

# AV Technologie und ihre Nutzung in einem multifunktionalen Netz zur Automatisierung, zur Videoübertragung und zum Energiemanagement

Thomas Müller, Karl Weber

ZHAW InES  
Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften  
Technikumstrasse  
CH-8401 Winterthur  
thomas.mueller ;k.weber @zhaw.ch

**Abstract:** Ethernet ist die Technologie, auf der heute fast alle zukunftsgerichteten Kommunikationssysteme beruhen. Leider greifen die meisten Gruppen dabei auf die Optimierung ihrer eigenen Bedürfnisse zurück und machen somit einen übergreifenden Ansatz schwer. IEEE 802.1 ist die Gruppe, die am ehesten die verschiedenen Anwendungen zusammenführen kann. Im Bereich der Echtzeitkommunikation liegt von der Audio-Video-Bridging Taskgroup nun eine erste Reihe von Standards vor, die ein Kandidat für eine umfassende Echtzeitlösung ist. Allerdings sind noch Erweiterungen erforderlich, um die Latenz der Frames zu verkürzen, die Verfügbarkeit zu erhöhen und Lastsituationen sicher zu beherrschen.

## 1 Die neuen Bridging Standards

Audio-Video-Bridging (AVB) umschreibt eine Reihe von Standards, die den Einsatz von Audio/Video in einem IEEE 802 Netz unterstützen.

Ein wichtiges Element vieler Anwendungen ist die Synchronisation (IEEE 802.1 AS), die nach dem Standard IEEE 1588 ausgeprägt wurde. Es wurde das Transparent-Clock Prinzip verwendet bei dem die Bridges im Durchlauf die Verzögerungen der einzelnen Teilstrecken aufaddieren. Dieses Verfahren beruht darauf, dass man bei einer kurzen Weiterleitungszeit die negativen Effekte einer Übertragung über mehrere Stationen mit einer Verzögerung von jeweils einem Synchronisationsintervall vermeidet und dass es viele Fehlerszenarios sehr gut beherrscht. Tendenziell wird zwar bei AVB die Durchlaufzeit erhöht, weil auf beide Synchronisationsnachrichten gewartet wird, allerdings wird das durch ein verkürztes Synchronisationsintervall wieder wettgemacht.

Angepasst wurde die Selektion des Masters, da die Nutzung von schlecht kontrollierbaren Multicasts in der Hochlaufphase sehr kritisch zu sehen ist. Hier hat es gerade durch AVB eine entscheidende Entwicklung gegeben. Waren die speziellen Adressen bisher hauptsächlich durch IEEE 802-Protokolle genutzt, so kann man diese nun für alle Aufgaben nutzen. Der Vorteil der Kommunikation von Port zu Port gegenüber den weit verbreiteten Multicast-Protokollen, die ein komplettes Netz fluten, ist die sehr spezifische Weiterleitung und Anreicherung von Informationen. Das wichtigste ist aber eine annähernd konstante Last auf den einzelnen Teilstrecken unabhängig vom Netzausbau. Davon profitiert auch die Belastung der angeschlossenen Prozessoren, da ja die Multicasts meist ungefiltert bis zu den Endknoten gehen.

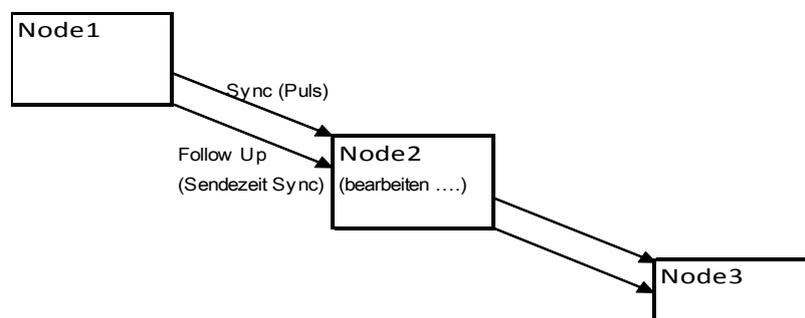
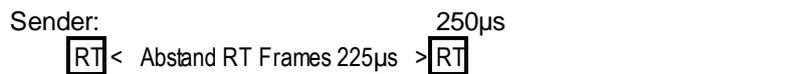


Abbildung 1: Transparent Clock Prinzip mit schnellem Weiterleiten der Synchronisation

Das Prinzip des lokalen Weiterleitens wird auch für das Reservierungsprotokoll (MSRP: Multiple Stream Reservation Protokoll) eingesetzt. Damit wird der zeitkritische Datenfluss durch ein Netz gezielt eingerichtet. Überlastsituationen können so vermieden werden und der Weg zwischen Quelle und Senke kann recht einfach gefunden werden. Anders als bei den in der Industrie eingesetzten Verfahren kann man online Veränderungen in der Konfiguration vornehmen ohne die anderen Datenströme blockieren zu müssen. Das macht AVB auch für Anlagen nutzbar, die nicht abgeschaltet werden können. Auch können an einzelnen Datenpfaden zusätzliche Bridges eingebracht werden, um weitere Ethernet-Teilnehmer anschließen zu können, ohne dass die Endknoten davon tangiert werden. Was fehlt ist eine optimierte Sendereihenfolge, aber die kann dadurch erreicht werden, indem man im Sender die Aufträge mit den längsten Transferzeiten zuerst auf die Reise schickt. Dieses Verfahren kann ohne Protokollveränderung einfach nachgerüstet werden. MSRP ist wie die Synchronisation sehr robust ausgelegt, so dass kritische Lastsituationen durch andere Protokolle keine negativen Auswirkungen auf das Einrichten und den Betrieb von Streams haben. Innerhalb eines Zeitfensters wird nur eine bestimmte Zahl von MSRP Frames gesendet und die Codierung ist kompakt um mehr als hundert Streams über eine Strecke zu transportieren, so dass mit entsprechender Reservierung von Ressourcen keine Überlast auftritt.

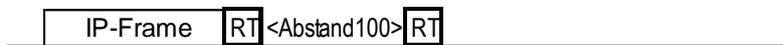
Auch bei Datenautobahnen treten bei hoher Last Staus in den einzelnen Knoten auf, die dann dazu führen, dass die Übertragung lange dauert oder sogar abgebrochen wird. Durch einen entsprechend großen Speicherpool kann man zwar den Verlust von Frames hinauszögern (wie es bei PROFINET gefordert ist), doch die extremen Wartezeiten führen zu einem Systemverhalten, das recht schnell unakzeptabel wird. Aus diesem Grund haben sich Switch-Hersteller recht bald auf eine moderate Speichertiefe geeinigt.

Was für quitierte Dienste durch die Wiederholung akzeptabel ist, bereitet bei zyklischem Datentransfer Probleme, da dann die Information bald sehr unvollständig wird und damit nicht mehr brauchbar. Hierbei tritt ja das Problem des Zusammenballen nicht an einem Punkt auf (die Kapazität ist ja durch MSRP reserviert), sondern nach mehreren Übertragungsabschnitten, da nun plötzlich die Informationen nicht mehr im Intervall-Abstand ankommen, sondern schlimmsten Falls aneinander kleben. Um dies zu vermeiden, wird in jedem Übertragungsabschnitt wieder versucht, den ursprünglichen zeitlichen Abstand wiederherzustellen. Damit wird aus einem recht katastrophalen Systemverhalten (viele zyklische Nachrichten kommen direkt nacheinander und können somit im Endknoten nicht verarbeitet werden) eine Ordnung, die auch im Überlastfall nur geringfügig mehr Informationen in einem Intervall anliefert. Durch die entzerzte Bearbeitung fällt auch in den Bridges nicht so viel RT-Verkehr an wie im unkontrollierten Fall.

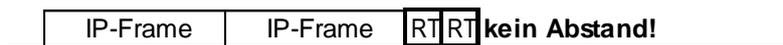


**Ohne CBSA**

nach einer Bridge:



nach zwei Bridges:



**Mit CBSA**

nach einer Bridge:



nach zwei Bridges:



Abbildung 2: CBSA erhält originale Nachrichtensequenz

Eine Performanceanalyse von AVB kann man in [IJH09] finden.

## 2 Verbesserungspotential

### 2.1 Latenzzeit und Bandbreite

Leider wirkt sich das CBSA-Verfahren nicht positiv auf die Verzögerung der Echtzeit-Daten von der Quelle bis zur Senke aus. Hier haben die heute etablierten Systeme im Automatisierungsbereich eindeutig ihre Vorteile. Frames können bis zu 1500 Bytes Nutzdaten aufnehmen, was zu einer Übertragungsdauer von annähernd 125 Mikrosekunden bei Fast Ethernet führt. Diese Zeit kumuliert sich bei einem Netz mit 40 Teilnehmern in Linie zu 5ms und mehr, da der CBSA die Frames weiter verzögert.

Die Alternativen zur Verkürzung der Latenz wurden in [JISW09] aufgezeigt. Bei einer Gigabit-Übertragung erscheint die Unterbrechung von Frames die Methode zu sein, die am leichtesten die Anforderungen erfüllt, wenn die Echtzeitdaten in etwa gleich lang sind und das Senden gleichzeitig erfolgt. Das Abbrechen ist äquivalent einer reservierten Phase, wobei bei einer reservierten Phase wie bei IRT immer noch gewisse Sicherheitszuschläge zu machen sind, die hier nicht notwendig sind. Darüber hinaus könnte man das Abbrechen noch optimieren, um den Verlust an Bandbreite durch das Abbrechen zu reduzieren. Man kann Verlust an Bandbreite und Latenz in etwa gegeneinander aufwiegen, d.h. eine Erhöhung der Bandbreite führt automatisch auch zu einer größeren Latenz.

Es gibt zwar ein Minimum etwa in der Mitte, aber das hat keinen signifikanten Einfluss auf das Systemverhalten. Optimieren lässt sich der Verlust an Bandbreite durch Fragmentierung langer Frames in kleine Teilstücke. Dabei benötigt man einen gewissen Overhead für die Verwaltungsinformationen (8 Bytes wurden diesen Berechnungen zugrunde gelegt sowie zusätzlicher Overhead von 36 Bytes für zusätzliche Fragmente), gewinnt aber Bandbreite, da die langen Frames verschwinden.

Man kann davon ausgehen, dass im Schnitt 50% bei gleichverteilter Framegröße noch zu übertragen sind bei einem vorgegebenen Zeitpunkt, das ändert sich zwar geringfügig, kann vernachlässigt werden. Wichtig ist auch die Länge eines Abschnittes zwischen den Echtzeitdaten (Slot). Der Mehraufwand zur Übertragung eines gewissen Datenvolumens  $x$  besteht aus dem erforderlichen Headern (OvHead) sowie dem Verlust bedingt durch die mangelnde Ausnutzung der Slots (OvSlot):

$$\text{OvHead} = \text{OverheadPerFragment} / \text{fragSize}$$

$$\text{OvSlot} = (\text{fragSize} + \text{OverheadPerFragment}) / (2 * \text{slot})$$

Das Modell ist etwas vereinfachend, weil in Wirklichkeit viele kleine Datenelemente übertragen werden und weil immer ein Verlust eines halben maximalen Frames angenommen wird, vermittelt jedoch einen gewissen Eindruck, welche Portionierung für ein System ideal ist. In dem hier gerechneten Modell gibt es bei Fast Ethernet eine optimale Fragmentgröße bei verschiedenen Längen des Slots von etwa 200 Nutzbytes. In diesem Modell sind allerdings die Extremwerte deutlich ausgeprägt – die Fragmentierung bringt also Vorteile.

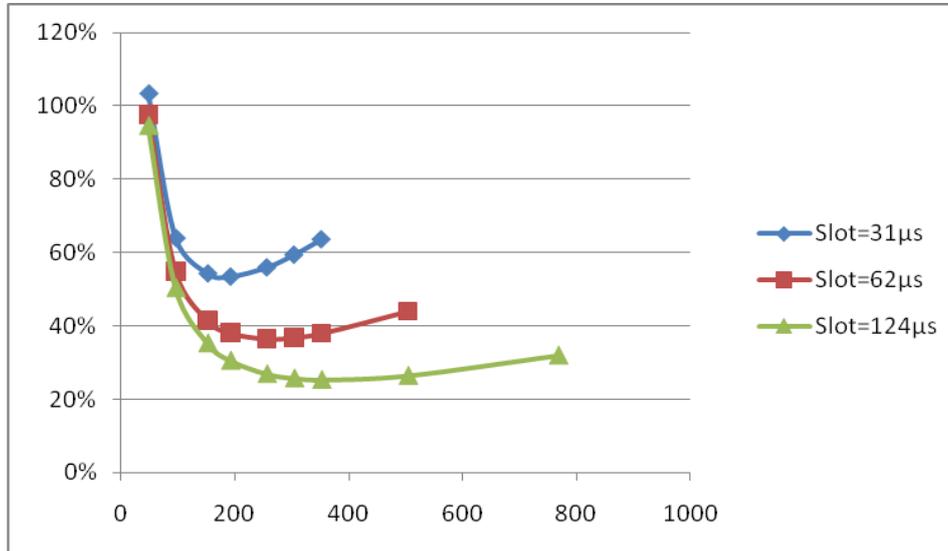


Abbildung 3: Zusatzaufwand bei verschiedenen Slotgrößen

Es zeigt sich auch deutlich, dass bei geringen Slotgrößen der Overhead deutlich ansteigt, so dass eine extreme Verkürzung sich sehr negativ auf den Gesamtdurchsatz auswirken würde.

## 2.2 Verfügbarkeit

Das AVB-Modell nutzt nur einen Pfad zwischen Quelle und Ziel, falls es mehrere Pfade gibt, so können diese erst nach einer recht langwierigen Rekonfiguration genutzt werden. Auf alle Fälle kommt es dabei zu einer Unterbrechung des Echtzeitdatenaustausches. Es gibt Verfahren, die eine Redundanz sicherstellen, die rückwirkungsfrei den Austausch von Daten ermöglichen (zum Beispiel Highly available Seamless automation Ring HSR). Im Prinzip wäre das Verzweigen auf redundante Wege einfach, man müsste nur beide Pfade beim Reservieren belegen. Das Zusammenführen ist etwas komplizierter – hier muss man die Frames registrieren und bei einer zweiten Weiterleitung über denselben Pfad das Duplikat entfernen. Bei der Registrierung müsste man nur eine weitere Reservierung einfach eliminieren. Bei AVB ist ja die Latenz begrenzt, so dass nur eine endliche Menge innerhalb dieses Latenzfensters zwischengespeichert werden muss, damit ist eine sichere Duplikat-Erkennung einfach umsetzbar.

Es ergeben sich die Möglichkeiten, die Duplikat-Erkennung von HSR zu nutzen oder diese Funktion in die vorhandene AVB-Infrastruktur einbringen. Für die HSR-Integration spricht die Modularisierung der einzelnen Funktionsblöcke und eine generelle Anwendbarkeit. Wenn man sich allerdings auf Streams beschränkt, könnte man zwar eine effizientere Lösung hinbekommen, aber erkaufte sich diesen Vorteil durch den Verlust an Allgemeinheit der Redundanzlösung.

Es fehlen Kriterien, um sich hier für die eine oder andere Variante zu entscheiden. Der Energiesektor hat sich für HSR als kosteneffiziente Redundanzlösung entschieden.

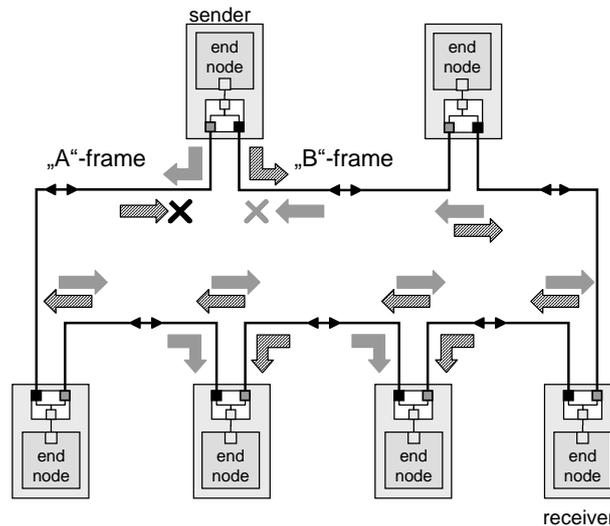


Abbildung 4: HSR Ring nach [KKWW09]

### 2.3 Lastsituationen

Wie bereits angedeutet, kann AVB die Lastsituationen für die RT-Streams gut beherrschen, allerdings gibt es bei den meisten Echtzeitprotokollen auch azyklischen Datenverkehr, der für die Durchführung der Automatisierungsaufgabe erforderlich ist. Letztendlich müsste schon beim Einspeisen in das Netz dafür gesorgt werden, dass nicht zu viel Last an den kritischen Stellen entsteht. Theoretisch könnte man hier auch den CBSA anwenden und jeder Station eine gewisse Bandbreite zuordnen. Das wäre zwar im Worst-Case sicher, würde aber im Normalfall zu einem schlechten Durchsatz führen. Das Token Prinzip hat auch die Charakteristik, einen fairen Netzzugang zu ermöglichen, allerdings ist der administrative Aufwand des zirkulierenden Tokens hoch. Darüber hinaus regelt es den Zugang zu einem gemeinsamen Medium und ist nicht dafür ausgelegt, unabhängige Übertragungsstrecken effizient zu verwalten.

Dieses Thema ist also noch Gegenstand von weiteren Überlegungen, wobei eine robuste Überwachung der nichtzyklischen Aufträge hier Vorteile bringt. Darüber hinaus muss der Zugang für alle gleichberechtigt erfolgen.

### **3 Ergebnis**

AVB bietet eine gute Plattform für einen Standard, der vielfältige Anforderungen an die Echtzeiteigenschaften hat. Im Bereich von Latenz, Medienredundanz und Beherrschung von Lastsituationen gibt es Raum für Verbesserungen und auch schon Lösungsideen, wie das umzusetzen wäre.

### **Literaturverzeichnis**

- [JISW09] Jasperneite, J.; Imtiaz, J.; Schumacher, M.; Weber, K.: A Proposal for a Generic Real-time Ethernet System. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics(5) S.: 75-85, 2009.
- [KKWW09] Kirmann, H.; Kleineberg, O.; Weber, K.; Weibel, H.: HSR: Zero recovery time and low-cost redundancy for Industrial Ethernet (High availability Seamless Redundancy, IEC 62439-3). In Proc. 14th IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation, Mallorca, 2009.
- [IJH] Imtiaz, J.; Jasperneite, J.; Han, L.: A Performance Study of Ethernet Audio Video Bridging (AVB) for Industrial Real-time Communication. In Proc. 14th IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation, Mallorca, 2009.