

Quality of Service

Motivation, Standards, Architektur

von

Dr. Frank Imhoff

mit Beiträgen von:

Dr. Simon Hoff
Hartmut Kell
Dr. Behrooz Moayeri
Dr. Joachim Wetzlar

3 Quality of Service in Local Area Networks

Local Area Networks (LAN) haben bis heute eine weltweite Verbreitung gefunden, die im Bereich der Kommunikationsnetze sicherlich nur noch von Telefonnetzen übertroffen wird. Aus Bürogebäuden, Verwaltungen und Produktionsstätten sind derartige Netze nicht mehr wegzudenken. Selbst in Hotels, Wohnungen und privaten Häusern trifft man häufig auf lokale Netze oder Komponenten davon. Die inzwischen mit großem Abstand erfolgreichste Technologie für lokale Netze ist Ethernet nach IEEE 802.3.

3.1 Relevante Standards für QoS auf Ethernet-Ebene

Die für Ethernet relevanten Standards von IEEE 802.3 sehen selbst keine QoS-Mechanismen und dafür, anders als z.B. RRP (IEEE 802.17), auch keine reservierten Felder vor. Daher muss ein Layer-2-Frame (Rahmen) gemäß IEEE 802.3 um eine zusätzliche Komponente erweitert werden. Dieses zusätzliche Feld ist u. a. Gegenstand der Standards IEEE 802.1Q und IEEE 802.1D (mit dem Bestandteil, der ursprünglich als IEEE 802.1p definiert wurde). IEEE 802.1D beschreibt die Funktion von Media Access Control Bridges (MAC Bridges). In diesem Standard ist insbesondere das Feld *User Priority* (UP) von Bedeutung. Zur Markierung von Ethernet-Frames mit dem entsprechenden Wert der User Priority gemäß IEEE 802.1D ist ein Header gemäß IEEE 802.1Q erforderlich.

3.1.1 IEEE 802.1Q

Gemäß IEEE 802.1Q kann ein Rahmen einen „Tag“ führen, der zwei Bedeutungen haben kann (siehe Abbildung 3.1):

- VLAN-tagged Frame: aus dem Tag gehen sowohl die VLAN-Zuordnung als auch die Priorität hervor.
- Priority-tagged Frame: aus dem Tag geht nur die Priorität hervor.

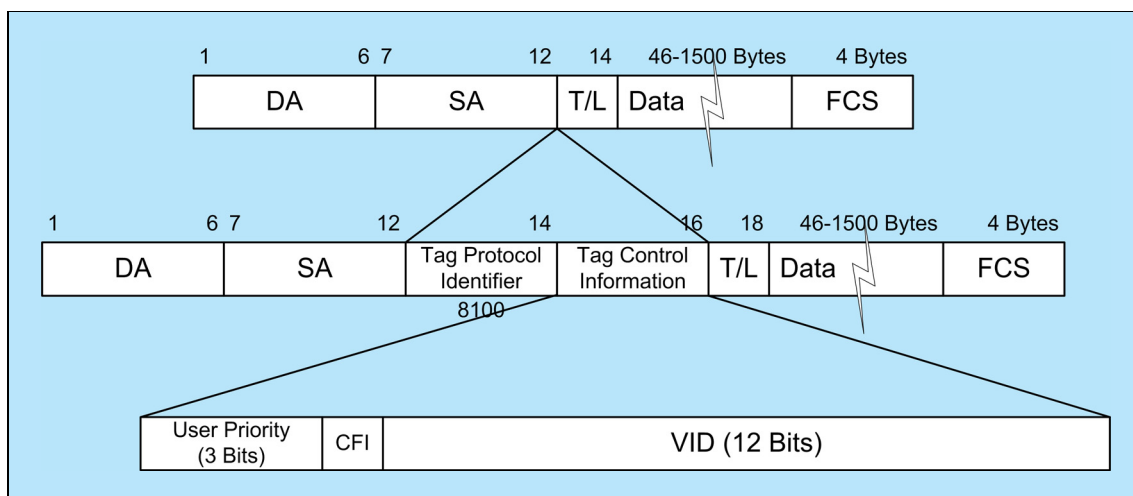


Abbildung 3.1: Rahmenaufbau gemäß IEEE 802.1Q

Wie aus der Abbildung 3.1 hervorgeht, wird der Tag mitten in einen Rahmen gemäß IEEE 802.3 eingebaut, und zwar zwischen der Source Address (SA) und dem Feld, in dem entweder die Länge des Payloads (maximal 1.500 Bytes) oder der Protokolltyp angegeben wird (T/L). Der Tag ist immer vier Bytes lang. Die ersten beiden Bytes sind bei allen bisherigen Implementierungen identisch (8100) und kennzeichnen das verwendete Tag-Protokoll. Die beiden letzten Bytes im Tag umfassen:

- UP, User Priority: Mittels der drei Bits können bis zu acht Prioritätsstufen unterschieden werden.
- CFI, Canonical Frame Identifier: Mit diesem Bit wird bestimmt, wie die MAC-Adressen kodiert werden (Most Significant Bit MSB oder Least Significant Bit LSB first)
- VID, Virtual LAN ID: Dieses Feld wird für die Nummerierung von bis zu 4096 VLAN verwendet.

3.1.2 IEEE 802.1D

Das Konzept der User Priority wird im Bridging-Standard IEEE 802.1D unterstützt. Ein Layer-2-Switch (Brücke) kann aufgrund der über das Netz signalisierten Informationen oder der eigenen Konfigurationsvorgaben UP-Werte neu vergeben. Dabei ist ein UP-Wert von 0 der Standardwert, der bei Fehlen jeglicher Richtlinie verwendet wird, und ein UP-Wert von 7 gleichbedeutend mit der höchsten Priorität.

Die Unterscheidung mehrerer Verkehrsklassen ist unter Verwendung des UP-Felds möglich. Sieben Verkehrsklassen nennt der IEEE-Standard selbst. Tabelle 3.1 zeigt die vom IEEE empfohlene Zuordnung der Verkehrsklassen zu den UP-Werten.

Auf dem Markt verfügbare Netzkomponenten unterscheiden sich u. a. in der Anzahl der verschiedenen Warteschlangen, die in den Komponenten implementiert sind. Je nach verfügbarer Anzahl solcher Warteschlangen für die Weiterleitung von Paketen empfiehlt das IEEE eine entsprechende Aufteilung der Verkehrsklassen auf die Warteschlangen (siehe Tabelle 3.2).

Wenn eine Netzkomponente nur eine Warteschlange bietet, kann keine Differenzierung des weiterzuleitenden Verkehrs erfolgen, sodass sämtlicher Verkehr nach dem Best-Effort-Prinzip behandelt werden muss.

Bei Verfügbarkeit von zwei Warteschlangen in der Netzkomponente (eine sehr häufige Konstellation bei Layer-2-Switches) wird vom IEEE empfohlen, lediglich zwischen den Verkehrsklassen Best Effort und Voice zu unterscheiden.

Da in den meisten Unternehmen der Access-Bereich aus Layer-2-Switches besteht, muss dort die Priorisierung anhand der Layer-2-Information erfolgen.

Verkehrsklasse	User Priority	Verwendung
BK, Background	1	Hintergrundtasks wie Datensicherung, die andere Anwendungen nicht stören dürfen
BE, Best Effort	0	normaler Netzverkehr
EE, Excellent Effort	3	Best Effort, aber für privilegierte Benutzer
CL, Controlled Load	4	Verkehr mit Admission Control oder anderweitig kontrolliertem Lastverhalten
VI, Video	5	Netzverkehr, der eine maximale Signallaufzeit von 100 ms im Layer-2-Netz toleriert
VO, Voice	6	Netzverkehr, der eine maximale Signallaufzeit von 10 ms im Layer-2-Netz toleriert
NC, Network Control	7	Netzverkehr, der für die Aufrechterhaltung der Funktion des Netzes unerlässlich ist, wie beispielsweise Bridge Protocol Data Units (BPDU) im Rahmen des Spanning-Tree-Algorithmus, der für die Abbildung der erforderlichen Baumstruktur auf der Ebene der Schicht 2 auf eine vermaschte physikalische Struktur sorgt.

Tabelle 3.1: Vom IEEE empfohlene Verkehrsklassen sowie die Zuordnung zu User-Priority-Werten

Zahl der Warteschlangen	Verkehrsklassen							
1	BE							
2	BE				VO			
3	BE				CL	VO		
4	BK	BE		CL		VO		
5	BK	BE		CL	VI	VO		
6	BK	BE	EE	CL	VI	VO		
7	BK	BE	EE	CL	VI	VO	NC	
8	BK	-	BE	EE	CL	VI	VO	NC

Tabelle 3.2: Vom IEEE empfohlene Aufteilung der Verkehrsklassen

3.2 Beispiel für eine Anwendung

Die höchsten QoS-Anforderungen in lokalen Netzen werden heutzutage durch Voice-over-IP-Technologien (VoIP) mit ihren sehr hohen Ansprüchen an geringe Verzögerungen und Varianzen bei der Zwischenankunftszeit von Paketen gestellt. Insbesondere die Paketlaufzeit stellt hohe Ansprüche an die subjektiv empfundene Qualität der Sprachübertragung. International wird hier von einem Grenzwert von 150 ms ausgegangen. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass diese Latenz nicht nur durch den Transport innerhalb des Netzes entsteht, sondern auch Rechenzeit für die Kodierung und Dekodierung an den jeweiligen Endstellen erforderlich ist.

Bei der Festlegung von Obergrenzen für Paketlaufzeiten für die Sprachkommunikation werden die folgenden Annahmen getroffen (siehe Abbildung 3.2):

- Die Verzögerung durch Kodierung und Dekodierung beträgt jeweils 10 ms.
- Weist ein Netz eine sich auf den Voice-Decoder negativ auswirkende Varianz der Paketlaufzeiten aus, muss auf der Empfängerseite eine Zwischenspeicherung der Pakete erfolgen, damit der zeitliche Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Paketen den Anforderungen des Empfängers entspricht. Die empfangsseitige Zwischenspeicherung geht auf Kosten des Gesamtbudgets für die Paketlaufzeit und ist daher zusätzlich von den tolerierbaren 150 ms abzuziehen. Für den Ausgleich der Laufzeitschwankungen wird daher ein Puffer von 20 ms auf der Empfängerseite vorgesehen.

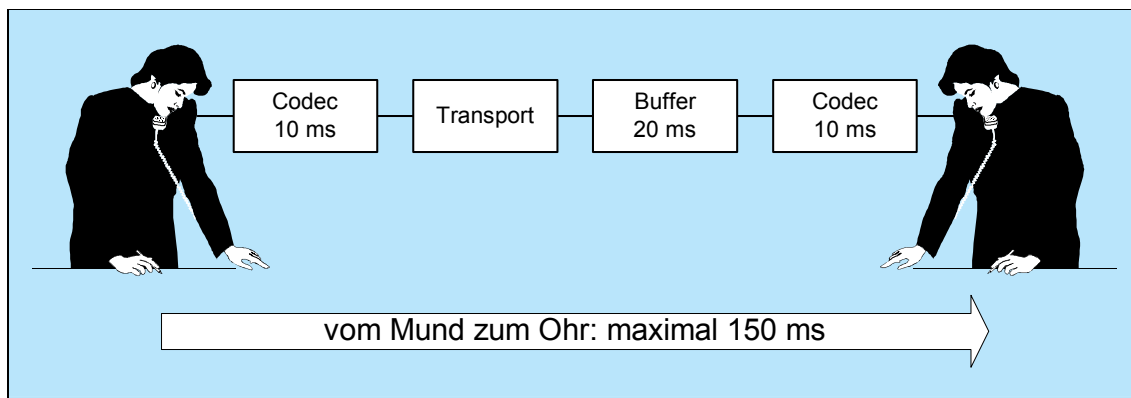


Abbildung 3.2: Delay-Annahmen

Der Transportweg darf somit im Worst Case maximale Delaywerte von 110 ms aufweisen, um die Delayanforderungen der Sprachkommunikation zu erfüllen. Um diesen Wert zu erreichen, ist es unter Umständen erforderlich, VoIP-Pakete mithilfe von QoS beim Transport durch das Netz zu priorisieren. Das in der Abbildung 3.3 dargestellte Schema zeigt ein Beispiel für die Anwendung von QoS in einem Ethernet-Netz.

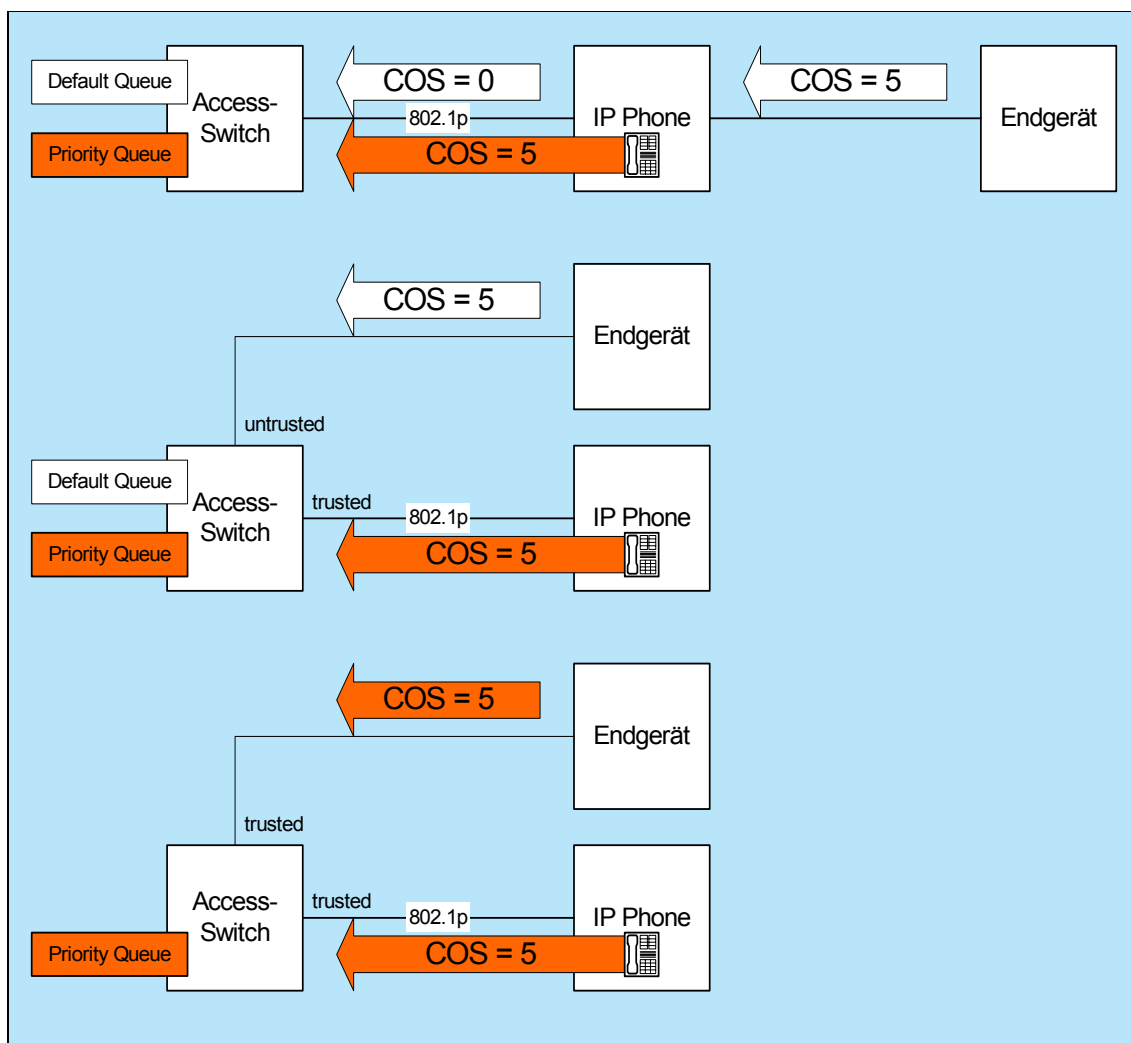


Abbildung 3.3: Priorisierung gemäß IEEE 802.1D/p

Im ersten dargestellten Modell ist ein anderes Endgerät (z. B. ein PC) über einen Mini-Switch in einem IP-Telefon an das Netz angeschlossen. In diesem Modell muss das IP-Telefon den VoIP-Verkehr gegenüber dem Datenverkehr intern priorisieren. Darüber hinaus können für die verschiedenen Klassen unterschiedliche CoS-Werte vom IP-Phone gesetzt werden (CoS steht für Class of Service; jeder CoS-Wert entspricht in diesem Beispiel einem UP-Wert gemäß IEEE 802.1D). Dabei wird das ggf. vorhandene CoS-Feld im Paket des angeschlossenen PCs überschrieben.

Im zweiten Modell, das den separaten Anschluss von IP-Telefonen und anderen Endgeräten vorsieht, sind zwei Fälle denkbar:

- Die Ports, welche dem Anschluss der IP-Telefone dienen, werden als Trusted Port definiert, d. h. der Access-Switch akzeptiert an diesen Ports das gesetzte CoS-Feld und handelt danach (Zuordnung der VoIP-Pakete zur Priority Queue). Die anderen Ports werden als untrusted konfiguriert,

d. h. sämtlicher eingelesener Verkehr an diesen Ports wird der Default Queue zugeordnet. Die Anwendung dieses Modells setzt entweder eine Umkonfiguration der Switches bei Umzügen oder eine einheitliche Zuordnung voraus (Beispiel: Ports 1 bis 12 sind immer trusted und dienen dem Anschluss der Telefone, während die Ports 13 bis 24 immer untrusted sind und dem Anschluss anderer Endgeräte dienen).

- Alle Ports werden als trusted konfiguriert. Dieses Modell bedeutet, dass die von den PC-Anwendungen gesetzten Werte im CoS-Feld vom Access-Switch unverändert akzeptiert werden und der Access-Switch danach handelt. Dies kann möglicherweise die Priorisierung des VoIP-Verkehrs gegenüber dem Datenverkehr aufheben, wenn bestimmte Anwendungen einen priorisierten CoS-Wert setzen.

Bei der Priorisierung des Verkehrs im Netz stellt sich daher die grundsätzliche Frage, ob den Endgeräten vertraut wird oder die entsprechenden Felder explizit von den Netzkomponenten gesetzt werden. Im ersten Fall ist die Priorisierung des Voice-Verkehrs nicht sichergestellt. Im zweiten Fall sind Umzüge, Neuanschlüsse und Änderungen mit Umkonfigurationen verbunden, oder es müssen feste Portbereiche für verschiedene Endgerätetypen reserviert werden. In dem zweiten Fall ist die Priorisierung des Soft-Phone-Verkehrs nicht möglich.