

# Brückenschlag

## Mit Ethernet über alle Netze

Wolfgang Schulte

**Ethernet findet Eingang zu den regionalen und Weitverkehrsnetzen bis zur „letzten Meile“, dem Anschluss beim Endkunden. Der durchgängige Einsatz der kostengünstigen Anschlüsse der privaten lokalen Netze (LAN) in die öffentlichen Metropolitan-Area-Netze (MAN) und den Wide-Area-Netzen (WAN) der Netzbetreiber wird erleichtert. Neue IEEE-Standards unterstützen diesen Brückenschlag.**

Mehr als 95 % des Datenverkehrs im Internet hat seinen Ursprung oder sein Ziel in LANs (Local Area Network). Die geringe Kosten einer Ethernet-Anbindung z.B. von PCs, Routern oder Switchen, die etablierten IEEE-802-Protokolle im LAN und die Flexibilität (bald bis 100 Gbit/s) der Bandbreitennutzung ermöglichen, ja erfordern diese Technik. Neue IEEE-Standards erweitern den etablierten Standard CSMA/CD 802.1 Bridging. Nach der Einführung von IEEE 802.1q in der Erweiterung von 2005 für VLANs wurden jetzt neue Standards wie

- IEEE 802.1ad Provider Bridge (PB) und
- IEEE 802.1ah Provider Backbone Bridge (PBB)

entwickelt. Die Deutsche Telekom arbeitete zusammen mit Nokia Siemens Networks (NSN) an der Erprobung der neuen Technik. Beide Unternehmen sehen aber mit MPLS (Multiprotocol Label Switching) größere Vorteile hinsichtlich Skalierbarkeit und Effizienz. Die bisher verwendete ATM-Technik wird deshalb durch Ethernet-Technik mit MPLS-Transportmechanismen mittelfristig substituiert. Dabei sollen Vorzüge von PBB und MPLS kombiniert werden.

### Auf dem Prüfstand

Alle namhaften Hersteller von Netzkomponenten wie Router oder Switches haben bereits entsprechende Produkte für die Carrier-Ethernet-Netze in ihrem Produktportfolio für Netzbetreiber. Für Letztere heißt die Frage nicht mehr Ethernet-Carrier-Netze im WAN oder MAN, sondern nur wie das Ethernet am besten einzusetzen ist.

Die in die Jahre gekommenen Protokolle der Weitverkehrsnetze zur Kopplung von LANs über größere Entfernungen wie X.25 und Frame Relay, PDH/SDH und ATM sind auf dem Prüfstand. Diese Standards sind oft we-

sentlich komplizierter als Ethernet und bieten z.T. erheblich weniger Bandbreite, sind zudem auch nicht so skalierbar. Sie können sukzessive durch die Neu- und Weiterentwicklungen der unten angeführten Standards bzw. durch die von der IETF eingeleiteten Arbeiten an MPLS-Transport Profile (MPLS-TP) ersetzt werden. Die IETF hat bereits 2006 im RFC 4448 eine Methode zur Einbettung von Ethernet über MPLS spezifiziert.

Die Marktforschungsgesellschaften Infonetics und IDC prognostizieren ein erhebliches Wachstum in den kommenden Jahren bis 2011 im Marktsegment der Carrier-Ethernet-Netze. NSN sieht bis 2012 mehr als 500 Mio. Breitbandnutzer weltweit hauptsächlich im Markt von Video und TV (IPTV). Diese Breitbandnutzer werden über DSL, Breitbandkabel oder Ethernet-Verbindungen an die Netze angeschlossen werden.

Für die Weitverkehrsnetze ist eine Verschiebung der Infrastruktur von TDM-Techniken (Time Division Multiplexing) wie SDH/ATM zur Paketübertragungstechnik mittels IP deutlich zu erkennen. Für die Carrier-Ethernet-Technik werden sechs Schlüsselattribute definiert:

- Ende-zu-Ende-Ethernet: Vom LAN über MAN und WAN soll eine naht-

### Das Thema in Kürze

Die kostengünstige Ethernet-Technik der LANs wird durch zusätzliche Protokolle für den Einsatz in MANs und WANs fitgemacht. Den Protokollen der IETF wie beispielsweise MPLS erwächst hiermit ein starker Mitbewerber im Transport der Daten in den Weitverkehrsnetzen. Eine durchgängige Konzeption von Hard- und Software wäre aus diesem Grund in allen Netzebenen anzustreben.

Wolfgang Schulte ist

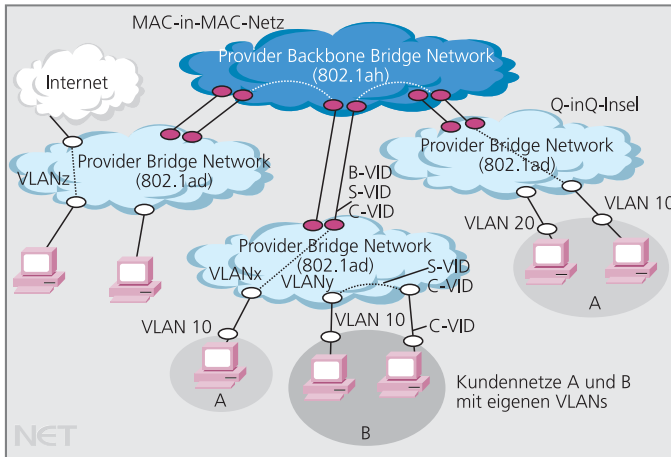


Bild 1: Struktur der Netze mit den neuen IEEE-Standards

lose, gleichartige Infrastruktur vorhanden sein. Einheitliche, internationale Protokolle erleichtern den Übergang.

- **Belastbarkeit/Sicherheit:** Aufgrund geringer Fehlerraten in verbindungslosen Netzen und einer skalierbarer Bandbreite erfüllen Ethernet-basierte Netze diese Anforderungen sehr gut. Die Netzverfügbarkeit liegt in der Regel bei über 99,99 %.
- **Einfaches Servicemanagement:** Erprobte LAN-Werkzeuge helfen beim Konfigurieren der Netze, beim Netz-Monitoring sowie bei der effizienten Fehlererkennung und -behebung.
- **Optimierte Entwicklung:** Schutz bereits getätigter Investitionen durch die Entscheidung für die richtigen Standards.
- **Erweiterbarkeit/Skalierbarkeit:** Keine Vorabfestlegungen in den Netzen, die durch betriebsbedingte Änderungen nicht korrigiert werden können, z.B. personelle, räumliche oder strukturelle Veränderungen.
- **flexible Lösungen:** Die angestrebten Lösungen im Festnetz sollten einer Integration weiterer Techniken nicht im Wege stehen.

## Protokolle

Der Standard IEEE 802.1ad Provider Bridge (PB) von 2005 ist eine erste Erweiterung des VLAN-Standards (Virtual LAN) IEEE 802.1q (Amendment 4) und ermöglicht Service Providern, kundeneigene VLANs für mehrere Kunden gleichzeitig bereitzustellen. Ein neuer Tag, hier jetzt Service VLAN Tag (S-Tag) genannt, wurde eingeführt. Er

identifiziert den Dienst und die VLANs im Provider Bridge Network (Bild 1).

Bis auf das CFI-Bit (Canonical Format Indicator) des Tags für VLANs, es wird ersetzt durch ein DLI-Bit (Drop Eligible Indicator), ist der S-Tag identisch mit dem im bestehenden 802.1q-Standard. Dieser

802.1q-Tag wird jetzt zum Customer-VLAN-Tag (C-Tag) und dient unverändert der Kennzeichnung der VLANs für den Endkunden. Der Sender fügt diesen Tag hinzu, der Empfänger entfernt ihn wieder. Diese Kennzeichnung wird vom Netzbetreiber transparent durch sein Netz geleitet (getunelt).

Mit dem Übergang der Daten vom Kundennetz in das Provider Bridge Network (PBN) wird der S-Tag vom Provider hinzugefügt. Der C-Tag bleibt unverändert erhalten. Beim Verlassen des PBN wird diese spezielle Kennzeichnung des Netzbetreibers wieder entfernt.

Der Service VLAN Tag (S-TAG) dient zur Kennzeichnung der Dienste und der VLANs im Netz des Netzbetreibers. Diese Methode wird auch als Q-in-Q-Einbettung (Encapsulation) oder Doubled Stacked VLAN bezeichnet.

Damit die Switches beim Provider nicht die gleichen MAC-Adressen der angeschlossenen Kundenstationen benutzen wie die Switches beim Kunden, wurden für den Provider neue MAC-Adressen definiert (Tabelle 1).

Das Spanning-Tree-Protokoll (STP) des Kunden und die Definition seiner eigenen VLANs dürfen durch den Anschluss des LAN beim Provider ebenfalls nicht beeinflusst werden. Das STP und die VLANs beim Provider sind jetzt völlig getrennt von der Kundeninfrastruktur. Der erweiterte VLAN-Bereich er-

laubt dem Service Provider, dem Kunden, verschiedene Dienste über gesicherte VLANs anzubieten, wie z.B. den Zugang zum Internet.

Beim Netzbetreiber ist jetzt natürlich zu prüfen, ob die neuen MAC-Adressen von den bereits installierten Switches unterstützt werden. Für den neuen S-Tag wurde von der IEEE ein neuer Ethernet-Protocol-Typ mit der Kennzeichnung x'88a8' reserviert (Tabelle 2). Der C-Tag nutzt unverändert den Ethertyp x'8100' und sorgt so für Kompatibilität zum bestehenden 802.1q-Standard.

Der neue Standard 802.1ah Providers Backbone Bridges (PBB) von 2008 ist die Spezifikation, um mehrere Provider Bridge Networks unter Beibehaltung der externen Kunden-VLANs miteinander zu verbinden. Zu diesem

C-VLAN Component Reserved Addresses	
Bridge Group Address	01-80-C2-00-00-00
Provider Bridge Group Address	01-80-C2-00-00-08
S-VLAN Component Reserved Addresses	
Provider Bridge Group Address	01-80-C2-00-00-08

Tabelle 1: Reservierte MAC-Adressen

(Quelle: [http://standards.ieee.org/regauth/group\\_mac/Standard\\_Group\\_MAC\\_Address\\_assignments.pdf](http://standards.ieee.org/regauth/group_mac/Standard_Group_MAC_Address_assignments.pdf))

Zweck musste der bestehende CS-MA/CD-Header erweitert werden. Das neue Verfahren wird mit MAC-in-MAC bezeichnet, d.h., die MAC-Adressen von den Geräteeinheiten beim Kunden sind getrennt von denen der Router oder Switches beim Netzbetreiber.

Mit dem neuen 802.1ah-Header (Bild 2) wird u.a. eine 2 byte große Extended Service ID (I-SID) eingeführt. Mit dieser Kennung wird der entsprechende Dienst im Provider Backbone Bridge Network (PBBN) angesprochen. Mit den zusätzlichen 216 möglichen Diensten wird die Limitierung durch die 12 bit im C- und S-Tag für die dort möglichen 4.096 VLANs erweitert. Mit diesem Standard wird auch eine

Tag-Typ	Name	Wert
Customer VLAN Tag	IEEE 802.1Q Tag Protocol Type (802.1Q S-Tag Type)	81-00
Service VLAN Tag	IEEE 802.1Q Service Tag Type (802.1Q S-Tag Type)	88-a8
Extended Service Tag	z.B. Nortel Provider Backbone Transport Protocols	88-e7

Tabelle 2: Ethernet-Typen

(Quelle: <http://standards.ieee.org/regauth/ethertypes/eth.txt>)

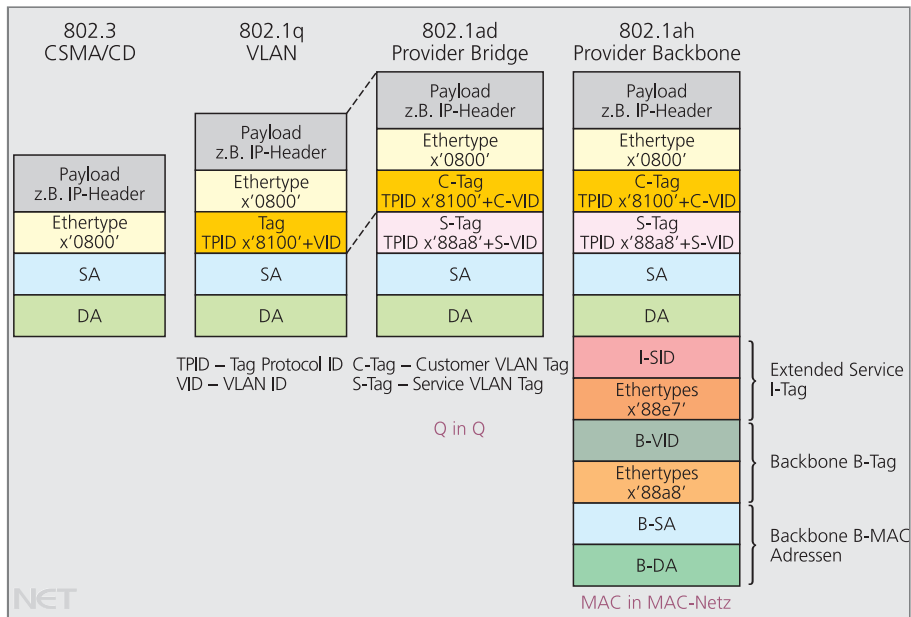


Bild 2: Die Protokollstapel von IEEE

klare Trennung von Provider- und Kundennetz möglich.

Der Extended Service Ethertype wird als Beispiel in Bild 1 auf den Wert x'88e7' gesetzt. Die Struktur der Netze, die Nutzung der entsprechenden Standards sowie die Wirkung der verschiedenen VLAN IDs ist in Bild 1 dargestellt. Außerdem ist zu erkennen, dass die Kunden A und B je ein VLAN ID 10 konfiguriert haben, ohne dass es einen Konflikt mit dieser gleichen VLAN ID beim Provider gibt.

Die Schnittstellen in den Netzen, wo C- und S-VID wirken, sind in Bild 1 entsprechend eingetragen. In Bild 2 ist die Entwicklung der IEEE-Protokollstapel vom ursprünglichen CSMA/CD über das VLAN bis zum PBBN dargestellt. Jede Standarderweiterung brachte zusätzliche Header-Informationen, also auch mehr Overhead in die Übertragung von Daten.

#### Service Tag (VPN Identifier – I-SID)

Mit diesen neuen Kennungen werden die Identifizierungen der Endpunkte ermöglicht. Sie erlauben eine Erweiterung der bisherigen Limitierung von 4.096 auf mehr als 16 Mio. VPNs.

#### Provider VLAN ID (B-VID)

Hier werden die VLANs für eine Gruppe von Kunden, für den Zugriff auf vorbestimmte Verbindungen erstellt sowie ein effizientes Network Traffic Engineering ermöglicht.

*Service Provider Addressing (B-SA, B-DA)*  
Durch die Backbone-MAC-Adressierung wird die sicherheitsrelevante Trennung von Kunden- auf die Netzbetreiber-MAC-Adressen ermöglicht. Gleichzeitig werden die Tabellen der Adressen verkleinert und die Problemerkennung und -behebung einfacher.

### Man trifft sich

Zur Unterstützung der Einführung, der Standardentwicklung sowie der Vermarktung der Carrier Ethernets wurde bereits 2001 das Metro Ethernet Forum (MEF, [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)) gegründet. Diese Allianz von Industrieunternehmen umfasst derzeit mehr als 150 Mitglieder. Ihre Ziele sind die Bereitstellung weiterer technischer Spezifikationen wie z.B. MEF4 Generic Architecture und die Sicherung der Interoperabilität weltweit. Mehr als 50 Service Provider und über 100 Gerätehersteller unterstützen zzt. die Carrier-Ethernet-Entwicklung.

### Zusammenfassung

Zusätzliche Standards wie die Empfehlung ITU Y.1731 OAM Functions and Mechanism for Ethernet Based Networks und IEEE 802.3ah EFM OAM bzw. 802.1ag Connectivity Fault Management (CFM) unterstützen u.a. die Operations, Administration und

Maintenance (OAM) für diese neuen Netzanbindungen. Mit dem Standard 802.1qay Provider Backbone Traffic Engineering (PBB-TE) werden u.a. die Vorkehrungen für die Auswahl von verkehrsgesteuerten Pfaden innerhalb der Provider-Backbone-Bridge-Netze unterstützt.

Mit den Arbeiten der IETF ([www.ietf.org](http://www.ietf.org)) zu den Erweiterungen der verbindungsorientierten MPLS-Protokolle, z.B. MPLS-TP oder MPLS-OAM, wird eine starke Konkurrenz im Wettstreit der Standards für die Weitverkehrsnetze erzeugen. Während Alcatel-Lucent die Entwicklung in Richtung ITU-T G8110.1/Y1370.1 Architecture of Transport MPLS (T-MPLS) Layer Network unterstützt, ist Nortel mehr der Protagonist im Carrier-Ethernet-Bereich.

Die Arbeit bei der SG 15 der ITU-T an der Empfehlung T-MPLS wurde in diesem Jahr eingestellt, um mit der IETF gemeinsam an MPLS-TP zu arbeiten. Cisco ist recht aktiv in dieser Arbeitsgruppe. NSN sieht ebenfalls eine deutliche Verschiebung des Marktes von PBB-TE hin zu MPLS-TP.

Mit der baldigen Einführung dieser Standards bei den Netzbetreibern wird sich zeigen, ob alle Erwartungen erfüllt werden können. Dr. Robert Metcalf, einer der Hauptentwickler des Ethernet, sieht eine sehr gute Zukunft der Ethernet-Technik in folgenden fünf Ausrichtungen:

- Up: Die Entwicklung der Bandbreite für Ethernet wird sich von anfänglich unter 3 Mbit/s auf 40 Gbit/s bis zu 100 Gbit/s entwickeln.
- Through: Die Technik von Wählnetzen und TDM-Verfahren wie z.B. bei Sonet wird durch Ethernet abgelöst.
- Over: Die ideengebende Technik des Aloah-Netzes für das Ethernet findet seine Fortsetzung in den WLAN- und Wimax-Techniken.
- Down: Ethernet-Technik breitet sich zzt. auch in sog. subpersonal Anwendungen wie in Embedded Controllern aus.
- Across: Mit der neuen Technik für die Carrier-Ethernet-Netze (auch Metro-Ethernet-Netze genannt) wird der Brückenschlag vom LAN zum MAN bzw. WAN erfolgen. (bk)