. Kaum ist eine neue Datenrate verfügbar und am Server- oder Clientsystem einsetzbar, muss auch das Backbone wieder entsprechend mitwachsen. Trotzdem wird Ethernet sich auch im WAN-, Storage- und Feldbus-Umfeld behaupten. Allerdings lassen sich durch die Abwärtskompatibilität die vorhandenen Nachteile nicht richtig kompensieren. Hier wurden Definitionsfehler begangen, die sich aus Kompatibilitätsgründen nicht einfach ändern lassen. Erweiterungen des Ethernet-Basispakets durch die VLAN-ID haben bereits in der Vergangenheit zu Netzproblemen geführt. Ebenso ist die Priorisierung heute noch kaum im Einsatz. Man versucht nach wie vor, Echtzeitsysteme nur über ausreichende Ressourcen zu unterstützen. Selbst die Provider bieten lediglich im Geschäftsumfeld bis zu drei Prioritätsstufen an, die in geschlossenen Corporate Networks zum Einsatz kommen. Hier fehlt es nach wie vor an praktikablen Herstellerlösungen, die sich übergreifend einsetzen lassen. (bk)