



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Anwendungen 2 Ausarbeitung

Jan Jasper Salathé

Konzepte zur Reduzierung der Übertragungslatenz im AVB v2  
Standard

**Jan Jasper Salathé**

**Thema dieser Ausarbeitung**

Konzepte zur Reduzierung der Übertragungslatenz im AVB v2 Standard

**Stichworte**

AVB, AVB v1, AVB v2, TSN, Real Time Ethernet, Automotive-Echtzeitsysteme

**Kurzzusammenfassung**

Diese Ausarbeitung beschäftigt sich mit der Verwendung der ersten Version von AVB für besonders Zeitkritische Anwendungen. Dabei wird herausgearbeitet, warum die erste Version von AVB nicht für Anwendungen, die weniger als 1 ms Latenz voraussetzen, geeignet ist. Anschließend werden unterschiedliche Konzepte diskutiert, die für die nächste Version von AVB für die Lösung dieses Problems in Frage kommen.

**Jan Jasper Salathé**

**Title of the paper**

Concepts to reduce latency in the AVB v2 Standard

**Keywords**

AVB, AVB v1, AVB v2, TSN, Real Time Ethernet, Automotive-Realtimesystems

**Abstract**

This paper analyses the reasons, why the first version of AVB can not be used for time critical applications which require latencies below 1 ms. The reasons for the limitation of the first AVB version are shown and concepts to eliminate those limitations in the next generation of AVB are discussed.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Der AVB v1 Standard</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Verwendung von AVB v1 im Automobil und Automatisierung</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Der kommende AVB v2 Standard</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>13</b>
	<b>Literatur</b>	<b>14</b>

# 1 Einleitung

Mit der ersten Version der Audio-/Video-Bridging-Protokollstandards (AVB) wurde von der IEEE ein Standard definiert, der ein Streaming von zeitkritischen Daten mit einer definierten Maximallaufzeiten garantiert. Während der Spezifizierung der AVB-Standards wurde als primäres Anwendungsgebiet die Übermittlung von Audio- und Videodaten gesehen. Dabei sollte AVB Teile der Verkabelung in Studios oder auf Bühnen ersetzen, woraus sich der Bedarf einer Garantien für die maximale Laufzeit der Signale ergibt. Um ein Abspielen der Daten mit minimalem Jitter umzusetzen, verfügt AVB weiterhin über eine Zeitsynchronisation, die das Abspielen zu den beim Sampling definierten Abspielzeitpunkten erlaubt.

Aktuell ist absehbar, dass Ethernet in Zukunft im Automobil eingesetzt wird. Dies wurde in der Ausarbeitung zu Anwendungen 1 erläutert. Weiterhin findet Ethernet bereits in der Automatisierungstechnik Verwendung. Eine Vereinfachung des Kabelbaumes sowie eine Steigerung der Bandbreite sind dabei treibende Argumente. In der Automatisierungstechnik dominieren jedoch aktuell proprietäre Erweiterungen zum Standard Ethernet, die nicht zueinander kompatibel sind. Daraus wird in der IEEE AVB-Task-Group ein Bedarf nach einem Standard, der die entsprechenden Anforderungen erfüllt, abgeleitet. Es wird allein durch den Einzug von Ethernet in das Automobil mit einem Wachstum der Verbreitung von Ethernet um 15% gerechnet [17].

Da die erste Version der AVB-Standards den Anforderungen der neuen Anwendungsbereiche nicht vollständig gerecht wird, standardisiert die AVB-Task-Group aktuell die zweite Version von AVB [15]. Damit wird sich der Anwendungsbereich von AVB nicht mehr auf das Streaming von Audio- und Videodaten beschränken und es soll in Zukunft die treffendere Bezeichnung Time Sensitive Networking (TSN) verwendet werden. Aus den neuen Anwendungsbereichen ergibt sich einerseits die Anforderung zur Reduktion der garantierten Laufzeiten. Um dies umzusetzen werden aktuell im Rahmen der AVB-Task-Group unterschiedliche Konzepte diskutiert. Andererseits beherrscht die erste Version von AVB nicht das Umschalten auf einen redundanten Netzwerkpfade ohne Paketverlust. Dies soll durch eine Anpassung des Stream Reservation Protocols (SRP) umgesetzt werden [16].

Diese Ausarbeitung setzt sich mit den Ursachen der Latenz in AVB v1 und Konzepten zur Reduzierung dieser in AVB v2 auseinander. Dementsprechend wird in Kapitel 2 eine Übersicht über AVB v1 gegeben. In Kapitel 3 wird die Latenz von AVB v1 analysiert, während in Kapitel 4 auf Konzepte zur Reduktion der Latenz eingegangen wird. Im letzten Kapitel wird eine Zusammenfassung dieser Ausarbeitung gegeben.

## 2 Der AVB v1 Standard

AVB besteht aus mehreren Standards, die das Reservieren von Netzwerkressourcen zur Lauzeit erlauben. Dabei wird für einen reservierten Pfad eine maximale Paketlaufzeit garantiert. Um eine maximale Paketlaufzeit garantieren zu können, müssen die Endknoten und Ethernet-Bridges um die in den AVB-Standards definierten Erweiterungen erweitert werden. Gleichzeitig können nicht um die AVB-Standards erweiterte Geräte in einem AVB-Netzwerk betrieben werden. Allerdings erlaubt eine nicht AVB-fähige Ethernet-Bridge nicht das Weiterleiten von AVB-Verkehr. Dasselbe gilt für Endknoten. Im Folgenden wird eine Übersicht über die AVB-Standards gegeben.

Der **IEEE 802.1BA – Audio Video Bridging Systems** Standard beschreibt die grundlegenden Konzepte sowie die Funktionsweise von AVB. Außerdem bringt er die unterschiedlichen Standards miteinander in Bezug. Es wird beschrieben, dass AVB das Reservieren von Datenströmen (Streams) mit einer definierten Bandbreite erlaubt. [9]

Durch den **IEEE 802.1Qat – Stream Reservation Protocol** wird ein Protokoll zum Reservieren eines Streams definiert. Es wird die Rolle des Talkers, dem Sender des Streams, sowie die des Listeners, dem Empfänger, beschrieben. Ein Talker sendet beim Verfügbar werden des Streams ein Talker Advertise, das in einem AVB-fähigen Netzwerk von den Bridges an alle AVB-fähigen Endknoten weitergeleitet wird. Um einen Stream zu empfangen, sendet ein Listener ein Listener Ready. Dies wird über die Bridges an den Talker weitergeleitet, wobei die benötigte Bandbreite reserviert wird. Kann auf dem Pfad nicht die angeforderte Bandbreite garantiert werden, so wird dieser Fehlerfall entsprechend propagiert. [11]

Der **IEEE 802.1Qav – Forwarding and Queue Enhancements for Time-Sensitive Streams** Standard definiert spezielle Forwardingregeln für AVB-Daten. Dabei sind für die beiden AVB-QoS-Klassen (Quality of Service) jeweils dedizierte Queues pro Ausgangsport vorgesehen. Diese haben gegebenenfalls eine höhere Priorität als die Queues für die Prioritäten des 802.1Q Standards. Weiterhin wird zum Auflösen von Bursts der Credit Based Traffic Shaper definiert. Dabei wird jede AVB-Queue ein Zähler geführt, der bei Aktivität der Klasse mit dem Send-Slope dekrementiert wird. Bei Blockierung der Klasse durch eine andere Klasse bei gleichzeitiger Sendebereitschaft wird der Zähler mit dem Idle-Slope inkrementiert. Die entsprechende QoS-Klasse darf nur senden, wenn der Zähler einen nicht negativen Wert aufweist. Weist der Zähler einen negativen Wert auf, so wird er immer mit dem Idle-Slope inkrementiert. Der Zähler wird bei einer leeren Queue und positivem Zähler zurückgesetzt. Durch diesen Algorithmus wird die Datenrate eines Streams auf die reservierte Bandbreite begrenzt. [12]

Mit dem **IEEE 802.1AS – Timing and Synchronisation** Standard wird zur Zeitsynchronisation zwischen den einzelnen Netzwerkknoten verwendet. Er basiert auf dem IEEE 1588 [7] Precision-Time-Protocol Standard und erlaubt es, den Abspielzeitpunkt der übermittelten Daten zu synchronisieren. [8]

## 3 Verwendung von AVB v1 im Automobil und Automatisierung

Wie anfangs erwähnt, wird Ethernet im Automobil und der Automatisierungstechnik Einzug halten. Dabei steht AVB v1 ein Standard zur Verfügung, der nicht an einen Hersteller gebunden ist und über sieben Ethernet-Bridges eine Maximallatenz von 2 ms garantiert [9]. Allerdings ergibt sich insbesondere für Anwendungen zur Steuerung von zeitkritischen physikalischen Prozessen eine garantierte Maximallatenz von etwa 1 ms [14]. Dabei ist bei zeitkritischen Anwendungen die Worst-Case Latenz der Pakete entscheidend, da gegebenenfalls ein nicht rechtzeitig eintreffendes Paket zu einer Fehlfunktion der Anwendung führt. Weiterhin wird in Industrieanlagen die Line-Topologie verwendet, da die Verkabelung dort in Kabelkanälen entlang der Anlagen geführt wird. Dabei kann es hunderte kaskadierte Knoten in einer Line-Topologie geben, was die Latenz bei AVB v1 sehr ungünstig ist [15]. In [18] wurde die Worst-Case Latenz von AVB formal analysiert. Zur Analyse wurde eine beispielhafte Anwendung im Automobilumfeld und ein entsprechendes Netz mit den darin vorhandenen Datenströmen definiert. Die formale Analyse sowie Anwendung wird im Folgenden beschrieben. Darauf folgen die Ergebnisse sowie eine Diskussion der formalen Analyse. Am Ende dieses Kapitels werden weiterhin die Ursachen der Latenz in AVB v1 diskutiert.

### 3.1 Analyisierte Anwendung und Analyseverfahren

Das Paper [18] geht bei der Anwendung davon aus, dass auf dem Bordnetz ein Signalmultiplexing stattfindet, also Signale mit unterschiedlichen zeitlichen Anforderungen übertragen werden. Es handelt sich bei der Anwendung um ein Fahrerassistenzsystem, das mit vier Kameras ausgestattet ist. Die einzelnen Komponenten, sowie die AVB Klasse-B und nicht-Echtzeit Datenströme sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Rohdaten der Kameras werden von der Top-View Recheneinheit in einen Datenstrom zusammengefasst und an die Head-Unit zur Anzeige weitergeleitet. Um eine Rückfahrkamerafunktion zu realisieren erhält die Head-Unit zusätzlich den Datenstrom der Rear-Camera.

Gleichzeitig wird von der Head-Unit ein nicht kritischer Datenstrom ohne Echtzeitanforderungen mit Multimediadaten an die Rear-Unit übermittelt. Dabei handelt es sich dementsprechend um Best Effort (BE) Datenverkehr. Zusätzlich broadcasten alle Komponenten einen AVB

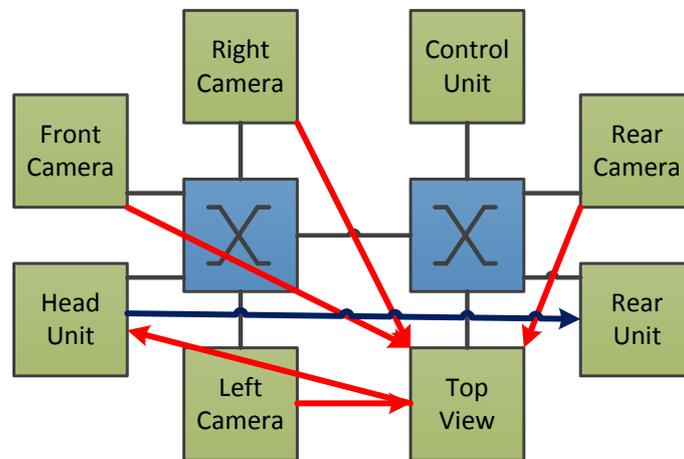


Abbildung 1: In [18] analysiertes Netzwerk mit AVB Klasse-B (rot) sowie nicht-Echtzeit (blau) Datenverkehr.

Signal	QoS-Klasse	Datenrate pro Talker
Kontrollsignal	AVB Klasse-A	0,512 MBit/s
Videosignal	AVB Klasse-B	16,97 MBit/s
Multimedia	Best Effort	15,70 MBit/s

Tabelle 1: Verwendete Bandbreiten der Datenströme in [18].

Klasse-A Datenstrom mit Kontrollsignalen, der zur besseren Übersichtlichkeit in 1 nicht abgebildet ist. Die verwendeten Bandbreiten der Datenströme sind in Tabelle 1 notiert, die Ports der Bridges haben eine Datenrate von 100 MBit/s.

Das definierte Netz mit den entsprechenden Datenströmen wurde mit dem Tool Network Calculus analysiert. Für die Analyse wurden die entsprechenden Gleichungen zur Ermittlung der Latenzen im Worst-Case für die einzelnen Komponenten eines AVB-Netzwerkes aufgestellt. Diese sind im Paper kurz beschrieben.

### 3.2 Ergebnisse der formalen Analyse

Die im Paper [18] präsentierten Ergebnisse sind überraschend, da sie eine Latenz ergeben, die bei lediglich zwei AVB-Bridges über der durch den AVB-Standard garantierten Latenz über sieben Bridges liegt. In Tabelle 2 sind die Latenzen für die einzelnen QoS-Klassen notiert. Für die AVB Klasse-A ist eine Worst-Case Latenz von mehr als 4 ms angegeben, was linear extrapoliert

QoS-Klasse	min. Latency	avg. Latency	max. Latency
AVB Klasse-A	0,14 ms	1,53 ms	4,25 ms
AVB Klasse-B	4,21 ms	5,06 ms	5,67 ms
Best Effort	7,66 ms	7,66 ms	7,66 ms

Tabelle 2: Ergebnisse der formalen Analyse aus [18].

bei sieben Bridges auf dem Pfad eine Latenz von 10,667 ms ergibt. Dies liegt signifikant über den durch den Standard vorgegebenen 2 ms.

Eine Ursache für die unerwartet hohe Worst-Case Latenz könnte dabei sein, dass davon ausgegangen wird, dass am Beginn von jedem Datenstrom ein Burst mit zu hoher Bandbreite steht. Dieser würde anfangs den Ausgangspuffer des Talkers füllen und zu einer erhöhten Latenz führen. Bei einer Überreservierung der Bandbreite würde sich der Puffer mit fortschreitender Zeit wieder leeren, woraus sich die wesentlich geringere durchschnittliche und minimale Latenzen ergeben. Allerdings ließe sich meiner Meinung nach die anfänglich höhere Latenz durch ein entsprechendes Konzept zum Einhalten der Bandbreite vermeiden.

Unabhängig davon ergab die Analyse in [4] Latenzen von wesentlich mehr als 1 ms für die AVB Klasse-A. Dabei wurde eine beispielhafte Anwendung im Bereich der Automatisierungstechnik definiert und einer formalen Analyse mit dem Tool SymTA/S sowie einer Simulation mit OMNEST durchgeführt. Die formale Analyse der Worst-Case Latenzen für die einzelnen QoS-Klassen für einen Pfad über acht Bridges ergibt etwa 1,5 ms. Dabei handelt es sich um Bridges mit 1 GBit/s Übertragungsrate pro Port. Die ermittelte Worst-Case Latenz liegt dementsprechend über der anfangs definierten Anforderung von 1 ms.

### 3.3 Ursachen der Latenz in AVB v1

Laut dem IEEE 802.1Q Standard [10, S. 1305 ff.] setzt sich die maximale Latenz einer Bridge aus mehreren Komponenten zusammen. Einerseits die Übertragungsdauer des Paketes über die Leitung zur nächsten Bridge oder dem Endknoten sowie einer gegebenenfalls intern anfallenden Verarbeitungszeit. Weiterhin gegebenenfalls ein Warten in der Queue aufgrund eines Überschreiten des Ratenlimits. Andererseits muss ein Paket gegebenenfalls auf das Ende eines gerade begonnenen Paketes mit maximaler Länge warten. Dies ist unabhängig von der Priorität der involvierten Pakete, da AVB v1 kein Abbrechen beziehungsweise Unterbrechen von Paketen vorsieht.

Für AVB Klasse-A Pakete wird mit einer Latenz von 250  $\mu$ s für jeden Ausgangsport gerechnet. Dabei fallen für ein Paket mit maximaler Länge bereits etwa 125  $\mu$ s bei 100 MBit/s Übertragungsrate an. Daraus ist zu schlussfolgern, dass allein durch ein Unterbrechen oder Abbrechen

von Paketen mit niedriger Priorität die Latenz von AVB Klasse-A Paketen etwa halbiert werden kann.

## 4 Der kommende AVB v2 Standard

Aus dem vorherigen Kapitel ergibt sich, dass eine neue Version von AVB für den Einsatzbereiche in der Automatisierungstechnik und im Automobil benötigt wird. Diese soll einerseits Worst-Case Latenzen in der Größenordnung von 1 ms erlauben. Andererseits wird für die genannten Einsatzbereiche ein Redundanzkonzept benötigt, dass ein Umschalten des aktiven Übertragungspfades ohne Paketverluste erlaubt. In der zweiten Version des Stream Reservation Protocols ist ein entsprechender Mechanismus spezifiziert, womit diese Anforderung erfüllt ist [16]. Gegebenenfalls müssen weitere Anforderungen, wie beispielsweise in [6] beschrieben, erfüllt werden. Auf diese wird an dieser Stelle allerdings nicht weiter eingegangen.

Zur Reduzierung der Latenz in der zweiten Version von AVB werden aktuell in der AVB-Taskgroup mehrere Konzepte diskutiert. Da zu dieser Thematik lediglich das Paper [15] gefunden wurde, werden für weitere Konzepte Präsentationen, die im Rahmen der Taskgroup-Aktivitäten gehalten wurden, referenziert. Dabei kommen mehrere sich grundlegend unterscheidende Konzepte in Frage. Einerseits kann die maximale Paketgröße in einem Netz reduziert werden. Andererseits kann mit einer Kombination aus Preemption und Cut-Through die Latenz reduziert werden. Weiterhin ist ein anpassen des Traffic-Shapers angedacht. Die unterschiedlichen Konzepte werden im Folgenden erläutert.

### 4.1 Reduzierung der maximalen Paketgröße

Wie im vorherigem Kapitel erläutert, ergibt sich die maximale Latenz für das Weiterleiten eines Paketes über eine Bridge bei AVB unter anderem daraus, dass gegebenenfalls auf ein schon begonnenes Paket gewartet werden muss. Wird die maximale Größe des Paketes, auf das gegebenenfalls gewartet werden muss, reduziert, so verringert sich auch die Wartezeit. Dies wurde in [15] analysiert.

Dabei werden zwei Ansätze zur Reduzierung der maximalen Paketgröße vorgestellt. Einerseits kann durch einen angepassten Netzwerkstack auf allen Knoten eine geänderte maximale Paketgröße eingehalten werden. Dies setzt jedoch voraus, dass alle Endknoten über einen modifizierten Netzwerkstack verfügen, wodurch dieser Ansatz nicht mehr mit dem 802.1 Standard kompatibel ist. Andererseits kann auf den Ethernet-Bridges ein Fragmentieren der Pakete vorgenommen werden. Dementsprechend müssten AVB-fähige Bridges um eine weitere Komponente erweitert werden, die in der Lage ist, Pakete zu Fragmentieren und wieder zusammen zu set-

zen. Durch das zusammensetzen an der letzten AVB-fähigen Bridge wird die Kompatibilität zu vorhandenen Netzwerkkomponenten gewährleistet.

Im Paper wurde mit dem Simulationstool OMNeT die Abhängigkeit der Latenzen in AVB von der maximalen Paketgröße im Netzwerk analysiert. Dafür wurde ein beispielhaftes Netzwerk mit einer Line-Topologie definiert, in dem sowohl AVB- als auch BE-Verkehr übertragen wird. Die Latenz von AVB wurde zwischen zwei Knoten an den Enden der Kette, also mit maximaler Interferenz durch den BE-Verkehr, ermittelt. Zusätzlich wurde der Performanceverlust durch den bei kleineren Paketen ungünstiger werdenden Anteil zwischen Nutzdaten und Paketheadern analysiert. Für die Latenz wurde in dem Paper keine absoluten Werte angegeben, sondern lediglich das Verhältnis der Verbesserung dargestellt.

Aus der Simulation geht hervor, dass der maximale Durchsatz von Nutzdaten mit sinkender Paketgröße sinkt, insbesondere wenn die Paketgröße unter 128 Byte sinkt. Sinkt die Paketgröße unter eine Größe von 512 Bytes, so halbiert sich die Latenz. Dies setzt sich entsprechend fort, hierbei muss also gegebenenfalls ein Kompromiss zwischen Verlust an Datendurchsatz und Reduktion der Latenz gefunden werden. Durch dieses Konzept lässt sich also die Latenz von AVB reduzieren, allerdings wird dies durch einen geringeren Datendurchsatz erkaufte.

#### 4.2 Preemption und Cut-Through

Eine andere Option zur Reduzierung stellt das Weiterleiten von Paketen ohne das Puffern in den Bridges dar, auch Cut-Through genannt. Dementsprechend werden Pakete noch während sie empfangen werden weitergeleitet. Allerdings kann dabei nicht die Prüfsumme des Paketes überprüft werden, wodurch gegebenenfalls fehlerhafte Pakete weitergeleitet werden. Weiterhin kann ein Paket nur direkt weitergeleitet werden, wenn der Ausgangsport frei ist. Um dies zu erreichen, müssen entweder definierte Zeitslots für Pakete mit besonders geringer Latenz reserviert werden oder andere Pakete müssen Preemptiert werden. Durch eine Preemption müsste also nicht auf ein vorheriges Paket gewartet werden, lediglich die Zeit, die der Preemptionsvorgang benötigt, fällt an.

In der Präsentation [19] wurde analytisch die zu erwartende Latenz bei unterschiedlichen Kombinationen von Cut-Through und Preemption errechnet. Dabei werden Latenzen in der Größenordnung von  $1 \mu s$  für jede Bridge angegeben, wobei die durch Traffic-Shaping entstehenden Latenzen nicht berücksichtigt werden. Weiterhin wird erläutert, dass bei Kenntnis der Zeitslots, des Ankunfts- sowie Zielports, für jede Nachricht der Preemptionsvorgang im Voraus begonnen werden kann und somit die Latenz weiter reduziert werden kann. Außerdem kann in diesem Fall auch auf ein Lookup des Zielports verzichtet werden, da dieser im Voraus bekannt ist. Somit kann mit dem Eintreffen der ersten Bits eines Paketes, dessen Ankunft im voraus

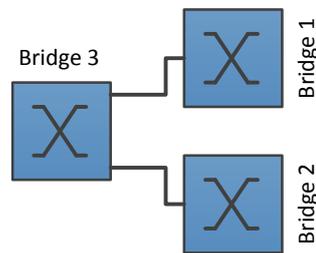


Abbildung 2: Beispielnetz, in dem es zu Bridge 3 zu einem Pufferüberlauf beim Burst-Limiting-Shaper kommen kann.

bekannt ist, mit der Weiterleitung begonnen werden. Dabei fallen allerdings noch weitere Latenzen bei der Vermittlung und internen Weiterleitung an. Die Preemption eines Paketes im Physical Layer von Ethernet durch aktuell durch die IEEE 802.3 Gruppe standardisiert.

#### 4.3 Anpassung des Traffic-Shapers

Als letzte hier vorgestellte Option kann der Traffic-Shaper angepasst werden. Dabei steht eine Anpassung des Shapers, aber auch eine komplette Neukonzipierung zur Diskussion. Aktuell werden drei Konzepte in der AVB-Taskgroup diskutiert, diese werden im Folgenden vorgestellt.

**Burst-Limiting-Shaper:** Dieses Konzept wurde in der Präsentation [5] vorgestellt. Dabei wird wie beim Credit-Based-Traffic-Shaper für jeden Ausgangsport und die entsprechende QoS-Klasse ein Zähler geführt, der beim Senden mit dem Sendslope inkrementiert wird. Ist die QoS-Klasse nicht aktiv, so wird er mit dem Idleslope wieder dekrementiert. Wird die vorgegebene Rate eingehalten, so werden die Pakete strikt nach ihrer Priorität weitergeleitet. Übersteigt der Zähler einen vorher definierten Maximalwert, so erhält die entsprechende QoS-Klasse eine Priorität, die unter allen anderen Prioritäten liegt. Die normale Priorität wird beim Eintreten eines Zählerwertes von null wieder hergestellt.

Durch dieses Verhalten wird die Rate einer QoS-Klasse jedoch nicht auf ein Maximum begrenzt, sondern lediglich ein Verhungern der anderen Prioritäten verhindert. Senden die Bridges 1 und 2 in Abbildung 2 gleichzeitig einen Burst, dessen Rate nicht effektiv begrenzt wird, so kann es in Bridge 3 zu einem Pufferüberlauf kommen, da die eintreffenden Pakete nicht schnell genug versandt werden können [3]. Dies darf insbesondere bei Anwendungen, die die funktionelle Sicherheit eines Gerätes garantieren, nicht vorkommen.

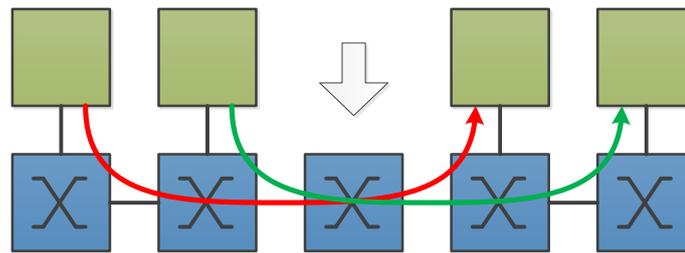


Abbildung 3: Beispielnetz, in dem die Dringlichkeit des roten Streams höher als die des grünen Streams eingestuft wird.

**Urgency-Based-Scheduler:** In der Präsentation [20] wird ein Konzept, das auf der Dringlichkeit von Paketen basiert, vorgestellt. Dabei handelt es sich um einen Credit-Based-Traffic-Shaper, der nicht das älteste Paket in der Queue, sondern das dringlichste Paket versendet. Dringlichkeit kann dabei unterschiedlich definiert werden. In der Präsentation wird vorgeschlagen, jedes Paket mit einer Deadline zu markieren und das Scheduling an der Queue mit dem Scheduling-Algorithmus Earliest Deadline First zu realisieren.

Daraus kann sich allerdings das in Abbildung 3 abgebildete Szenario ergeben. Die Deadline der Pakete des roten Streams an der markierten Bridge wird dabei als kritischer angesehen, als die des grünen Streams, obwohl diese Pakete im Normalfall genauso kritisch sind. Jedoch ließen sich Scheduling-Algorithmen entwickeln, die dies berücksichtigen.

**Time-Aware-Shaper:** Die Präsentation [2] schlägt vor, eine neue QoS-Klasse für besonders zeitkritische Anwendungen (Scheduled-Traffic) in AVB einzuführen. Dabei würden zusätzlich zu den Traffic-Shapern Time-Aware-Gates eingeführt werden, die nach einem TDMA-Schedule betätigt werden. Es wird eine rote und eine grüne Phase vorgeschlagen. In der roten Phase wird lediglich Scheduled-Traffic weitergeleitet, während in der grünen Phase die anderen QoS-Klassen an die Reihe kommen. Die Gates sind in Abbildung 4 entsprechend markiert. Der Schedule muss dabei a priori bekannt sein und in allen Netzwerkkomponenten eingespielt sein. Da der Schedule bekannt ist, können bei Bedarf auch die im Abschnitt 4.2 beschriebenen Konzepte umgesetzt werden.

Dieses Konzept gleicht von den Grundlegenden Prinzipien dem Time-Triggered Ethernet (TTE). Dementsprechend lassen sich vergleichbare Latenzen während des Forwardings erwarten. In [1] werden beispielsweise Simulationsergebnisse gezeigt, die Latenzen von  $61 \mu s$  über zwei Bridges im Maximum lassen etwa  $163 \mu s$  über 7 Bridges erwarten, was signifikant unter den Anforderungen liegt. Weiterhin können Situationen, in denen auf ein vorheriges Paket gewar-

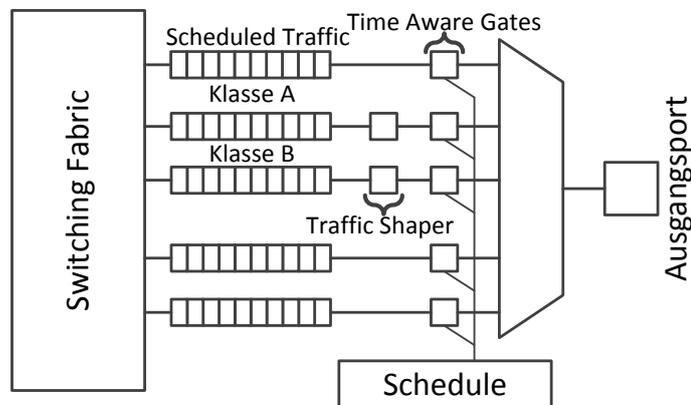


Abbildung 4: Ausgangsport einer AVB-Bridge mit Time-Aware-Shapern.

tet wird, durch ein entsprechendes wählen der roten Phase unterbunden werden. Dabei müsste die rote Phase allerdings um die Dauer eines Paketes mit maximaler Größe früher beginnen. Allerdings reduziert das Ausweiten der roten Phase die noch verfügbare Bandbreite, ohne dass diese garantiert genutzt werden kann. Anzumerken ist weiterhin, dass das hier vorgestellte Konzept von den Grundlagen überraschend viel Ähnlichkeit mit dem in AW1 vorgestellten Konzept der Kombination von AVB und TTE aufweist. Dieses Konzept wird aktuell als Darft-Standard spezifiziert [13].

## 5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde anhand eines Papers mit einer Analyse gezeigt, dass AVB v1 für bestimmte Anwendungen in der Automatisierungstechnik und im Automotivbereich aufgrund einer zu hohen Latenz nicht angewandt werden kann. Die im Konzept von AVB v1 liegenden Ursachen für die Latenz wurden erläutert. Es wurden mehrere in der AVB-Taskgroup diskutierte Konzepte zur Reduzierung der Latenz im kommenden AVB v2 Standard vorgestellt. Die Konzepte wurden im Bezug auf zu erwartende konzeptuelle Probleme betrachtet.

## Literatur

- [1] G. Alderisi u. a. „Simulative assessments of IEEE 802.1 Ethernet AVB and Time-Triggered Ethernet for Advanced Driver Assistance Systems and in-car infotainment“. In: *Vehicular Networking Conference (VNC), 2012 IEEE*. pre-release Version: 6407430-pre. 2012, S. 187–194. DOI: [10.1109/VNC.2012.6407430](https://doi.org/10.1109/VNC.2012.6407430).
- [2] Christian Boiger. *Gates vs. Windows and Scheduled Traffic*. IEEE 802.1 Interim Meeting – Vancouver. Jan. 2013.
- [3] Christian Boiger. *How Many Transmission Selection Algorithms Do We Need?* IEEE 802.3 Interim Meeting – Victoria. Mai 2013.
- [4] J. Diemer u. a. „Exploring the worst-case timing of Ethernet AVB for industrial applications“. In: *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. 2012, S. 3182–3187. DOI: [10.1109/IECON.2012.6389389](https://doi.org/10.1109/IECON.2012.6389389).
- [5] Franz-Josef Götz. *Traffic Shaper for Control Data Traffic (CDT) @ Industry*. IEEE 802 AVB Meeting – San Diego. Juli 2012.
- [6] E. Heidinger u. a. „A performance study of Audio Video Bridging in aeronautic Ethernet networks“. In: *Industrial Embedded Systems (SIES), 2012 7th IEEE International Symposium on*. 2012, S. 67–75. DOI: [10.1109/SIES.2012.6356571](https://doi.org/10.1109/SIES.2012.6356571).
- [7] *IEEE 1588 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. IEEE, 2008.
- [8] *IEEE 802.1AS Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks*. IEEE, 2011.
- [9] *IEEE 802.1BA Standard for Local and metropolitan area networks–Audio Video Bridging (AVB) Systems*. IEEE, Sep. 2011. DOI: [10.1109/IEEESTD.2011.6032690](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.6032690).
- [10] *IEEE 802.1Q Standard for Local and metropolitan area networks–Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridged Local Area Networks*. IEEE, Aug. 2011. DOI: [10.1109/IEEESTD.2011.6009146](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.6009146).
- [11] *IEEE 802.1Qat Amendment 14: Stream Reservation Protocol (SRP) - 802.1Qat*. IEEE, Mai 2010.
- [12] *IEEE 802.1Qav Amendment 12: Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams - 8.2.1Qav*. IEEE, Dez. 2010.

- [13] *IEEE P802.1Qbv/D0.2: Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridged Local Area Networks—Amendment: Enhancements for Scheduled Traffic*. Version 0.2. Apr. 2013.
- [14] J. Imtiaz, J. Jasperneite und S. Schriegel. „A proposal to integrate process data communication to IEEE 802.1 Audio Video Bridging (AVB)“. In: *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2011 IEEE 16th Conference on*. 2011, S. 1–8. DOI: [10.1109/ETFA.2011.6059004](https://doi.org/10.1109/ETFA.2011.6059004).
- [15] J. Imtiaz, J. Jasperneite und K. Weber. „Approaches to reduce the latency for high priority traffic in IEEE 802.1 AVB networks“. In: *Factory Communication Systems (WFCS), 2012 9th IEEE International Workshop on*. 2012, S. 161–164. DOI: [10.1109/WFCS.2012.6242561](https://doi.org/10.1109/WFCS.2012.6242561).
- [16] Oliver Kleineberg, Peter Frohlich und Donal Heffernan. „Fault-tolerant Audio and Video Bridging (AVB) Ethernet: A novel method for redundant stream registration configuration“. In: *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2012 IEEE 17th Conference on*. 2012, S. 1–8. DOI: [10.1109/ETFA.2012.6489645](https://doi.org/10.1109/ETFA.2012.6489645).
- [17] Don Pannell und IEEE TNG Task Group. *IEEE 802.1 Qbv DRAFT 5Cs for Time Aware Shaper enhancement to 802.1Q*. Präsentation, Abgerufen am 01.05.2013. Jan. 2012.
- [18] R. Queck. „Analysis of Ethernet AVB for automotive networks using Network Calculus“. In: *Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2012 IEEE International Conference on*. 2012, S. 61–67. DOI: [10.1109/ICVES.2012.6294261](https://doi.org/10.1109/ICVES.2012.6294261).
- [19] Daniel Sexton. *Time Aware Shaper Options - Review of latency and variability, a proposal plus other topics*. IEEE 802.1 TSN TG. März 2013.
- [20] Johannes Specht. *Urgency based Scheduler – Considerations for Low Latency Reserved Streams*. IEEE 802.1 TSN TG. März 2013.