

# **Networked Audio: Aktuelle Entwicklungen & Technologische Perspektiven für den Broadcast-Markt**

## *(Networked Audio: Current Developments & Perspectives for the Broadcast Market)*

*Andreas Hildebrand\**

\* ALC NetworX GmbH, andreas.hildebrand@alcnetworx.de

### **Kurzfassung**

Der Vortrag gibt eine kurze Einführung in die Vorteile Netzwerk-basierter Technologie zur Verteilung von Echtzeit-Audiosignalen. Es werden mögliche Einsatzfelder im Broadcast-Umfeld aufgezeigt und die daraus resultierenden Anforderungen an eine Netzwerk-basierte Lösung skizziert. Beispielhaft werden einige existierende Lösungen mit Hinblick auf diese Anforderungen auf deren Eignung untersucht.

Anschließend wird AVB als neuer Technologie-Ansatz auf Layer 2 vorgestellt. Es werden die grundsätzlichen Protokolle und Mechanismen sowie der Fortschritt der Standardisierung erläutert. Auch diese Technologie wird anhand der zuvor erarbeiteten Kriterien auf einen erfolgversprechenden Einsatz im Broadcast-Umfeld überprüft.

Zum Abschluß wird die neue, auf Layer 3 basierende Technologie "RAVENNA" vorgestellt und ebenfalls auf ihre Eignung innerhalb des Broadcast-Umfeldes untersucht.

### **1. Einleitung**

Seitdem Ethernet seinen globalen Triumphzug als Verbindungsmedium weltweiter Informationen angetreten hat, wurden viele mehr oder weniger erfolgreiche Lösungen zur Verwendung dieses Mediums zum Echtzeit -Transfer von Audiosignalen entwickelt. Neben etlichen proprietären Layer 1-Lösungen konnten sich in der Vergangenheit einige Layer 2- und Layer 3-Lösungen (z.B. CobraNet, EtherSound, Livewire etc.) etablieren. Allen gemeinsam ist jedoch die vollständige Inkompatibilität zueinander und ein geschlossener, meist mit einer strikten Lizenzierungspolitik einhergehender Ansatz.

Nun entwickelt sich mit AVB ein internationaler Standard, der von vielen bereits jetzt als der einzig legitime Nachfolger aller bisherigen Lösungen betrachtet wird. Kann AVB diesen Anspruch erfüllen? Ist AVB auch für den Broadcast-Markt geeignet? Welche Vorteile bieten alternative, Layer 3-basierte Technologien?

Dieser Vortrag versucht beispielhaft Vorteile, Möglichkeiten und Grenzen verschiedener aktueller und evolvierender Technologien mit Hinblick auf eine Eignung für den professionellen Broadcast-Markt aufzuzeigen.

## **2. Einführung**

### **2.1. Entwicklung der Audiosignalübertragung**

Es stellt sich zunächst die Frage, warum überhaupt Audiodaten über Netzwerke verteilt werden sollen. In der Vergangenheit war die analoge Signalübertragung hinreichend bekannt und etabliert. Man mußte allerdings störende Einstreuungen in den Signalen in Kauf nehmen und mit Leitungslängen sehr vorsichtig umgehen. Die Signale wurden nicht nur in ihrer Qualität, sondern auch in ihren Eigenschaften durch die Übertragungsstrecken und die Einwirkungen von außen verändert.

Anfang der 90er Jahre wurden die Daten digitalisiert und digital übertragen. Es war zum ersten Mal möglich, Daten verlustfrei von A nach B zu transportieren. Es hat sich auch eine Normierung durchgesetzt, die den Austausch der Signale standardisierte. Insofern ist diese Art der Übertragung gängige und etablierte Technologie.

### **2.2. Allgemeine Vorteile Netzwerk-basierter Übertragungstechnologie**

Mit der Netzwerktechnologie, die seit Mitte 2000 Einzug hält, kommen weitere Vorteile bei der Übertragung dazu. Über die reine Punkt-zu-Punkt-Verbindung hinaus – auch ein Merkmal der analogen und digitalen Signalübertragung - ist man jetzt in der Lage, Signale beliebig innerhalb eines Netzwerkes zu verteilen. Die Daten können verlustfrei und an verschiedenen Stellen im Netzwerk parallel abgegriffen werden.

Außerdem ist das Medium in der Lage, nicht nur uniforme Daten, nämlich digitale Audiosignale mit einer bestimmten Sampling-Frequenz und einer definierten Wortbreite zu übertragen, sondern das Netzwerk erlaubt die Übertragung beliebiger Datenformate und auch anderer Dienste. Diese Breitbandigkeit einer Netzwerk-basierten Lösung ermöglicht es beispielsweise, auch den Office-Verkehr über das gleiche Medium zu übertragen.

Die Verfügbarkeit und die Zuverlässigkeit von Netzwerktechnologie sind praktisch überall gegeben, der gesamte Datenverkehr weltweit beruht schon seit fast zwei Jahrzehnten ausschließlich auf Netzwerktechnologie. Die Protokolle und technologischen Verfahren, die genutzt werden, sind weltweit etabliert und standardisiert, man muß nicht auf proprietäre Technologien zurückgreifen.

Netzwerktechnologie geht einher mit einer hohen Flexibilität, denn es ist sehr einfach und schnell möglich, eine Infrastruktur neu zu konfigurieren oder zu erweitern, um sie neuen Erfordernissen anzupassen.

Ein wichtiger Vorteil ist die Skalierbarkeit. Die Leistungsfähigkeit oder auch die Übertragungsbandbreiten bei einer netzwerkbasierter Übertragung skalieren mit der darunter liegenden Infrastruktur, das heißt, je mehr Bandbreite zur Verfügung steht, desto höher ist die Anzahl der Kanäle, die übertragen werden kann bzw. die Geschwindigkeit des Datendurchsatzes steigt.

Neben technischen Vorteilen ist langfristig gesehen auch von einem Kostenvorteil auszugehen. Alle Komponenten, die für den Aufbau einer Infrastruktur gebraucht werden, sind vergleichsweise kostengünstig, weil sie in sehr hohen Stückzahlen gefertigt werden. Sie werden nicht - wie herkömmliche Kreuzschiensysteme - ausschließlich für die hochqualitative Audioübertragung gebaut, sondern sind in allen Datennetzwerken dieser Welt mit hohen Leistungskapazitäten verfügbar. Das gleiche gilt für den Bereich der Pflege und des Betriebs solcher Netzwerke. Schon heute werden die bestehenden Netzwerke gewartet. Durch einen weiteren Service, nämlich die Audioübertragung, steigt zwar der Aufwand, aber sicher nicht in dem Maße wie bei einer eigenen Infrastruktur. Man darf davon ausgehen, daß bei einer netzwerkbasierter Lösung die operativen Kosten deutlich geringer ausfallen werden.

### **2.3. Anwendungsfelder im Broadcast-Umfeld**

In erster Linie können damit In-House-Anwendungen umgesetzt werden, das heißt, alles, was im Bereich der Verteilung von Signalen innerhalb der einzelnen Rundfunkanstalten gebraucht wird. Das kann die Signalverteilung in den zentralen Einrichtungen wie dem Hauptschallraum sein, die Verteilung von Signalen zwischen einzelnen Studios und Produktionsbereichen oder auch die Audioanbindung an die journalistischen Bereiche. Gerade letzteres ist zwar heute schon möglich und in vielen Bereichen auch üblich, bedingt durch den Einsatz herkömmlicher Signalverteilungsstrukturen aber mit einem recht hohen Aufwand verbunden.

Den Hauptschallraum wird man sicherlich nicht substantiell in näherer Zukunft umstellen, sondern man wird neue Lösungen dort andocken. Die traditionelle, gut funktionierende Technologie, die viel Geld gekostet und spezielle Betriebsparameter hat, wird sicher noch über Jahre hinweg weitergeführt. Was aber nicht heißt, daß dort nicht auch netzwerk-basierte Lösungen Einzug halten können. Beispielsweise die zentralen Kreuzschiensysteme mit netzwerkfähigen Einsteckkarten ausgerüstet werden, so daß parallel zu den MADI- und diskreten Audiosignalen auch Netzwerksignale verwaltet und geschaltet werden können.

Interessant wird der Bereich der WAN-Übertragung. Mit netzwerk-basierten Lösungen ist die Verbindung beispielsweise zwischen Regionalstudios und den Hauptfunkhäusern denkbar, die ARD-Sendeanstalten können ebenfalls untereinander vernetzt werden. Dabei wird nicht auf die Anwendungsgebiete abgezielt, die über Verbindungen geringer Bandbreite und schwankender Verbindungs- bzw. Übertragungsgüte abgewickelt werden - also typischerweise allgemein verfügbarer „Internet“-Verbindungen; dieser Bereich wird mittels so genannter Codecs abgedeckt. Für den Transfer Echtzeit-basierter Audiodaten über Weitverkehrsnetzwerke werden deutlich andere Dienstgüte-Anforderungen gestellt, die typischerweise nicht mit den üblichen Internet-Verbindungen erzielt werden können. Aber wenn gesicherte Weitverkehrsverbindungen geschaltet werden können, die eine bestimmte Service-Qualität gewährleisten, können auch mit Netzwerktechnologie hochqualitative Echtzeitverbindungen aufgebaut werden.

Auch beim Einsatz eines Ü-Wagens könnte sich der Aufwand bei der Verkabelung deutlich verringern, insbesondere dann, wenn nicht nur der Ü-Wagen und das zugehörige Funkhaus mit der Technik ausgestattet sind, sondern wenn man die Möglichkeit hat, am Veranstaltungsort selbst auf Netzwerkstrukturen zurückzugreifen. Schaut man sich beispielsweise ein modernes Stadion an, dann wird man dort eine gut strukturierte Netzwerkverkabelung vorfinden. Es wäre also durchaus denkbar, daß sich der Ü-Wagen auf den zentralen Switch aufschaltet und über die gegebene Infrastruktur mit allen Audioquellen versorgt wird.

## **2.4. Anforderungen im Broadcastbereich**

Um zu verstehen, warum sich bestehende Netzwerklösungen bislang nicht großflächig im Broadcastbereich durchsetzen konnten, muß man die speziellen Anforderungen in diesem Umfeld kennen:

- Jede Lösung für den Rundfunkbereich muß sich in bereits existierende Umgebungen integrieren lassen. Dazu man muß auf bestehende Netzwerktopologien aufsetzen können und parallel zu anderen Diensten auf dem gleichen Netz arbeiten können (shared traffic). Eine Lösung anzubieten, die das Aufsetzen einer eigenen oder das Austauschen der existierenden Netzwerkinfrastruktur erforderlich macht, ist zwecklos.
- Ein neues System muß skalierbar sein. Eine Lösung, die in bestimmten Parametern an Grenzen stößt, beispielsweise max. 64 Kanäle übertragen kann, ist ebenfalls nicht akzeptabel.
- Die Latenzanforderungen sind sicher nicht so kritisch wie in Live-Applikationen: Es gibt nur wenige Broadcast-Applikationen, bei denen Übertragungslatenzen im einstelligen Millisekunden-Bereich gefordert werden, in vielen Fällen sind zweistellige Millisekunden immer noch akzeptabel. Grundsätzlich sollte eine neue Lösung aber nicht ausschließlich an den Minimalanforderungen einer bestimmten Applikation ausgerichtet sein, sondern sich am technisch machbaren orientieren; deshalb sollten auch geringe Latenzzeiten ein Kriterium sein.
- Man hat im Rundfunkbetrieb immer mit variablen Sampling-Raten - auch wenn sich 48 kHz als Quasi-Standard durchgesetzt haben - und unterschiedlichen Datenformaten zu tun. Eine neue Lösung muß unterschiedliche Audiodatenformate unterstützen können und offen sein für andere Datenformate wie beispielsweise Video.
- Selbstverständlich müssen alle Signaldaten vollständig bittransparent übertragbar sein. Jegliche Datenkonvertierung - sei es En- / Dekodierung oder Abstratenwandlung - sollte vermieden werden, da sie die Dateninhalte verändert; dies ist insbesondere bei bereits kodierten Streams (zum Beispiel AES3 oder DolbyE) unabdingbar.
- Hohe Verfügbarkeit ist immer ein Thema beim Rundfunk. Im Netzwerkbereich gibt es eine Reihe von Mechanismen, die selbstheilend sind. So gibt es im Netzwerkbereich Mechanismen, die zum Beispiel beim Ausfall einer Komponente automatisch einen anderen Pfad zum Ziel suchen. Allerdings dauert das Umschalten immer zu lang, um einen unterbrechungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Im normalen Office-Verkehr ist das unerheblich, bei Echtzeitdaten führt dies aber immer zu kurzen Aussetzern. Daher sollte die Lösung von vorne herein einen unterbrechungsfreies Fail-over ermöglichen.
- Ein nativer PC-Support ist gerade im Broadcast-Umfeld sehr wichtig. Die unzähligen PCs sollen sich, ohne teure zusätzliche Hardware kaufen zu müssen, ans Netz andocken lassen, um die Signale zumindest in einer ausreichenden Abhör- oder Bearbeitungsqualität nutzen zu können.
- Schlußendlich sind im Broadcast-Bereich proprietäre Lösungen, die unter Umständen mit einer stringenten Lizenz-Politik verknüpft sind, nicht gerne gesehen. Eine Hersteller-unabhängige Lösung wird eindeutig favorisiert.

### **3. Existierende Lösungen**

#### **3.1. Das OSI-Schichtenmodell**

Netzwerk-basierende Lösungen lassen sich am einfachsten anhand ihrer Zuordnung zum bekannten OSI-Schichtenmodell klassifizieren. Als OSI-Schichtenmodell (auch OSI-Referenzmodell; englisch Open Systems Interconnection Reference Model) wird ein Schichtenmodell der Internationalen Organisation für Normung (ISO) bezeichnet, das als Designgrundlage von Kommunikationsprotokollen in Rechnernetzen entwickelt wurde.

Die Aufgaben der Kommunikation wurden dazu in sieben aufeinander aufbauende Schichten (layers) unterteilt. Für jede Schicht existiert eine Beschreibung, in welcher steht, was diese zu leisten hat. Auf jeder einzelnen Schicht setzt jeweils eine Instanz die Anforderungen um. Die Instanzen auf Sender- und Empfängerseite müssen nach festgelegten Regeln arbeiten, damit sie sich einig sind, wie die Daten zu verarbeiten sind. Die Festlegung dieser Regeln wird in einem Protokoll beschrieben und bildet eine logische, horizontale Verbindung zwischen zwei Instanzen derselben Schicht.

Jede Instanz stellt Dienste zur Verfügung, die eine direkt darüber liegende Instanz nutzen kann. Zur Erbringung der Dienstleistung bedient sich eine Instanz selbst der Dienste der unmittelbar darunterliegenden Instanz. Der reale Datenfluß erfolgt daher vertikal. Die Instanzen einer Schicht sind genau dann austauschbar, wenn sie sowohl beim Sender als auch beim Empfänger ausgetauscht werden können.

Die unterste Schicht ist die physikalische Übertragungsebene (physical layer - layer 1), auf der die einzelnen Bits übertragen werden. Diese Ebene wird oft entsprechend auch als "copper" oder "optical layer" bezeichnet.

Darüber liegt die Sicherungsschicht oder Verbindungsebene (data link layer - layer 2), auf der der Zugriff auf das Übertragungsmedium geregelt und eine weitgehend fehlerfreie Übertragung gewährleistet wird. Auf dieser Schicht ist auch das Ethernet mit seinen Übertragungsprotokollen angesiedelt, sie wird daher oft auch als "Ethernet-Layer" bezeichnet.

Die dritte Schicht wird als Vermittlungsschicht oder Paketebene (network layer - layer 3) bezeichnet. Zu den wichtigsten Aufgaben der Vermittlungsschicht zählt das Bereitstellen netzwerkübergreifender Adressen, das Routing bzw. der Aufbau und die Aktualisierung von Routingtabellen und natürlich der Transport einzelner Datenpakete durch das Netzwerk. Basis für alle Protokolle auf dieser Schicht ist das IP-Protokoll, oft auch als "das Internet-Protokoll" bezeichnet.

#### **3.2. Beispiele existierender Lösungen anhand des OSI-Schichtenmodells**

Irrtümlicherweise wird oft schon AES 50 als eine Netzwerk-basierte Lösung eingestuft. Das ist aber nicht so. AES 50, das auch den Beinamen "SuperMac" oder in der Weiterentwicklung "HyperMac" hat, ist nichts anderes als eine proprietäre Punkt-zu-Punkt-Verbindung, durch die neben den reinen Audiodaten auch Netzwerkdaten in begrenztem Umfang getunnelt werden können.

Desweiteren gibt es eine Reihe von Lösungen, die auf dem physikalischen Übertragungslayer (Layer 1) basieren. Das sind Lösungen, die sehr proprietär das physikalische Übertragungsmedium, also den Kupferdraht oder den optischen Lichtleiter, nutzen. Beispiele

dafür sind das A-Net von Aviom, Rocknet und MediorNet von Riedel, Soundweb von BSS oder OptoCore.

Etabliert sind auch verschiedene Layer 2-Technologien mit den bekannten Vertretern EtherSound oder CobraNet. Diese nutzen den Ethernet Data Link Layer. Es ist möglich, handelsübliche Ethernet Switche für den Aufbau eines Netzwerkes zu nutzen. Allerdings sind auch proprietäre Technologien, die das Netzwerk grundsätzlich für sich selber beanspruchen.

EtherSound duldet keine anderen Services auf dem Netzwerk und verwaltet sozusagen das Netzwerk komplett autark. Davon abgesehen, bleibt auch keine Restbandbreite für andere Dienste übrig.

CobraNet erlaubt zwar prinzipiell die parallele Nutzung des Netzwerkes mit anderen Diensten, aber auch da heißt die Empfehlung, dies möglichst nicht zu tun, weil die Audioübertragung ansonsten nicht mehr zuverlässig funktioniert. Auf jeden Fall handelt es sich bei diesen Lösungen um Black-Box-Lösungen. Es steckt immer ein Lizenzgeber dahinter, der für die Implementierung eine - meist Kanal-abhängige - Lizenz verlangt.

Zudem sind beide Lösungen auf Fast Ethernet (also 100 Mbit/s) beschränkt.<sup>1</sup>

Auch auf Layer 3 gibt es schon existierende Lösungen wie beispielsweise Livewire von Axia, Q-LAN von QSC oder das Dante-System von Audinate. Aber auch hier handelt es sich um proprietäre Systeme. Sie benutzen zwar standardisierte Protokolle, aber die eigentliche Kerntechnologie ist eine "Black-Box", für deren Anwendung bzw. Integration entsprechend Lizenzgebühren zu entrichten sind.

Zu den Layer 3-Technologien sind auch die "Codec"-Lösungen zu rechnen, die in der Regel nicht Dienstgüte-gesicherte IP-Strecken, also zum Beispiel auch frei verfügbare Internetverbindungen, mit der Zielsetzung nutzen, den Audio-Inhalt möglichst gut verständlich zu übertragen. Dazu gehören beispielsweise die Lösungen der Firmen APT, Mayah, Qbit oder Prodis und anderen. Diese Lösungen sind nur bedingt für eine Echtzeit In-House-Datenübertragung geeignet, weil es unter anderem keine starre Synchronisation zwischen zwei Endstellen gibt. Darüber hinaus arbeiten diese Lösungen in der Regel mit En- und Decodierung und Fehlerkorrekturverfahren, die typischerweise zu höheren Latenzen führen.

Abbildung 1 zeigt, wie sich die genannten typischen Netzwerklösungen in das OSI-Schichtenmodell einordnen:

---

<sup>1</sup> Für EtherSound ist zwar eine Gigabit-Ethernet-Lösung bereits verfügbar, jedoch hat diese noch keine signifikante Verbreitung am Markt gefunden und sie ist auch nicht abwärtskompatibel. Für CobraNet ist eine Gigabit-Lösung seit längerem angekündigt, jedoch bis heute nicht verfügbar.

OSI Layer	A-Net	EtherSound	CobraNet	Livewire	Dante
Application					
Presentation					
Session				RTP	RTP
Transport				UDP	UDP
Network				IP	IP
Data Link		Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Physical	Copper	Copper / Fiber	Copper / Fiber	Copper / Fiber	Copper / Fiber

Abb. 1: Das OSI-Layer Modell mit typischen Netzwerklösungen

### 3.3. Gegenüberstellung mit Anforderungsmatrix

Die Abbildung 2 zeigt, wie die Anforderungen, die sich im Rundfunkbetrieb ergeben, von fünf der typischen Lösungen erfüllt werden. Die hier aufgeführten Zahlen sind den allgemein verfügbaren Publikationen zu entnehmen, können aber in dem einen oder anderen Applikationsfall auch abweichen. Sie sind insofern nicht als Absolutwerte zu betrachten, sondern dienen nur dazu einen Trend aufzeigen, wie die bestehenden Lösungen in ihrer Rundfunktauglichkeit zu bewerten sind. Rot markiert sind Parameter, die den aufgestellten Anforderungen für den Einsatz im Rundfunkumfeld nicht entsprechen. Gelb hinterlegt sind Parameter, die in bestimmten Applikationsbereichen noch akzeptabel wären. Grün markiert sind die Parameter, die für den Anforderungen im Rundfunkbetrieb durchaus genügen.

	A-Net	EtherSound	CobraNet	Livewire	Dante
Layer	1	2a	2b	3	3
Topology	P-t-P (Star)	Daisy Chain	Structured	Structured	Structured
Routable	No	No	No	No	Potentially
Network equipment	Cat 5	Ethernet	Ethernet	LAN	LAN
Shared network	No	No	(yes)	Yes	Yes
Scalable	No (64 ch)	No (64 ch)	No (64 ch)	Yes (32767 ch)	Yes
Latency	Low (800 µs)	Very low (125 µs)	Medium (1.3 ~ 5.3 ms)	Medium (> 1 ms)	Low / variable (< 1 ms)
Sample rates	1 common	48 / 96 kHz	48 / 96 kHz	48 kHz (fixed)	Variable
Data format	24 bit	24 bit	16 / 20 / 24 bit	24 bit	Variable
Redundancy	No	Ring	STP	STP	Dual NIC
PC support	No	PCI card	PCI card	Virtual / PCI	Virtual / PCI
Transport protocol	Proprietary	Proprietary	Proprietary	RTP	RTP
Open Standard	No	No	No	No	No

Abb. 2: Gegenüberstellung der Rundfunkanforderungen und der typischen Parameter bestehender Netzwerklösungen

Man sieht deutlich, daß Layer 3-basierte Lösungen eher für den Einsatz im Rundfunkumfeld geeignet sind, als Layer 1- oder Layer 2-basierte Lösungen. Da bei den Layer 1- oder Layer 2-Lösungen die Kriterien, die für Rundfunkanwendungen gegeben sein müssen, praktisch gar nicht oder nur unzureichend erfüllt werden, wird sich nachfolgend auch nicht weiter damit befaßt. Zu sehen ist allerdings auch, daß es sich bei keiner Lösung um einen offenen Standard handelt, und hier sicher auch der Grund zu suchen ist, warum sich bisher keine Lösung - auch nicht die ansonsten technisch überlegene Dante-Lösung - weitflächig im Rundfunkbereich durchsetzen konnte.

## 4. AVB

### 4.1. Historie und Übersicht

AVB steht für "Audio Video Bridging for real-time sensitive media data". Viele kennen AVB noch gar nicht, obwohl für Ethernet AVB bei der IEEE schon etliche Jahre die Standardisierungsbemühungen laufen. Schon vor längerer Zeit gab es bei der IEEE eine Arbeitsgruppe, die sich *Residential Ethernet* nannte. Hier haben sich Firmen zusammengeschlossen, die den Consumermarkt im Auge hatten, mit der Zielsetzung, die Vernetzung der Mediengeräte im Home Theater Bereich zu realisieren. Aus dieser Arbeitsgruppe ist die AVB-Arbeitsgruppe (IEEE 802.1AVB) geworden, zu der sich auch professionelle Audiofirmen gesellten, die versuchen, AVB auch auf die ProAudio Schiene zu heben.

Viele, die bereits von AVB gehört haben, hegen die Hoffnung, daß diese Technologie die ultimative Lösung sein wird, die alle bisherigen Netzwerk-basierten Lösungen ablösen kann.

Zunächst muß man allerdings feststellen, daß AVB an sich noch keine eigenständige Lösung darstellt, sondern vielmehr eine Sammlung von Protokollen ist, die auf dem Ethernet-Layer, also auf Layer 2, verankert sind, die es wiederum überhaupt erst ermöglichen, eine auf AVB-basierende Lösung aufzubauen. Wenn diese Protokolle in allen beteiligten Infrastruktur-Komponenten implementiert sind, dann ist das Netzwerk, das damit aufgebaut werden kann, grundsätzlich in der Lage, Echtzeit-sensitive Datenströme auf Ethernet-Layer zu übertragen.

Dazu muß man die einzelnen Protokolle kurz erwähnen und verstehen. Es gibt zunächst vier IEEE 802.1 Protokolle, die zukünftig in allen Ethernet Switches implementiert sein müssen, bevor überhaupt eine AVB-Lösung entstehen kann (die sogenannten *Plumbing* Protokolle).

Außerdem ist ein Protokoll notwendig, das die eigentliche Datenübertragung abwickelt, nämlich das Transport-Protokoll P1722. Dieses Protokoll regelt, wie die Komponenten die Daten auf Basis von AVB-Netzwerken austauschen.

Darüber hinaus ist aber noch eine weitere Protokollebene notwendig, auf der definiert wird, wie die angeschlossenen Geräte konfiguriert werden, wie sie sich im Netzwerk zu erkennen geben, wie sie entdeckt werden, welche Services sie anbieten und wie Streams aufgesetzt werden können. Dies soll mit dem Protokoll P1722.1 abgehandelt werden.

Alle diese Protokolle werden in verschiedenen Arbeitsgruppen bei der IEEE bearbeitet. Einige Protokolle sind bereits als Standards verfügbar oder werden in Kürze zum Standard erhoben, andere Protokolle benötigen jedoch noch einige Zeit, bevor sie eine Standardisierungsreife erreicht haben werden. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, daß bis spätestens Mitte 2012 alle notwendigen Protokolle in einer ersten Version als Standard verfügbar sein dürften. Das wiederum sagt aber noch nichts über die kommerzielle Verfügbarkeit der benötigten Hardware-Komponenten und deren Ausprägung aus. Erste AVB-fähige Switches dürften am Anfang vor allem im Consumer-Umfeld zu finden sein .

## **4.2. Die AVB-Protokolle**

### *4.2.1. 802.1 AS –precision time protocol*

Dieses Protokoll ist ein Timing- und Synchronisations-Protokoll, das auf einem schon länger existierenden Protokoll zur hochpräzisen Übertragung von Zeiten in einem Netzwerk basiert, dem IEEE 1588 Precision Time Protocol. Dieses, aus dem Bereich der industriellen Automatisationssteuerung stammende, Protokoll ist in seiner ursprünglichen Form recht komplex und wurde für die Verwendung im Rahmen von AVB an einigen Stellen vereinfacht, bleibt jedoch - bezogen auf die Netzwerkinfrastruktur - im wesentlichen mit IEEE1588 kompatibel. Es ermöglicht die Zeitsynchronisation aller beteiligten Komponenten auf ca. 500 ns genau.

### *4.2.2. 802.1 Qat –stream reservation protocol (clause 11 amendment to 802.1Q)*

Dieses Protokoll sorgt dafür, daß innerhalb des Netzwerkes garantierte Bandbreiten für reservierte Links aufgebaut werden können. Wenn bei einem Empfänger ein bestimmter Datenstrom ankommen soll, dann muß er eine so genannte Stream Reservation vornehmen. Der Sender informiert über die Bandbreite, die der Stream braucht, und alle beteiligten Switches müssen quittieren, indem sie die notwendige Bandbreite garantiert bereitstellen. Jeder Switch darf max. 75% seiner verfügbaren Bandbreite für den AVB-Verkehr reservieren. Das soll auf der einen Seite garantieren, daß die end-to-end Verfügbarkeit eines solchen Streams garantiert bleibt. Auf der anderen Seite wurde auf 75% begrenzt, damit auch andere Dienste auf dem Netz noch laufen können.

#### 4.2.3. 802.1 Qav-traffic shaping (clause 12 amendment to 802.1 Q)

Dieses Protokoll definiert das Verhalten eines Ausgangsports in Bezug auf die Verteilung von Datenverkehr zwischen AVB- und Nicht-AVB-Verkehr. Der Verkehr wird so geformt, daß AVB-Daten definitionsgerecht durchkommen, aber Nicht-AVB-Daten auch ihren Platz und ihrem Weg finden. Innerhalb von AVB gibt es zwei unterschiedliche Latenz-Klassen: in Klasse A beträgt die max. Latenz zwischen Sender und Empfänger 2 ms, in Klasse B bis zu 10 ms. Dieses traffic shaping ist im übrigen auch der Grund, warum ein normaler PC mit der heutigen Infrastruktur nicht ohne weiteres AVB unterstützen kann: Die Performance-Anforderungen des traffic shapings sind so hoch, daß der PC mit einer Software-basierten Implementierung ohne spezifische Hardware-Unterstützung überlastet wäre.

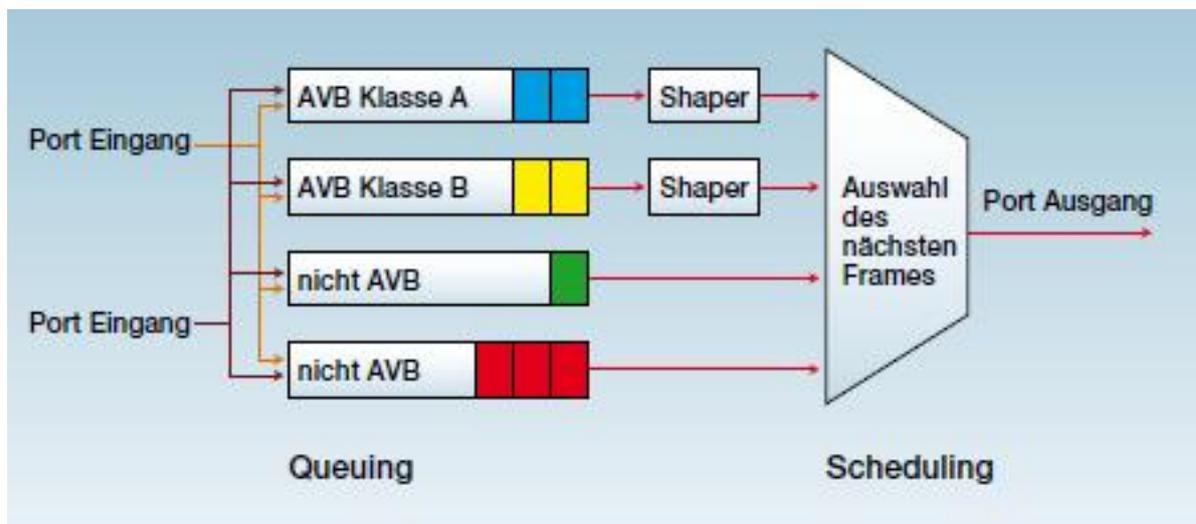


Abb. 3: Schematische Darstellung des traffic shapings nach 802.1Qat

#### 4.2.4. 1722 –Layer 2 transport protocol and payload format definition

Für dieses Protokoll wurde ein neuer Ethernet Frame Type definiert. Ein Switch kann also an dem Ethernet Frame Header erkennen, ob es sich um ein AVB-Paket handelt oder nicht. Die Payload, die definiert wurde, ist aus den bekannten Firewire-Formaten abgeleitet worden; man könnte also sagen, P1722 ist nichts anderes als Firewire über AVB-enabled Ethernet.

Ein Merkmal von P1722 ist die Presentation time, mit der der Sender festlegt, zu welchem Zeitpunkt ein bestimmtes Sample beim Empfänger ausgespielt werden soll. Beispielsweise sagt der Sender, daß in 2 ms alle empfangenden Devices das gesendete Paket ausspielen sollen. Wichtig dabei ist, daß die Media Clock aus den Streamdaten regeneriert wird. Das heißt, jeder Stream kann seine eigene Sampling Clock haben, die durch den Sender festgelegt wird. Der Empfänger muß die Sample Clock aus den empfangenen Streamdaten wieder herstellen. Die typischerweise im Rundfunkbetrieb eingesetzte House Clock, auf die alle hören, gibt es innerhalb der Standardisierung nicht. Diese kann nur dadurch emuliert werden, daß ein Sender einen Referenzdatenstrom mit der gewünschten Taktrate ins Netz schickt. Dieser Referenzstream muß von allen Sendern (und ggf. auch Empfängern) empfangen werden, die daraus wiederum ihre Abtastfrequenz generieren können (sofern dies durch die jeweilige Auslegung des Gerätes unterstützt wird).

#### 4.2.5. 1722.1 – configuration & control protocol for 1722 devices

Hier wird grundsätzlich definiert, wie ein Device sich am Netzwerk anmeldet und wie es entdeckt wird, wie die Möglichkeiten des Devices aufgelistet werden, wie der Streamaufbau läuft und wie das Device angesteuert wird. Im Moment gibt ein erstes Draft mit relativ einfachen Spezifikationen. Innerhalb der Arbeitsgruppe gibt es unterschiedliche Auffassungen über den Aufgabenumfang dieses Protokolls. Deswegen wird es voraussichtlich noch einige Zeit dauern, bis ein Ergebnis vorliegt, das als Standard veröffentlicht und genutzt werden kann.

Ein wesentlicher Mechanismus, der im Protokoll 1722.1 Verwendung findet, ist das zeroconf-Verfahren. Wenn ein Gerät an ein Netzwerk angeschlossen wird, muß es grundlegend konfiguriert werden, bevor es überhaupt am Netzwerkverkehr teilnehmen kann. Üblicherweise meldet sich ein Gerät bei einem DHCP-Server an und erhält eine freie IP-Adresse. Aber ein DHCP-Server ist unter Umständen - insbesondere in kleineren Installationen - nicht überall vorhanden. Für diese Fälle wurde das ursprünglich unter dem Namen Rendezvous (heute: Bonjour) bekannte zeroconf-Verfahren von der Firma Apple entwickelt. Bei diesem Verfahren handelt ein angestecktes Device mit anderen Devices die Netzwerkadressen aus und tauscht auch gleichzeitig die Service-Möglichkeiten aus. Dieses zeroconf-Verfahren wird als Grundlage für die Device Configuration und das Service Discovery im Rahmen von P1722.1 verwendet; es ist auch auf Windows-Rechnern verfügbar. Der Benutzer muß sich im Prinzip um nichts kümmern, er steckt das Device auf und ein anderes Device kann sehen, daß es im Netzwerk verfügbar ist und welche Dienste es anbietet (device & service discovery).

Für eine Einigung auf einen bestimmten Protokollumfang kommt allerdings erschwerend hinzu, daß einige Mitglieder der AVB-Gruppe bereits über eigene Control-Protokolle aus ihren parallel gelagerten Geschäftsbereichen verfügen: So verfügt Harman zum Beispiel über das HIQnet, und Apple verwendet großflächig das AV/C-Protokoll. Es besteht natürlich das Interesse, die bereits vorhandenen, eigenen Steuer-Protokoll auch für AVB weiter zu nutzen. Daher ist abzusehen, daß die ersten 1722-Implementierungen mit proprietären Control-Protokollen auf den Markt kommen werden.

### **4.3. Grundsätzlicher Aufbau eines AVB-basierten Systems**

Grundsätzlich gibt es in einem AVB-System einen Zeit-Grandmaster, es gibt Talker, das sind die Geräte, die einen Datenstrom senden, und es gibt Listener, die Datenströme empfangen. Diese Unterteilung ist rein funktional, auf Geräte-Ebene kann ein Talker auch gleichzeitig für andere Streams ein Listener sein und umgekehrt. Dazu wird eine Netzwerk-Infrastruktur mit seinen Switchen benötigt. Wichtig ist, daß alle Devices, die AVB sprechen wollen - also auch die Switche - die AVB-*Plumbing*-Protokolle unterstützen müssen. Diese Devices formen dann eine so genannte AVB-Wolke oder AVB-Domain. Datenströme können nur innerhalb einer solchen AVB-Wolke ausgetauscht werden.



Bei dem Beispiel in der Abbildung 5 wird ein Stereo-Stream zu den Lautsprechern geschickt. Der erste Lautsprecher hängt direkt am ersten Switch, der zweite Lautsprecher am letzten Switch. Es entsteht natürlich eine Laufzeitdifferenz im Netzwerk. Jetzt ist aber durch die Definition dafür gesorgt, daß die maximale Laufzeit 2 ms betragen darf. Dies wird durch die Festlegung der gewünschten Presentation Time durch den Sender erreicht. Das heißt, die Lautsprecher müssen die Daten unterschiedlich lang puffern (jedoch niemals länger als 2 ms), um sie zeitgleich ausspielen zu können. Das ist für den Konsumentbereich ein durchaus akzeptabler Ansatz, der das gesamte System-Design entsprechend vereinfacht.

Für den professionellen Bereich wäre es sinnvoller, wenn der Sender sich darauf beschränkt die Entstehungszeit des gesendeten Samples bekannt zu geben. So kann jeder einzelne Abnehmer bestimmen, wann er dieses Sample ausspielen möchte. Im Falle der beiden Lautsprecher müßte eine übergeordnete Instanz dafür sorgen, daß die Ausspielzeit auf einen gemeinsamen Offset festgelegt wird, der dem dynamischen Verhalten der verwendeten Netzwerkpfade gerecht wird. Die so entstehende Latenz kann somit für jeden Stream, bezogen auf den jeweiligen Endpunkt individuell sehr unterschiedlich sein. Ein Ü-Wagen möchte vielleicht mit 50 ms Latenz arbeiten. Für einen Empfänger in Mexiko sind 50 ms Latenz über eine WAN-Strecke völlig unrealistisch, aber er ist mit einer Latenz von 2 s zufrieden. Eine Latenzeinstellung ist also grundsätzlich vom Sender unabhängig und muß nicht für alle Devices gleich sein; dies ist der wesentliche Unterschied zwischen einem presentation time- und einem generation time-zentriertem Konzept.

#### **4.4. Kann AVB die Kriterien für den Einsatz im Rundfunkbereich erfüllen?**

Grundsätzlich positiv - und damit auch für die Verwendung eines AVB-basierten Systems im Rundfunkumfeld - sind folgende Eigenschaften zu bewerten:

- AVB garantiert eine fixierte Latenzzeit von 2 ms und es steht eine reservierte Bandbreite über ein Zugangskontrollsystem zur Verfügung.
- Man braucht kein dediziertes Netzwerk, das ganze System ist - basierend auf Ethernet - so gebaut, daß auch shared traffic möglich ist (im Extremfall eben mit nur 25% der Gesamtkapazität, wenn die restliche Kapazität für AVB-traffic genutzt wird).
- AVB unterstützt verschiedene Sampling-Raten und Datenformate. Die Kanalkapazität skaliert mit der Netzwerkinfrastruktur, bei einem 100 MBit Link können 75% von 100 MBit genutzt werden, bei einem 1 GBit Link entsprechend das 10-fache.
- Es ist ein offener Technologie-Standard, alle Protokolle sind bzw. werden standardisiert, die 1722 Datenformate sind Firewire kompatibel, und AVB wird von mehreren Herstellern unterstützt.
- Es findet eine in-band clock distribution statt. Jeder Stream hat seine eigene Clock. Um eine Anbindung an eine common house clock zu realisieren, muss ein Stream von einem Clock Master gesendet werden, den jedes angeschlossene Gerät empfangen und seine eigene Clock generieren muss.

Dagegen stehen aber einige Eigenschaften, die eine Verwendung im Rundfunkumfeld behindern oder gar unmöglich erscheinen lassen:

- AVB funktioniert nur innerhalb eines Ethernet-Segments. In Rundfunkanstalten gibt es typischerweise aber viele verschiedene LAN-Segmente, die überbrückt werden müssen. AVB ist momentan nicht routable, eine Übertragung über die Segmentgrenzen hinweg

ist nicht möglich. Insbesondere entfällt damit auch die Nutzbarkeit über eine WAN-Verbindung.

- Für eine AV-basierte Lösung wird eine komplett neue Netzwerkinfrastruktur benötigt, weil nicht auf die heute verfügbaren Geräte aufgesetzt werden kann. Kein heute verfügbarer Switch kann durch Firmware-Upgrade auf AVB-Fähigkeiten aufgerüstet werden.
- Die PC Integration ist nicht ohne Aufwand möglich, auch hier ist dedizierte Hardware-Unterstützung nötig.
- Nicht in den Standards spezifiziert ist eine Fail-over- bzw. Redundanz-Strategie. Wenn ein Switch ausfällt, kommt der Stream beim Empfänger eben nicht mehr an.

Fazit: Die aufgeführten Aspekte lassen eine Verwendung einer AVB-basierten Lösung im Rundfunkumfeld nur eingeschränkt möglich erscheinen. In anderen Applikationen wie beispielsweise im Live-Betrieb kann AVB dagegen sehr gut funktionieren.

## **5. RAVENNA**

### **5.1. Welche Aspekte sprechen für eine IP-basierte Lösung?**

Ein wesentlicher Aspekt ist die große Verfügbarkeit von IP-basierter Infrastruktur. IP basiert auf weltweit verfügbaren Standard-Protokollen. Es muß keine neue Technologie eingeführt werden. Sämtliche heute verfügbaren Ethernet-Switche unterstützen bereits die wesentlichen IP-basierten Protokolle, und WAN-Verbindungen werden zunehmend auf Basis von IP-Netzen realisiert. Da die Kommunikationsdienstleister in sämtlichen Bereichen weltweit auf IP-Infrastrukturen setzen, können IP-basierte Lösungen als absolut zukunftssicher eingestuft werden. Alle diese Gründe legen es nahe, IP auch als Basis für die Audiodatenübertragung zu nutzen.

### **5.2. Übersicht über RAVENNA**

RAVENNA ist eine IP-basierte Technologie zur Übertragung von echtzeit-sensitiven Mediadaten. Als eine rein IP-basierte Lösung kann RAVENNA auf den meisten existierenden Netzwerkinfrastrukturen betrieben werden. Hinsichtlich der aufgestellten Kriterien für eine Verwendung im Rundfunkbereich bietet RAVENNA folgende Eigenschaften:

- RAVENNA erreicht durch die Verwendung des Zeitübertragungsprotokolls IEEE 1588-2008 nicht nur eine Sample-genaue Synchronisierung, sondern unter bestimmten Umständen sogar eine Phasen-genaue Verteilung einer House-Clock entsprechend AES11. Die erreichbare Genauigkeit der Zeitverteilung beträgt bis zu 25 ns.
- Alle angeschlossenen Nodes, die die gleiche Zeitreferenz empfangen, können daraus identische Media-Clocks mit der stabiler und identischer Phasenbeziehung generieren. Es können verschiedene Media-Clocks und Datenformate parallel auf dem gleichen Netzwerk übertragen werden.
- RAVENNA unterstützt volle Bittransparenz für alle Formate, es gibt keine En- und Dekodierung, sondern die Daten werden mit voller Signalbandbreite im Netzwerk übertragen.

- Die Technologie unterstützt niedrige Latenzen für Echtzeit-kritische Applikationen. In bestimmten Fällen liegen diese nicht nur im einstelligen ms-Bereich, sondern sogar im Sub-ms-Bereich. Selbst das kritische InEar-Monitoring im Live-Betrieb ist mit RAVENNA möglich.
- Um einen zuverlässigen Datentransfer der Echtzeit-kritischen Mediastreams zu erreichen, wird Quality of service (QoS) verwendet. Ein standardisiertes QoS-Verfahren auf IP-Layer, das fast alle Infrastrukturen unterstützen, ist das so genannte *DiffServ*-Verfahren. Dabei erhalten die zu RAVENNA gehörenden IP-Pakete eine hohe Prioritätskennung, die die Übertragung der Mediastream-Pakete vorrangig vor allen anderen Paketen (so genannter best effort traffic) gewährleistet.
- Die Kapazität skaliert mit der darunter liegenden Netzwerkinfrastruktur. Je leistungsfähiger die Struktur ist, desto mehr Pakete können in kürzerer Zeit über eine gegebene Strecke übertragen werden, ohne daß die Technologie selbst verändert werden muß. Wenn am Backbone z. B. 10 GBit zur Verfügung stehen, können dort entsprechend viele Streams konsolidiert durch das Netzwerk geleitet werden.
- Durch die Verwendung von IP ist es auch möglich, die Daten über Netzwerksegmente hinweg zu verteilen. Man ist nicht mehr auf ein LAN-Segment begrenzt, sondern kann die Streams routen. Dies gilt auch für IP-basierte WAN-Verbindungen, sofern bestimmte Dienstgütemerkmale sicher gestellt werden können.
- RAVENNA sieht einen vollen inhärenten Netzwerkredundanz-Support vor (s. 5.4 RAVENNA Redundanz-Konzept).

### 5.3. Prinzipieller Aufbau eines RAVENNA-Netzwerks

Das Prinzip von RAVENNA ist in Abbildung 5 dargestellt.

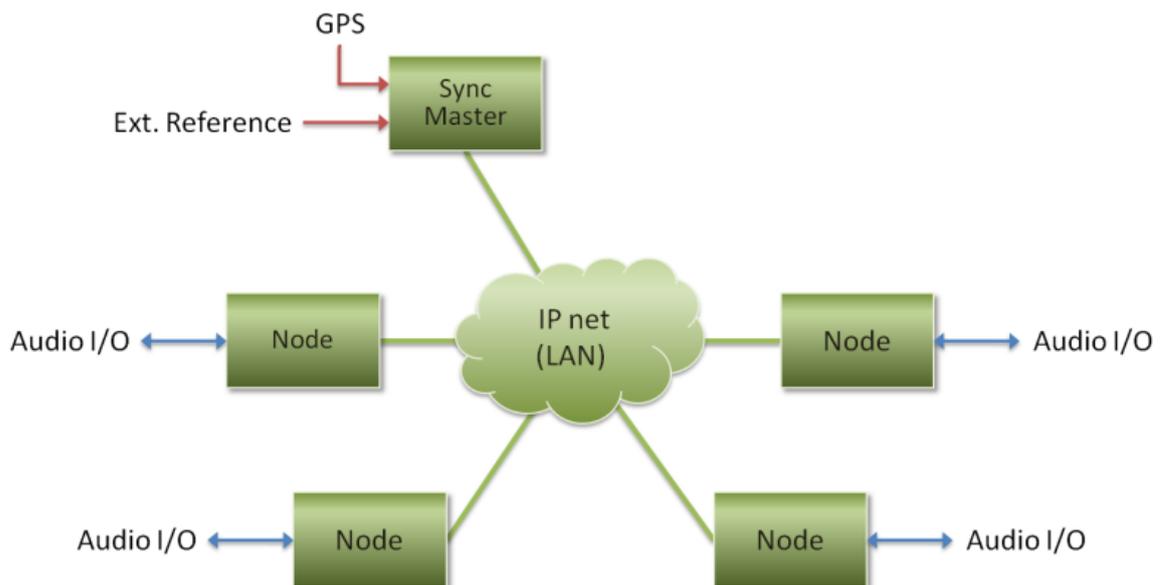


Abb. 6: Blockdiagramm eines RAVENNA-Netzwerks

Zunächst wird ein IP-Netzwerk benötigt, hier als Wolke dargestellt, auf das aber nicht Technologie-steuernd aus Sicht der Nodes zugegriffen wird, das heißt, es werden keine Link Reservation abgefragt oder Einstellungen an den Switches vorgenommen. Es werden

allerdings bestimmte Anforderungen in Form von Dienstgütemerkmalen an das Netzwerk gestellt, die der Betreiber der Infrastruktur sicher stellen muß.

Dazu werden natürlich die RAVENNA-Nodes benötigt, das sind die Geräte, die Audio- oder Video-Daten in Netzwerkpakete wandeln und umgekehrt. Dann wird noch ein Time Grandmaster benötigt, in der Abbildung als Sync Master bezeichnet. Der wird üblicherweise durch GPS als genaueste Quelle, die weltweit kommerziell zur Verfügung steht, synchronisiert. Aber auch andere externe Referenzen könnten das System takten.

Dabei wird keine Frequenzverteilung, sondern eine Zeitverteilung vorgenommen. Wenn auf GPS synchronisiert wird, hat das den großen Vorteil, daß beispielsweise ein RAVENNA-Netz in München und ein RAVENNA-Netz in New York auf Nanosekunden exakt synchron laufen. So hat ein Stream, der über eine gesicherte WAN-Verbindung von München nach New York geschickt wird, zwar eine längere Latenz, aber alle Streams sind beim Empfänger absolut synchron. Es ist bekannt, zu welchem Zeitpunkt ein Sample beim Sender erzeugt wurde. Wenn zum Beispiel eine Latenz von 200 ms eingestellt wird, dann ist sichergestellt, daß ein bestimmtes Sample exakt 200 ms nach seiner Entstehung synchron ausgespielt wird.

#### 5.4. Das RAVENNA Redundanz-Konzept

Grundsätzlich sind 2 Hauptfehlerquellen auszumachen: der Time-Grandmaster als single point of failure, und das Netzwerk selbst, das bei Ausfall einzelner Komponenten zwar grundsätzlich über die Möglichkeit verfügt, sich selbst zu heilen, was aber im Rahmen der echtzeit-sensitiven Datenstreams nicht ohne Unterbrechungen funktionieren würde.

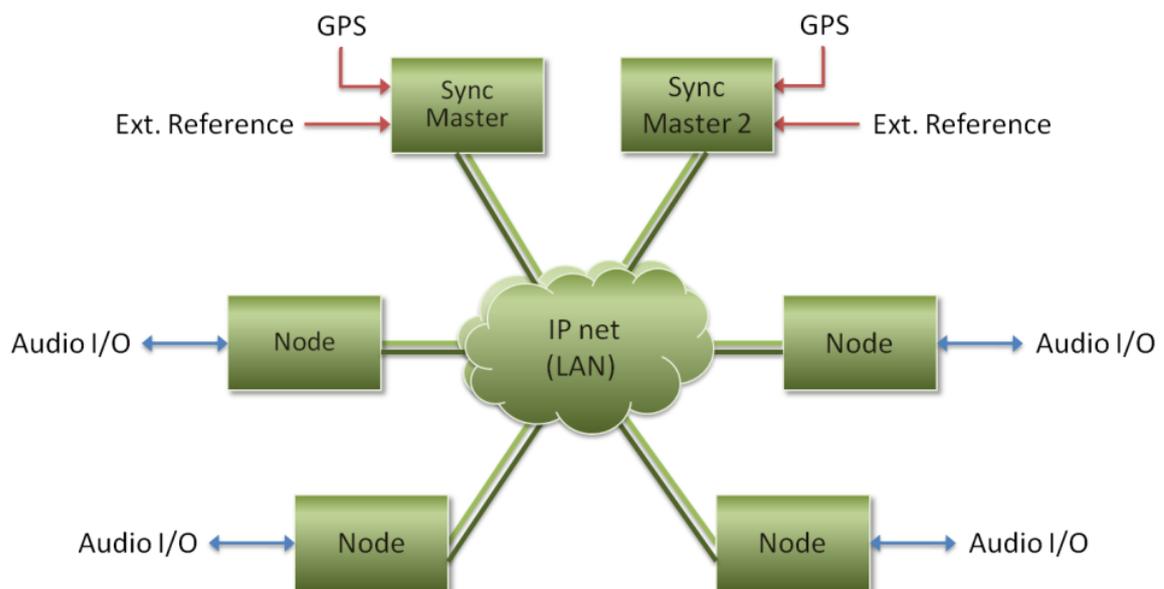


Abb. 7: Das RAVENNA Redundanz-Konzept

Zunächst kann man sicherstellen, daß der single point of failure, nämlich der Time-Grandmaster, gedoppelt im gleichen Netzwerk vorhanden ist. Dabei ist bereits im Rahmen des 1588-Protokolls dafür gesorgt, daß die Devices untereinander den gerade präzisesten Grandmaster aushandeln. Fällt dieser aus, merken das die angeschlossenen Geräte und handeln sofort einen neuen Time-Grandmaster aus. Im Extremfall kann jede einzelne Node Grandmaster-Funktionalität übernehmen. In dem Fall würde diese Node seine eigene Zeit im Netzwerk verteilen und alle anderen Nodes im Netzwerk würden dieser Zeit folgen.

Darüber hinaus kann jedes RAVENNA-Device über zwei Netzwerk-Interfaces angebunden werden. Werden zwei komplett voneinander getrennte Netzwerkinfrastrukturen aufgebaut, laufen die Datenpakete immer parallel über beide Netzwerke. Fällt ein Netzwerk aus, liegen die Daten immer noch aus dem anderen Netzwerk an. Es gibt kein klassisches Fail-over, sondern es werden immer Pakete auf beiden Netzwerksegmenten gesendet bzw. empfangen. Das Paket, das rechtzeitig ankommt, ist für die Weiterverarbeitung relevant.

### **5.5. RAVENNA - eine offene Technologie-Plattform**

RAVENNA ist eine offene Technologieplattform. Für den gesamten Datenverkehr werden ausschließlich standardisierte Protokolle verwendet. Dadurch kann RAVENNA grundsätzlich auf existierenden Netzwerkinfrastrukturen arbeiten. Darüber hinaus ist RAVENNA nicht mit einer proprietären Lizenzpolitik verknüpft. Das heißt, für RAVENNA wird eine komplette Technologie-Beschreibung veröffentlicht werden, so daß jeder interessierte Hersteller anhand der Beschreibung die RAVENNA-Technologie in seine Geräte implementieren kann. ALC NetworX definiert dabei die Technologie-Grundlagen und deren Ausprägungen, wird aber nicht als exklusiver Technologielieferant auftreten oder gar benötigt. Nur so kann die Technologie auch unabhängig von ALC NetworX existieren und weiter entwickelt werden. Um die Technik in den Markt einzuführen, wird bereits mit einem offenen Partnerschafts-Modell gearbeitet, dem sich jeder, der interessiert ist, anschließen kann. Bereits existierende Technologie-Partner sind neben ALC NetworX: Direct Out, DSA Volgmann, Genelec, Innovason, Lawo, LSB / VSMcontrol, Merging Technologies und Schoeps; zahlreiche weitere Firmen haben seit der Technologie-Vorstellung auf der letzten IBC ihr Interesse bekundet.

## **6. Zusammenfassung**

Es existiert bereits eine Reihe an Netzwerk-basierten Audiolösungen, die meisten basieren auf Layer 1 oder Layer 2 des OSI-Schichtenmodells. Sie sind meist spezifisch auf bestimmte Applikationsbereiche wie Live-Betrieb oder Festinstallationen zugeschnitten. Es handelt sich ausschließlich um proprietäre Technologien, die oft mit Lizenzmodellen verknüpft sind. Die für Broadcast-Anwendungen wichtigen Kriterien können diese Lösungen nicht in ausreichendem Maße erfüllen. AVB bietet als neuer Technologieansatz zwar eine Reihe von Vorteilen gegenüber den bestehenden Systemen, benötigt aber eine komplett neue Netzwerk-Infrastruktur. Deshalb wird sich der Einsatz von AVB auch auf die oben genannten Anwendungsbereiche beschränken. Die für Rundfunkzwecke aufgestellten Anforderungen an ein Netzwerk kann derzeit nur eine auf Layer 3 basierende, offene Technologie wie RAVENNA erfüllen.

## **7. Über den Autor**

Andreas Hildebrand ist als Senior Product Manager bei dem Entwicklungsunternehmen ALC NetworX GmbH in München tätig. Er hat seit über 20 Jahren Erfahrung im professionellen Audio- und Broadcast-Markt. Nach seinem Informatik-Studium arbeitete er viele Jahre als Software-Ingenieur und Entwicklungsleiter für deutsche und amerikanische Unternehmen.

Später war er für den Aufbau eines Nachrichtenverteilsystem bei CNN-SI / Atlanta und WNPR / Washington D.C verantwortlich. Bevor er seine Tätigkeit bei ALC NetworX aufnahm, war er über zehn Jahre leitender Produktmanager bei DAVID Systems.