



HFF
Konrad Wolf

Ethernet-basierte lokale Audionetzwerke im Vergleich hinsichtlich ihrer Technologie und Anwendungsmöglichkeiten

Bearbeitet von: Tim Altrichter
Matrikelnr.: 4905
Telefon: 0173 934 91 22
E-Mail: tim.altrichter@hff-potsdam.de
altrichter.tim@gmail.com
Studiengang: Sound
Erstgutachter: Prof. Ingo Kock
Zweitgutachter: Robert Gräf
Hochschule für Film und Fernsehen „Konrad Wolf“
Potsdam-Babelsberg, 2014

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Anfang 2014 auf dem Markt befindlichen Technologien für die digitale Mehrkanal-Audioübertragung über Ethernet. Dabei werden die Unterschiede zwischen den Technologien hinsichtlich ihrer Eigenschaften in Bezug auf verwendete Datenprotokolle bei der Verwendung hervorgehoben und erklärt. Empfehlungen für verschiedene professionelle Anwendungsfälle werden anhand dessen erläutert. Dabei sind die Kapazität, Qualität, Latenz, Kompatibilität, Redundanz und Verbreitung wichtige Parameter. Es wird ersichtlich, dass IP-basierte Technologien entscheidende Vorteile haben, wobei *Dante* von *Audinate* die momentan am weitesten verbreitete und kompatibelste Lösung ist, welche alle Parameter zufriedenstellend erfüllt und zusätzlich zu in Entwicklung befindlichen neuen Standards kompatibel sein wird. Zuletzt werden zwei Möglichkeiten von Ethernet-basierten Audio-Netzwerklösungen für ein Tonstudio zur Filmmischung am Beispiel einer Konzeption des HFF-Studios 3001 diskutiert. Diese sind *Audinate Dante* und *Waves DiGiGrid*. Weitergehende Betrachtungen sollten sich mit der Organisation von Steuerdaten und Sicherheitsaspekten gegen Manipulation und Fehlbedienung in Audionetzwerken beschäftigen.

Abstract

This thesis explains, compares and evaluates currently available technologies for multichannel audio-networking over ethernet in early 2014. Main aspects are capacity, quality, latency, compatibility, redundancy and acceptance. Technologies based on IP protocols reveal superior, especially *Dante* by *Audinate*, which meets the requirements in all relevant parameters and is accepted in a broad spectrum of manufacturers and users. Furthermore compliance with developing standards is announced. Two different possibilities for a studio-design of a mixing stage for motion pictures in studio 3001 at the HFF using *Audinate Dante* or *Waves DiGiGrid* are explained in detail. Further investigation should concentrate on organizing control data among different manufacturers or securing against unwanted manipulation in an audio network.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	1
1.1 Vorwort und Abgrenzung des Themas.....	1
1.2 Der Begriff „Netzwerk“ im Sinne dieser Arbeit.....	2
1.2.1 Datenströme.....	2
1.2.2 Audio-Netzwerke.....	2
2 Netzwerktechnik für digitale Audiodaten.....	4
2.1 Hardware.....	4
2.2 Das OSI-Modell.....	4
2.3 Netzwerk-Infrastruktur.....	6
2.4 Grundlagen der Datenstruktur.....	7
3 Übersicht über aktuell verfügbare Technologien.....	9
3.1 Technologien im OSI-Layer 1.....	9
3.1.1 A-Net Pro64 (Aviom).....	9
3.1.2 Riedel RockNet.....	10
3.1.3 AES50 (Klark Teknik / MIDAS / Behringer Music Group).....	11
3.2 Technologien im OSI-Layer 2.....	12
3.2.1 REAC (Roland Ethernet Audio).....	12
3.2.2 EtherSound (Digigram).....	13
3.2.3 CobraNet (Cirrus).....	14
3.2.4 DiGiGrid / SoundGrid (DiGiCo / Waves).....	16
3.3 Technologien im OSI-Layer 3.....	17
3.3.1 Audinate DANTE.....	18
3.3.2 AES67 / AES-X192.....	20
3.3.3 AVB (AVID).....	21
3.3.4 REVENNA.....	22
3.4 Ähnliche abzugrenzende Technologien und Systeme.....	23
3.4.1 Harman Soundcraft MADI over Ethernet.....	23
3.4.2 Voice-over-IP (VoIP).....	23
3.5 Vergleichende Betrachtungen für ausgewählte Anwendungen.....	24
3.5.1 Kapazität.....	24
3.5.2 Ausfallsicherheit und Redundanz.....	25

3.5.3 Latenz und Synchronität.....	26
3.5.4 Verbreitung.....	27
3.5.5 Zukunftschancen.....	28
3.6 Empfohlene Technologien für gebräuchliche Anwendungen.....	30
3.6.1 Aufnahmestudio Musik-, Sprecher- und Geräusche.....	30
3.6.2 Mischatelier (Orchestermusik / Film).....	30
3.6.3 Broadcasting (TV- oder Radio-Übertragungen).....	31
3.6.4 Beschallungen.....	32
4 Konzept für ein Audionetzwerk für das Studio 3001.....	33
4.1 Anforderungen und Ausgangspunkt.....	33
4.1.1 Anforderungen.....	33
4.1.2 Verschiedene Ansätze.....	34
4.2 Lösungssysteme.....	34
4.2.1 Systemdesign mit Audinate Dante.....	34
4.2.2 Systemdesign mit Waves DiGiGrid.....	37
4.3 Fazit.....	38
5 Ausblick.....	40
6 Literaturverzeichnis / Quellenangaben.....	42
7 Erklärung der Selbstständigkeit.....	46
8 Anhang.....	46
8.1 Tabellarische Übersicht der Netzwerkprotokolle.....	46
8.2 Alphabetisches Abkürzungsverzeichnis.....	47

Anmerkung

Da ein aktuelles Thema mit speziellem Blick auf aktuelle Produkte und Entwicklungen behandelt wird, werden Internetseiten als Quellen für eine wissenschaftliche Arbeit übermäßig häufig vorkommen. Dies erscheint in Anbetracht des Themas angemessen, da eine ausreichende Aktualität mit wissenschaftlichen Printmedien nicht realisierbar wäre. Um die Übersicht zu erleichtern, werden die Internetquellen daher direkt in den Fußnoten angegeben. Die verwendeten Abkürzungen werden im Anhang erläutert.

1 Einführung

1.1 Vorwort und Abgrenzung des Themas

Die Digitalisierung der Audiosignalverarbeitung und -distribution ist im Jahr 2013 weit fortgeschritten und in allen Bereichen von der professionellen Audioproduktion bis zum Konsumenten üblich. Ebenso sind leistungsfähige Computernetzwerke heutzutage allgegenwärtig und ermöglichen weltweiten Informationsaustausch über Text, Bilder und Videos. Moderne Ton- und Filmstudios arbeiten seit geraumer Zeit digital und tauschen auch große Datenmengen über Netzwerke aus.

Gleichzeitig wächst die Anzahl an geforderten und möglichen Audiokanälen von Tonstudios ständig: Kino- und Musikmischungen mit über 200 Spuren sind keine Seltenheit. Neue Spatial-Audio Wiedergabesysteme, die auf der Grundlage von Wellenfeldsynthese arbeiten, können den notwendigen Aufwand an Audiospuren noch drastisch steigern. Daher ist die Nachfrage nach Systemen, welche viele Tonspuren sicher und effizient übertragen können, groß.

Die Übertragung von analogen Audiosignalen spielt bei derart hohen Kanalzahlen kaum noch eine Rolle, da der erforderliche Materialaufwand und die Störanfälligkeit für viele Studios untragbar sind, weshalb sich in diesem Bereich die digitale Mehrkanalübertragung etabliert hat. Bisher haben vor allem Systemanbieter wie *Stagetec*, *Calrec*, *Lawo* oder ähnliche proprietäre Lösungen für professionelle Installationen mit optischen Verbindungen angeboten. Seit kürzerer Zeit jedoch kommen immer mehr Angebote auf den Markt, welche die Ethernet-Netzwerkinfrastruktur von Computernetzwerken für die Mehrkanal-Audioübertragung benutzen. Sie sind (insbesondere für die HFF) interessant, da sie relativ kostengünstige und oft schon vorhandene Infrastruktur nutzen können. Zwar sind optische Übertragungen deutlich leistungsfähiger, was die Bandbreite und die Leitungslängen betrifft, jedoch auch deutlich teurer und weniger verbreitet. Die Installations- und Wartungskosten von Ethernet-Netzwerken sind äußerst niedrig und die Infrastruktur kann durch die weite Verbreitung vielfach wiederverwendet werden.

Im Folgenden möchte ich verbreitete Ethernet-basierte Audionetzwerklösungen vor-

stellen, die verwendeten Technologien vergleichen, voneinander abgrenzen und bewerten, um schließlich Empfehlungen für verschiedene Anwendungen, besonders im Hinblick auf die Nutzung in der HFF, auszusprechen.

Zum Verständnis der Arbeit werden grundlegende Kenntnisse der digitalen Audiosignalverarbeitung und deren fachspezifischer Terminologie vorausgesetzt.

1.2 Der Begriff „Netzwerk“ im Sinne dieser Arbeit

1.2.1 Datenströme

Ein Audio-Datenprotokoll, welches lediglich Audioinformationen von einem Sender zu einem Empfänger überträgt, ist kein Netzwerk, sondern ein Datenstrom. Hierzu zählen AES/EBU (AES3), ADAT, MADI (AES10), TDIF oder in diesem Sinne sogar analoge Signalleitungen. Der Gewinn der Digitalisierung ist bei der Anwendung dieser Protokolle lediglich ein geringer Aufwand an Kabelmaterial und/oder Steckkontakten sowie geringere Qualitätsverluste bei langen Leitungswegen.

Keineswegs sind diese Schnittstellen schlechte oder veraltete Schnittstellen, solange man sich der Grenzen bewusst ist. Teilweise sind auch mit MADI netzwerkähnliche Strukturen herzustellen, indem Splitter das Signal verteilen und einzelne Geräte ausgewählte Kanäle im Datenstrom austauschen und alle anderen weiterleiten. Jedoch kann dann jeder Klient des Datenstroms nur diese Kanäle auslesen, die der vorherige Klient einspeist und weiterleitet, ein Zugriff auf andere, vorher oder nachher im Datenstrom enthaltene Audiosignale ist nicht möglich. Besonders RME¹, SSL² und Harman Soundcraft³ setzen auf diese Technologie und bieten leistungsfähige MADI Geräte, wie z.B. Computerinterfaces, Mischpulte, Wandler oder Matrix-Router, die viele MADI-Datenströme verwalten können, an.

1.2.2 Audio-Netzwerke

Im Sinne der vorliegenden Arbeit kann ein Audio-Netzwerk mindestens 32 Kanäle Audiodaten in Studio-Qualität (unkomprimiert, mind. 48 kHz und 24 Bit) zwischen mehreren Netzwerkteilnehmern verteilen und dabei auch größere Strecken (bis

1 z.B. MADIface, OctaMic XTC, HDSPe MADI u.v.m.; <http://www.rme-audio.de/products.php>

2 z.B. MadiXtreme, Alphalink-Interfaces, MadiX8; <http://www.solidstatelogic.com/music/>; SSL Live; <http://www2.solidstatelogic.com/live/local-io#&panel1-1&panel2-1>

3 Harman Soundcraft Vi Mischpulte und zugehörige Stageboxen; http://www.soundcraft.com/products/product_cat.aspx?cat=2

100m) ohne Qualitätsverluste überbrücken. Ein programmierbares Kanalrouting zwischen den Teilnehmern des Netzwerkes ohne physikalisches Umstecken von Leitungen sollte ebenfalls möglich sein.

Wichtige Kriterien zur Bewertung eines Audionetzwerks sind die **Kapazität** (maximale Anzahl an Audiokanälen), die **Flexibilität** (Einbindung neuer Geräte, skalierbarkeit), die **Sicherheit** (Möglichkeiten zur Einrichtung von Redundanz), die **Kompatibilität** mit vorhandener Hardware und Geräten anderer Hersteller und die **Latenz** (Verarbeitungsgeschwindigkeit der digitalen Signalstrecke).

2 Netzwerktechnik für digitale Audiodaten

2.1 Hardware

Für die zu betrachteten Audio-Netzwerke wird „twisted pair“ Kupferkabel verwendet, welches mindestens der Norm CAT 5 oder besser entsprechen muss. Hierbei enthält ein Kabel vier Paare von verdrehten Leitungen, welche jeweils ein symmetrisches, hochfrequentes Digitalsignal übertragen. Eine zusätzliche Schirmung des Kabels ist vorteilhaft, jedoch nicht vorgeschrieben⁴. Zwei Leitungspaare sind richtungsgebunden (Up- und Downstream) und die verbleibenden zwei werden je nach Bedarf für eine der beiden Richtungen verwendet. Als Steckverbinder sind RJ-45 „Western“ Stecker vorgesehen. Vor allem an Geräten, die für den mobilen Einsatz vorgesehen sind, wird oft durch einen Zusatz des Herstellers *Neutrik* der sonst relativ empfindliche Plastik-Stecker mit einer Metallhülle und einer stabilen Zugentlastung versehen, die Steckverbindung heißt dann *EtherCON*⁵.

Ethernet-Hardware stellt die Grundlage aller betrachteten Audio-Netzwerkssysteme dar. Die Systeme unterscheiden sich jedoch deutlich darin, auf welcher Ebene der Netzwerkstruktur sie arbeiten, daher wird diese im Folgenden erläutert.

2.2 Das OSI-Modell

Das OSI Modell (Open Systems Interconnection) beschreibt die Datenstruktur von heutigen Computernetzwerken vom elektrischen Strom im Kabel bis hin zur fertig angezeigten E-Mail in sieben Schichten.⁶ Das OSI Modell legt nicht fest, welche Datenprotokolle in den einzelnen Schichten verwendet werden, sondern beschreibt die hierarchischen Ebenen, die für einen reibungslosen und sicheren Betrieb eines Computernetzwerks nötig sind. Dabei sind jeder Schicht (*Layer*) besondere Aufgaben zugewiesen.

OSI-Layer 1 beschreibt die physikalische Verbindung zwischen zwei Geräten im Netzwerk, somit also die elektrisch übertragenen Daten-Bits ohne Verweise auf deren Struktur oder Inhalt.

4 Tanenbaum, S.291ff

5 <http://www.neutrik.de/de-de/ethercon/>, die CAT5 Variante wird ausschließlich benutzt

6 Tanenbaum, S.41ff

OSI-Layer 2 beinhaltet Algorithmen zur Fehlererkennung und -korrektur sowie die Organisation der Daten in *Frames* (kleine Bitgruppen). Die Hardware-Adressierung mit *MAC*-Adressen dient in dieser Schicht zur Kommunikation zwischen direkt verbundenen Geräten. Des Weiteren findet auch ein Teil der Bandbreitenverwaltung hier statt. OSI-Layer 1 und 2 beschreiben die Grundlagen von Ethernet.

OSI-Layer 3 enthält die Adressfunktion *IP* (weltweite Adressierung von Internet-Teilnehmern) und wickelt die Zuordnung von Datenpaketen (mehrere *Frames*) vom Sender zum Empfänger, auch über verschiedene Netzwerke hinweg, ab. Ebenso werden in diesem Layer Bandbreiten verwaltet und Prioritäten vergeben sowie ausgefallene Geräte erkannt und wenn möglich umgangen.

OSI-Layer 4 ist die erste Ebene, die mit dem eigentlichen Dateninhalt in Berührung kommt, da hier das Übertragungsprotokoll zwischen den kommunizierenden Anwendungen verhandelt wird, zum Beispiel ob ein paketorientierter (z.B. TCP↓; Webseiten, Dateien) mit flexibler Bandbreite oder ein Streaming-orientierter (z.B. UDP↓) Datenstrom mit fester Bandbreite genutzt werden soll.

Die OSI-Layer 5 bis 7 behandeln inhaltsbezogene Regelungen zu Datenorganisation und -kompression und sind für die weiteren Betrachtungen uninteressant.

Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern findet ausschließlich auf einer jeweils gleichen OSI-Ebene statt. Daten können auch nur zwischen angrenzenden Schichten ausgetauscht werden – Protokolle kommunizieren ausschließlich mit der nächst höheren und tieferen Ebene. Alles, was auf anderen Ebenen passiert ist für die Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern auf einer Ebene irrelevant, da die Daten aus der Sicht eines Programmes in einem bestimmten Layer lediglich an die nächst tiefere Ebene gegeben, verpackt, weitergeleitet und wieder entpackt werden. Analog dazu werden Daten aus höheren Ebenen nicht ausgelesen, sondern nur entsprechend ihrer Eigenschaften (Größe, Informationen zum Datentyp) weitergeleitet und mit zusätzlichen Informationen versehen. Wenn zum Beispiel eine Anwendung aus einer höheren Schicht Daten verschicken möchte, gibt es die Daten an den Layer 4 mit der Information „verschicke als UDP an X“ weiter. Layer 4 teilt die Daten in entsprechende Blöcke und versieht sie mit einem Label „UDP“ und reicht sie dann an den Layer 3

weiter, welcher „Empfänger X“ in eine IP-Adresse übersetzt und die Blöcke mit der IP-Adresse versieht und dann an den Layer 2 weiter reicht. Dieser wiederum übersetzt die IP-Adresse in die jeweils nächstgelegenen MAC-Adressen, die über verschiedene Switches und Router zur entsprechenden IP-Adresse führen, und reicht es an den Layer 1 weiter, der die Blöcke zu Paketen zusammenfasst, mit CRC-Prüfsummen⁷ versieht und dann als elektrischen Datenstrom in das Netzwerk einspeist. Die Nutzdaten haben zu diesem Zeitpunkt mehr als vier verschiedene „Behälter“ und „Beschriftungen“ für die Weiterleitung und Zuordnung im Netzwerk erhalten. (siehe Abb.1, siehe 2.4 ↓)

2.3 Netzwerk-Infrastruktur

Da das Verbinden von mehr als zwei Teilnehmern die Grundvoraussetzung für den Aufbau eines Netzwerks ist, kommt den verbindenden Elementen eine besondere Bedeutung zu. Bei Ethernet-Netzwerken handelt es sich hierbei nicht nur um die Kabel, sondern im Besonderen um *Hubs*, *Switches* und *Router*. Alle diese Geräte verknüpfen verschiedene Netzwerkteilnehmer miteinander, jedoch auf verschiedene Art und Weise.

Ein **Hub** setzt auf der Hardwareebene an (OSI 1), da er nicht ins Signal eingreift, sondern lediglich das Signal verstärkt und mehrere Geräte verbindet. Der einzige Unterschied zwischen einem Hub und direkt verbundenen Kabeln ist die elektrische Entkopplung durch einfache Aufholverstärker, die Kabelverluste ausgleichen. Alle Geräte, die mit einem Hub verbunden sind, teilen sich die verfügbare Netzwerkbandbreite und erhalten immer exakt die gleichen Informationen.

Die Verbindung von Computern über einen einfachen gemeinsamen Datenstrang stellt den Ursprung der Ethernet-Technologie dar. Die ersten Netzwerke wurden derart realisiert, dass alle Computer über einen gemeinsamen, koaxialen Leiter verbunden wurden (den „Äther“), auf dem alle Teilnehmer senden und empfangen konnten, jedoch konnte nur immer ein Teilnehmer gleichzeitig senden, weshalb die Bandbreite mit 10MBit/s sehr gering ausfiel.

Ein **Switch** hingegen analysiert auf OSI-Ebene 2 die Hardware-Adressen (MAC)

⁷ CRC – cyclic redundancy check, eine gebräuchliche Technik, um Fehler bei einer binären Datenübertragung mithilfe eines Prüfpolynoms und einer einfachen Division zu erkennen

von Sender und Empfänger eines Datenpaketes und leitet dieses dann nur auf dem der Adresse zugehörigen Anschluss weiter. Switches verwalten dadurch die verfügbare Bandbreite zwischen den verschiedenen Teilnehmern. Sogenannte *managed switches*, welche auch Informationen aus der OSI-Ebene 3 auslesen und verarbeiten können, erweitern die Funktionalität um z.B. das Blockieren von Ports oder die Priorisierung (*Quality of Service*) von Datenpaketen zu ermöglichen. Die Priorisierung ist vor allem für die Übertragung von Datenströmen, deren zeitlicher Ablauf von Bedeutung ist, relevant. Solche Datenströme sind in erster Linie Synchronisationsdaten, aber auch Audio- oder Videoverbindungen, welche in Echtzeit, also mit möglichst geringer Verzögerung, erfolgen sollen.

Router verfügen über die gleiche Funktionalität wie Layer-3-Switches und darüber hinaus dienen sie dazu, ein Ethernet-Netzwerk mit Netzwerken eines anderen physikalischen Typs, wie z.B. dem Internet oder einem kabellosen Netzwerk, zu verbinden. Router arbeiten grundsätzlich auf OSI-Ebene 3 und mit IP-Adressen.

2.4 Grundlagen der Datenstruktur

Daten werden bei Ethernet in Paketen übertragen, wobei die Größe des Paketes je nach Übertragungsprotokoll unterschiedlich sein kann, jedoch können maximal 1500 Bytes (= 12 kBit) Nutzdaten enthalten sein. Jedes Paket wird mit einer Ziel- und Quelladresse versehen und dann verschickt, wobei die Adressierung auf verschiedenen Ebenen erfolgt. Die Adressierung mit MAC-Adressen ist obligatorisch, um ein Paket von einem zu einem anderen Gerät zu übertragen. Das am häufigsten verwendete Protokoll ist TCP/IP, welches für Webseiten und Datentransfer im Internet verwendet wird⁸. Dabei benennt IP den Empfänger mit 32 Bit IPv4-Adressen und TCP den Übertragungstyp. Gebräuchlich ist neben TCP auch UDP. Der wichtigste Unterschied zwischen TCP und UDP liegt darin, dass eine Übertragung mit TCP erst dann abgeschlossen ist, wenn der Empfänger den korrekten Empfang aller Datenpakete bestätigt hat, bei UDP hingegen wird der Empfang nicht bestätigt⁹. Vor allem der Umstand, dass fehlende oder fehlerhafte Pakete erneut übertragen werden können, macht TCP ideal für Dateiübertragungen, bei denen alle Daten korrekt ankommen

⁸ Tanenbaum, S. 198

⁹ Tanenbaum, S. 541ff

müssen und der Ankunftszeitpunkt keine Rolle spielt. UDP hingegen wurde explizit für Übertragungen in Echtzeit entwickelt, sodass Pakete, die nicht, nicht rechtzeitig oder fehlerhaft ankommen, verworfen werden, da der Ankunftszeitpunkt relevant ist und verzögerte Pakete nicht mehr verwendet werden können. Auf eine detaillierte Erklärung der Protokolle wird hier verzichtet, da dies für die weiteren Betrachtungen nicht relevant ist.

MAC-Adressen haben eine Länge von 48 Bit und sind jeweils einem einzigen Gerät eindeutig und dauerhaft in der Hardware zur Identifikation auf dem OSI-Layer 2 zugeteilt. Um den Datenverkehr zu strukturieren, sind einige Adressen dafür reserviert, bestimmte Gruppen von Empfängern (*Multicast*) oder alle Empfänger (*Broadcast*) anzusprechen, wobei die einzelnen Teilnehmer dann auch durch IP-Adressen in OSI-Layer 3 definiert werden können. Broadcast-Daten blockieren im Gegensatz zu Uni- (ein Empfänger) oder Multicast relativ viel Netzwerkbandbreite, weshalb Uni- und Multicast generell vorzuziehen sind, um die Vorteile eines Switched Ethernet nutzen zu können. Das Senden aller Daten im Broadcast-Modus ähnelt einem unregelmäßigem, klassischen Ethernet. Wenn ein neuer Teilnehmer dem Netzwerk beitrifft, meldet dieser sich per einmaligem Broadcast mit seiner MAC-Adresse bei allen lokalen Switches und Routern an, welche diese MAC-Adresse dann speichern und einem Ausgangspfad zuordnen, um ankommende Pakete dorthin weiter zu leiten.

Prinzipiell ist die Art der Datenübertragung bei Ethernet relativ ungünstig für Datenstrom-orientierte Aufgaben wie die Audioübertragung, da bei TCP und UDP nie sichergestellt werden kann, dass die verschickten Datenpakete in derselben Reihenfolge beim Empfänger ankommen, da durch zusätzlichen unregelmäßigen Datenverkehr Pakete unterschiedlich verzögert werden können. Diese Probleme müssen durch Pufferspeicher, welche den Datenstrom trotz solcher Unregelmäßigkeiten am Ausgang konstant halten, ausgeglichen werden. Je unempfindlicher dieser Ausgang gegen Störungen und hohe Netzwerkauslastung sein soll, desto größer muss der Pufferspeicher sein, womit gleichzeitig die Zeit, die für die Übertragung insgesamt benötigt wird, ansteigt. Ein Netzwerk ist jedoch auch stabiler, wenn die Auslastung relativ gering ist, weshalb Netzwerke mit hoher Bandbreite, also Gigabit-Ethernet (und zukünftig immer öfter 10-Gigabit-Ethernet), kürzere Pufferspeicher und damit

auch schnellere Übertragungen erlauben.

Für die Übertragung von kontinuierlichen Datenströmen in IP-basiertem Ethernet wird das Realtime Transport Protocol (RTP) und für die Synchronisation das Precision Time Protocol (PTP) verwendet. Das RTP gliedert sich hierbei im vierten Layer ein. Ein kompletter übertragener Daten-Frame hat schlussendlich folgende Struktur:

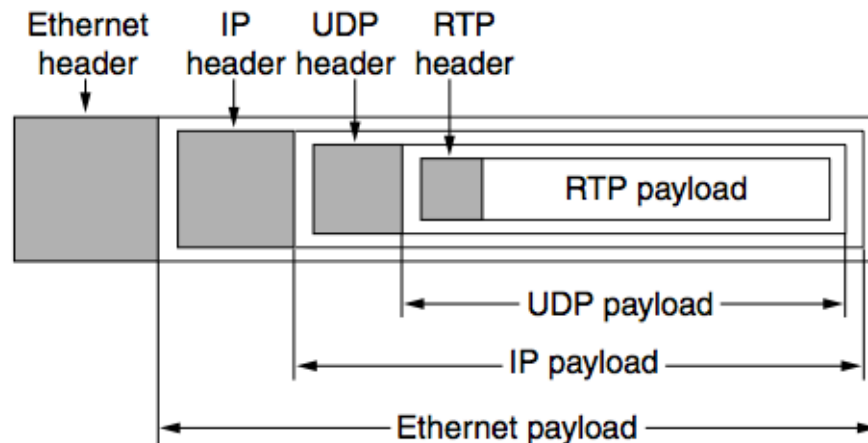


Abbildung 1: Struktur eines Ethernet Frames bei UDP/IP mit RTP; Quelle: Tanenbaum S.547

Bei der in der Abbildung genannten RTP payload handelt es sich um die Audiodaten für Technologien auf OSI-Layer 3. Für Systeme auf OSI-Layer 2 entfallen der IP-, UDP- und RTP-header, im Layer 1 werden gänzlich andere (eigene) Datenformate verwendet.

3 Übersicht über aktuell verfügbare Technologien

3.1 Technologien im OSI-Layer 1

Systeme, die im Layer 1 aufgebaut sind, nutzen lediglich teilweise die gleiche Ethernet-Hardware wie IT-Netzwerke und arbeiten auf dieser Hardware mit spezifischen eigenen Datenprotokollen. Router werden nicht, Switches und Hubs in beschränktem Umfang unterstützt.

3.1.1 A-Net Pro64 (Aviom)

Avioms Netzwerklösung bietet 64 Audiokanäle („Slots“ genannt) bei allen gebräuchlichen Samplingfrequenzen und 24 Bit Auflösung.¹⁰

¹⁰ <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Design.php>

Als Verknüpfungstopografie sind sowohl Reihen als auch Sterne und Mischungen möglich, die nur mit proprietären Hubs zu realisieren sind. Die Geräteadressierung erfolgt automatisch, wobei hardwareseitig ein Netzwerk-Master definiert werden muss. Alle anderen Einstellungen, wie z.B. die Zuweisung von Audioanschlüssen auf Netzwerk-Slots, erfolgen entweder an den jeweiligen Geräten oder über einen in das Netzwerk eingebundenen Windows-Computer mit der Steuersoftware „Pro64 Network Manager“. Alternativ kann dafür auch eine eigene Fernsteuerung (Hardware-Gerät) genutzt werden, die es ermöglicht, ohne Computer zu arbeiten.¹¹

Übertragungslatenzen bleiben im A-Net in jedem Fall unter einer Millisekunde.

3.1.2 Riedel RockNet

Riedel Communications bietet sein System in zwei bedingt kompatiblen¹² Varianten an: RockNet 100 (80 Audiokanäle, bis 48kHz) und RockNet 300 (160 Audiokanäle, bis 96kHz).¹³

Die Eingänge werden hardwareseitig manuell einer Kanalnummer zugeordnet und können über diese an jedem Punkt des Netzwerks wieder abgegriffen werden. Diese Zuweisung kann über eine PC-Applikation ferngesteuert werden, wobei ein gesondertes Netzwerk (herkömmliches 10/100 Base-T Computernetzwerk) verwendet werden muss. Jede Einheit hat somit drei RJ-45 Anschlüsse: RockNet IN, Rocknet OUT und das Steuernetzwerk. IN und OUT sollen zu einem geschlossenen Ring verbunden werden, um im Falle eines Verbindungsabbruches die die jeweils andere Verbindung nutzen zu können. Somit nutzt das System eine vollständig bidirektionale (und dadurch redundante) Ringtopologie. RockNet erlaubt eine maximale Anzahl von 99 Geräten im Netzwerk bei einer Gesamt-Kabellänge von 10 km, bei max. 150 m zwischen zwei Geräten (mit CAT5e Kabel). Bei der Verwendung von Glasfaserkabeln mithilfe proprietärer Adapter lässt sich diese Distanz auf bis 20 km zwischen zwei Geräten verlängern.

Neben Interfaces für analoge Audiosignale gibt es auch digitale Interfaces für AES/EBU-Schnittstellen und MADI sowie Adapterkarten für gängige digitale Live-

11 http://www.aviom.com/library/User-Guides/93_6416m-RCI-MCS-User-Guide.pdf

12 Nur bei Betrieb in 48kHz

13 http://www.riedel.net/LinkClick.aspx?link=Downloads%2fBroschures%2fRiedel_RockNet_DE.pdf

Mischpulte von Yamaha oder Soundcraft.

Es wird eine Gesamtlatenz vom analogen Eingangs- zum Ausgangssignal von unter einer Millisekunde garantiert.

3.1.3 AES50 (Klark Teknik / MIDAS / Behringer Music Group)

Der AES50 Standard wird unter verschiedenen Bezeichnungen vermarktet: SuperMAC und HyperMAC, wobei HyperMAC zusätzliche, nicht standardisierte Funktionen mit implementiert und somit, im Gegensatz zu SuperMAC, nicht vollständig AES50 kompatibel ist. Betrachtet wird der weiter verbreitete SuperMAC/AES50 Standard.

Der AES50 Standard ist keine echte Netzwerktechnologie. Es wird zwar die Hardware der Ethernet-Technologie verwendet, indem mehrere AES3-Audiodatenströme in Ethernet Frames verpackt werden,¹⁴ jedoch werden nur einfache Point-to-Point Verbindungen hergestellt (somit ist AES50 dem AES10 / MADI Standard sehr ähnlich). Zwar wird eine Adressierung der Geräte mit MAC-Adressen gemäß der Ethernet-Standards vorgenommen, jedoch dient diese nur zur Übermittlung von Steuerdaten und ist für die Audioübertragung irrelevant¹⁵. Die Verwendung von herkömmlichen Netzwerk Hubs oder Switches ist nicht möglich.¹⁶ Die meisten Geräte bieten jedoch mehrere AES50 Anschlüsse, wodurch eine Netzwerkfunktionalität mit durchdachtem Routing erreicht werden kann. Zusätzlich ist es im Standard auch vorgesehen, bis zu 5 MBit/s an herkömmlichem IP Ethernet (Layer 3) mit geringer Priorität gemeinsam mit den Audiodaten zu übertragen, wobei dies nur durch AES50 fähige Geräte geschehen kann. Unter diesen wird dadurch eine echte Netzwerkkommunikation und somit weitreichende Fernsteuerung und Automation ermöglicht. Die Implementierung dessen besteht jedoch momentan vorwiegend darin, die Mikrofonvorverstärkung zu regeln.¹⁷

14 Siehe AES50 Norm, „6 Frame Payload Format“ (Seitenangabe je nach Ausgabe unterschiedlich)

15 Siehe AES50 Norm, „5.2 Frame Structure (MAC compatibility)“

16 MIDAS bietet Switches an, diese ermöglichen Redundanz, jedoch nur in Verbindung mit MIDAS Stageboxen und Mischpulten, siehe auch: http://www.aes-media.org/sections/uk/Conf2011/Presentation_PDFs/07%20-%20AI%20Walker%20-%20Applications%20in%20Live%20Convert%20Sound.pdf, Seite 19ff

17 Remote Gain Control bei Behringer S16 (<http://www.behringer.com/EN/Products/S16.aspx>) und MIDAS Stageboxen (Bsp.: http://www.midasconsoles.com/assets/DL153_PID.pdf)

Generell werden bis zu 48 Kanäle in beide Richtungen bei 44,1 oder 48 kHz und 24 Bit unterstützt. Doppelte Samplingfrequenzen sind durch die Aufteilung der Samples auf mehrere Kanäle möglich; erfordern also eine Halbierung der Kanalzahl. Außerdem wird neben herkömmlichem PCM Audio auch das Bitstream Format (auch als Direct Stream Digital / DSD bekannt), welches mit einer Samplingfrequenz von 2,8 MHz bei einer Bit Auflösung arbeitet, mit bis zu 24 Kanälen bidirektional unterstützt. Als Besonderheit werden generell nur zwei der vier Aderpaare für die Signalübertragung genutzt, die verbleibenden beiden Paare dienen zur Übertragung von Synchronisationsinformationen (Samplingfrequenz, Wordclock, Audioformat PCM/Bitstream) in beide Richtungen.

Mit dieser Technologie werden extrem kurze Latenzzeiten von 3 Samples (entspricht 0,07 ms; reine Übertragungslatenz) bei einer Abtastrate von 48 kHz garantiert.¹⁸

Aktuell findet der AES50 Standard wachsende Verbreitung durch dessen Verwendung im extrem preisgünstigen Mischpultsystem von *Behringer*, bestehend aus den X32 Digitalpulten und den zugehörigen Stageboxen und Monitoringstationen.

3.2 Technologien im OSI-Layer 2

3.2.1 REAC (Roland Ethernet Audio)

Das REAC System von Roland bietet je CAT5e-Verbindung 40 Audiokanäle, aus welchen Hin- und Rückwege aufgeteilt werden, sowie zusätzliche MIDI Kanäle und Steuerdaten für Mikrofonvorverstärker. Diese können bei voller Kanalzahl bis 96 kHz und 24 Bit genutzt werden.¹⁹ Vorgesehen sind vor allem Systeme, die als direkter Ersatz für analoge Verbindungen (Analog ↔ REAC ↔ Analog) oder als Zuleitungen für die hauseigenen Mischpulte dienen. Ketten- oder Ringtopologien werden nicht unterstützt; die Verwendung mehrerer Geräte ist durch Hubs zu realisieren. Eine direkte Einbindung von Computern ist zur Fernsteuerung des Systems und zur Audioübertragung mit herkömmlichen Netzwerkkarten (100Mbit/s) möglich, wobei ausschließlich Windows Systeme mit der *Sonar* Sequenzer Software des gleichen Herstellers unterstützt werden.²⁰ Auch die Verwendung herkömmlicher Ethernet-

18 Alle Informationen aus dem AES50-2005 Standard

19 <http://www.rolandsystemsgroup.net/en/0111d.htm>

20 <http://www.rolandsystemsgroup.eu/files/products/V-MixingSystemHandbook.pdf>, S. 10ff

Hubs ist möglich, um die Audiodaten an mehrere Empfänger zu verteilen, wobei jedes Gerät hardwareseitig als Master, Slave oder Split definiert werden muss, womit Synchronisationseinstellungen und Zugriffsberechtigungen auf Einstellungen priorisiert werden.²¹

Redundanz wird durch ein optionales *Auxiliary* Netzwerk erreicht: Jedes REAC Gerät besitzt einen MAIN- und einen AUX-Anschluss, wobei der AUX-Anschluss nur bei Ausfall des MAIN-Anschlusses genutzt wird. Die Firma Roland garantiert eine Übertragungs-Latenz von weniger als 0,4 ms bei voller Übertragungsqualität.²²

Die Produktpalette reicht von analogen Stageboxen in verschiedenen Kanalzahlen über Netzwerk-Hubs und -Merger (Zusammenfassen von verschiedenen REAC Geräten auf eine Netzwerkleitung) bis hin zu Monitor-Kompaktmischpulten für Musiker und MADI-REAC Wandlern. Eine Integration von Hardware oder Software anderer Hersteller als Roland in dieses System ist nur über analoge Audioleitungen oder MADI möglich.

3.2.2 *EtherSound (Digigram)*

EtherSound gibt es in zwei Ausführungen: ES-100 und ES-Giga, welche den Ethernet-Standards mit 100 bzw. 1000 MB/s entsprechen. In einem ES-100 Netzwerk können 64, in einem ES-Giga Netzwerk 256 Audiokanäle bidirektional übertragen werden, wobei von 24 Bit und 48 oder 44,1 kHz PCM ausgegangen wird. Vielfache der Samplingfrequenz sind durch entsprechende Division der Kanalzahlen möglich, auch im gemischten Betrieb. Beide Varianten benötigen ein dediziertes Netzwerk (ggf. auch ein eigenes virtuelles 100MB/s LAN innerhalb eines 1000MB/s Netzwerks), getrennt von Internet- oder Datenübertragungen, erlauben jedoch einen begrenzten Anteil an herkömmlichem TCP/IP Datenverkehr, der auch zur Steuerung der EtherSound-Geräte genutzt wird.²³

Bei der Verknüpfung verschiedener EtherSound-Geräte sind einfache Verkettungen (Vollduplex, ohne Redundanz) oder Ringe (mit Redundanz) genauso möglich wie gemischte Topologien mit Hubs und Switches (nur im Layer 2 arbeitende), wobei nur

21 Selbiges, S. 4

22 Siehe Quelle 14

23 <http://www.ethersound.com/download/files/cutsheetES100.pdf>;
<http://www.ethersound.com/download/files/cutsheetESgiga.pdf>

im Fall von Verkettungen und Ringen alle Audiokanäle an jedem Punkt des Netzwerkes verfügbar sind. Bei Sterntopologien mit Switches ist die Reihenfolge der Geräte entscheidend, da Audiokanäle nur in der Richtung zum Switch hinter dem sendenden Gerät verfügbar sind. Redundanz ist nur mit einer Ringtopologie umzusetzen.

Es ist mit EtherSound möglich, bis zu 64 Audiokanäle bidirektional über einen Ethernet-Port in einen oder aus einem Computer zu übertragen. Dazu ist ein zwischen EtherSound und dem ASIO-Interface übersetzender Switch (der von *AuviTran* oder *Digigram* angeboten wird) und eine spezielle Interface-Software notwendig. Diese wird von *AuviTran* vertrieben und unterstützt bis zu 64 Kanäle.²⁴ Daneben werden jedoch auch spezialisierte Netzwerk-PCI-Karten angeboten, welche diese Funktion in einem PC integrieren können. Apple Computer werden nicht unterstützt. Die Konfiguration von EtherSound-Geräten ist ebenfalls über einen in das Netzwerk eingebundenen Computer mithilfe eines kostenlosen Windows-Programmes möglich. Analoge und digitale Audio-Interfaces sind von mehreren Herstellern erhältlich (bisher kein MADI-Interface); Adapterkarten für etablierte digitale Mischpulte von z.B. Yamaha, Soundcraft oder Allen&Heath werden ebenfalls angeboten.

EtherSound arbeitet mit festgelegten Latenzen, wobei immer fünf Samples Übertragungslatenz auftreten (ca. 105 μ s) und jedes in einer Kette befindliche Gerät zusätzliche 1,4 μ s hinzufügt. Somit kommt eine vollständige Übertragungskette von einem analogen Eingangs- zu einem analogen Ausgangssignal auf eine Verzögerung von maximal 2 ms, wobei der Großteil davon auf die A/D und D/A Wandlung entfällt.²⁵

3.2.3 *CobraNet (Cirrus)*

CobraNet arbeitet komplett auf dem Layer 2 und adressiert direkt mittels MAC-Adressen entweder als Uni- oder Multicast die Audiodatenpakete Ethernet kompatibel und kann so jede 100 / 1000 Mbit/s Ethernet-Hardware auch neben anderem Datenverkehr benutzen. Bei der Nutzung eines Netzwerkes, das nur mit Hubs verknüpft wird, also kein Switched Ethernet und damit nicht voll duplexfähig ist, verhindert das feste Zeitprotokoll gezielt Kollisionen von gleichzeitig gesendeten Datenpaketen.

24 <http://www.ethersound.com/products/product.php> (Übersicht)

<http://www.auvitran.com/w2/index.php?page=avs-asio> (Software)

25 <http://www.ethersound.com/download/files/EtherSoundTechnology.pdf>

Hubs und Switches dürfen in einem Netzwerk für CobraNet nicht gemischt verwendet werden. In diesem Fall darf kein anderer Datenverkehr im gleichen Netzwerk stattfinden und die Gesamtkanalzahl beträgt maximal 64 im gesamten Netzwerk. Auch bei der Verwendung von Switched Fast Ethernet können nicht mehr als 64 Kanäle mehr als einen Empfänger haben, da sonst die zulässige Anzahl von gleichzeitigen Multicast-Frames überschritten wird. Diese Restriktionen können jedoch mit gut geplanter Einrichtung von virtuellen Netzwerken umgangen werden. Die Anzahl von Unicast Verbindungen (ein Sender und ein Empfänger) ist nur durch die verfügbare Gesamtbandbreite limitiert. Bei der Einrichtung eines Netzwerks können die Kanäle in Gruppen von maximal 8 Kanälen entweder Unicast- oder Multicast-Frames zugeordnet werden, was an den jeweiligen Geräten passieren muss und gut geplant sein sollte, da Fehler das Netzwerk schnell unbrauchbar machen. Die Samplingfrequenz kann 48 kHz oder 96 kHz bei halbiertes Kanalzahl sein und die Auflösung zwischen 16 und 24 Bit liegen, wobei dadurch die verfügbare Kanalzahl variiert. Bei 20 Bit werden im Fast Ethernet 64 Kanäle bidirektional unterstützt, was bei einer Erhöhung der Auflösung auf 24 Bit noch maximal 52 Kanäle bidirektional zulässt. CobraNet arbeitet mit einer festen Latenz und klar strukturierten Zeitintervallen für die Datenübertragung, in denen immer eine feste Anzahl an Kanälen übertragen wird. Dies sind 8 Kanäle bei 20 Bit, entsprechend der maximalen Frame-Datenmenge können maximal 1500 Byte in einen Frame, also können nur 7 Kanäle bei 24 Bit in einem Frame übertragen werden.²⁶ Dabei wird von 64 Samples pro Frame ausgegangen, da in der Standardkonfiguration die Netzwerklatenz bei 256 Samples, also 5,3 ms, liegt. Die Systemlatenz kann genau drei definierte Zustände annehmen: 256 Samples (5,3 ms; 64 spl/frame), 128 Samples (2,6 ms; 32 spl/frame) und 64 Samples (1,3 ms; 16 spl/frame).²⁷ Kürzere Latenzen können aber bei größeren Netzwerken mit vielen Switches instabil werden, da für kürzere Latenzen mehr Rechenleistung benötigt wird und schon kleinste Verzögerungen durch anderen Datentransfer im Netzwerk den Ablauf stören können, weshalb 256 Samples als Standard festgelegt wurde. Andere Latenzen werden nicht unterstützt.

Der Netzwerkzustand und Audioverknüpfungen können über das Windows-Pro-

26 http://www.cobranet.info/support/design/bundle_assignments

27 http://www.cirrus.com/en/pubs/manual/CobraNet_Programmer_Manual_PM25.pdf, S.21f

gramm „CobraNet Discovery“ eingesehen und mit wenigen Ausnahmen mit „CobraNet Manager“ verändert werden (manche Geräte müssen mit Hardware-Schaltern konfiguriert werden).²⁸

Redundanz kann durch die Nutzung des „Secondary Ports“ erreicht werden, die jedes Gerät zusätzlich zu dem „Primary Port“ besitzt, indem ein zweites unabhängiges Netzwerk aufgebaut wird. Im Fehlerfall übernimmt das zweite Netzwerk fast nahtlos.²⁹

Interface-Karten für CobraNet werden für Yamaha und Soundcraft Digitalmischpulte angeboten; analoge Stageboxen sind selten, aber auch von anderen Herstellern im Angebot.³⁰ Cirrus selbst stellt keine fertigen Produkte her, sondern lediglich die benötigten Schaltkreise. Es ist jedoch festzustellen, dass die beiden größten Unterstützer von CobraNet – Yamaha und Soundcraft – mittlerweile andere Lösungen bevorzugen.

3.2.4 *DiGiGrid / SoundGrid (DiGiCo / Waves)*

SoundGrid und DiGiGrid bezeichnen dasselbe Netzwerkprotokoll, welches in Kooperation von DiGiCo und Waves Audio entwickelt wurde. Ursprünglich diente SoundGrid dazu, Waves Audio-PlugIns auf einem externen Effektprozessor (DSP-Server) mit möglichst geringer Verzögerung in digitalen Mischpulten als Effekte für Beschallungen nutzen zu können und die Audiodaten auf einem Computer speichern und wiedergeben zu können. Digitalmischpulte des Herstellers DiGiCo und Digidesign (jetzt Avid) verfügen von Haus aus über diese Schnittstelle. Bei Digidesign/Avid liegt diese in virtueller Form vor, ist also ohne Hardware in das Betriebssystem des Mischpultes integriert. Für Digitalmischpulte von Soundcraft und Yamaha gibt es Adapterkarten.³¹

Die Netzwerkfunktionalität wird erst seit kurzer Zeit beworben und entsprechende Hardware wurde bisher nur angekündigt, jedoch ist diese bisher nicht lieferbar. Somit

28 http://www.cobranet.info/sites/default/files/YamahaWP_-_Networked_audio_system_design_with_CobraNet_012607.pdf, S. 11

29 http://www.cobranet.info/sites/default/files/YamahaWP_-_Networked_audio_system_design_with_CobraNet_012607.pdf, S. 6

30 http://www.mediatechnologysystems.com/images/Stage8_8_Brochure_Web_01_23_13.pdf,
<http://www.atterotech.com/products/voicebox-4iop/>

31 <http://www.waves.com/live-sound/soundgrid>

ist bisher nur die Verbindung zwischen Computer und Digitalmischpult oder kompatiblen Stageboxen von DiGiCo möglich. Die Einordnung in den OSI-Layer 2 findet nur in dem Wikipedia-Eintrag zu SoundGrid statt³², der wiederum nicht belegt wird. Jedoch schließt die Tatsache, dass Verbindungen zwischen den Geräten ausschließlich über MAC-Adressen verbunden werden³³, die Einordnung in den Layer 3 aus, da keine IP-Adressen vergeben werden. Daher wurde hier die Einordnung in den Layer 2 übernommen.

Angekündigt sind analoge Interfaces, MADI-Interfaces (schon erhältlich: DiGiGrid „MGB“ / „MGO“), ProTools-Interfaces und netzwerkgebundene digitale Audioprozessoren für Waves-PlugIns. Mit entsprechenden Software-Treibern („MultiRack“) kann ein Computer mit Windows oder Macintosh über jede herkömmliche Gigabit-Ethernet-Karte angebunden werden, wobei bis zu 128 Audiokanäle bidirektional übertragen werden können. Dabei sind alle Audiokanäle an jedem Punkt des Netzwerks verfügbar. Das System ist mit fast jeglicher Gigabit-Ethernet Hardware kompatibel und verspricht Latenzen von 0,8 ms. Dies wird durch den Einsatz von dedizierten Prozessoren für die Effektberechnung erreicht. Das System soll weitgehend AVB-kompatibel sein³⁴ – Waves war auch Mitglied in der AVnu Alliance³⁵ – jedoch ist eine vollständige Kompatibilität fraglich, falls die Einordnung im Layer 2 richtig ist, da dann keine IP-Adressierung unterstützt werden würde. Das Routing innerhalb des Netzwerkes findet mithilfe des eMotion-Mixers von Waves statt, mit welchem sich jedoch maximal 256 Kanäle geroutet und 64 gemischt und mit Waves-PlugIns bearbeitet werden können.³⁶ Der eMotion-Mixer steht als voll funktionsfähiges und fernsteuerbares digitales Mischpult auf Basis eines SoundGrid-Servers zur Verfügung, wobei dieser noch nicht verfügbar ist und ebenfalls noch nicht in erfahrung zu bringen ist mit welchen Protokollen er fernsteuerbar ist.

3.3 Technologien im OSI-Layer 3

32 <http://en.wikipedia.org/wiki/SoundGrid>

33 <http://www.waves.com/1lib/pdf/live/soundgrid-driver.pdf>, S.5ff

34 <http://www.digigrid.net/faqs/>

35 http://www.avnu.org/about_us/our_members

36 <http://www.digigrid.net/faqs/>, <http://www.waves.com/mixers-racks/emotion-lv1>

3.3.1 Audinate DANTE

Die Kapazität von Dante-Netzwerken hängt von der verfügbaren Netzwerkbandbreite ab: bei 100 MB/s werden 32 Audiokanäle mit 48 kHz je Netzwerkteilnehmer bidirektional unterstützt und bei 1000 MB/s sind es 128 je Übertragungsrichtung und Netzwerkteilnehmer, was jedoch eine PCIe-Netzwerkkarte von Audinate erfordert. Mit üblichen Gigabit-Ethernet-Adaptern sind nur 64 Kanäle bidirektional möglich.³⁷ In einem Netzwerk können jedoch deutlich mehr Kanäle existieren: Eine 48x48 Kanäle-Matrix bei 100 MBit/s und eine 512 x 512 Kanäle Matrix bei Gigabit-Ethernet ist insgesamt möglich, da paketorientierte IP Technologie mit Layer 3 Switches die Daten nur an den betreffenden Empfänger übermitteln, wodurch der Datenverkehr nur zwischen kommunizierenden Geräten und nicht netzwerkweit stattfindet. Höhere Samplingfrequenzen werden auch hier durch die Aufteilung auf mehrere Audiokanäle realisiert, d.h. dass ein 96 kHz Audiosignal zwei Kanäle benutzt. Ein gemischter Betrieb verschiedener Samplingfrequenzen in einem Netzwerk ist möglich, wobei jedes teilnehmende Gerät jeweils nur eine Samplingfrequenz unterstützen kann und auch nur Verbindungen zwischen Geräten mit der gleichen Samplingfrequenz möglich sind.

Dante unterstützt jedes kabelgebundene³⁸ IP-fähige Netzwerk und arbeitet auf dem UDP-Protokoll, wodurch es ermöglicht wird, jede beliebige Ethernet-Netzwerkstruktur zu benutzen. Dabei sind Layer 3 Switches zu bevorzugen, da sie echtzeit-kritischen Daten Vorrang gewähren können, was die Latenz und Stabilität verbessert. Dante Geräte unterstützen zumeist auch eine direkte Verknüpfung von einem Gerät zum nächsten (Reihentopologie), jedoch ist dies herstellerabhängig, da nicht alle Hersteller die Geräte mit einem zweiten Ethernet-Port ausstatten.

Redundanz kann durch den Aufbau eines kompletten zweiten Netzwerks, welches die Funktion des ersten bei einem Ausfall übergangslos übernimmt erreicht werden. Geräte mit nur einem Ethernet-Anschluss können generell nicht redundant verbunden werden.

37 http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=241 und Dante PCIe Soundcard User Guide und Audinate Dante FAQ, Link in 36↓

38 Kabellose Verbindungen (z.B. WLAN) können prinzipbedingt die geforderten Latenzen und Übertragungsstabilität nicht einhalten. Siehe auch Dante FAQ: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=99

Auch die gemischte Verwendung von 100 MB/s und 1000 MB/s Ethernet ist kein Problem; dabei wird immer die am aktuellen Punkt maximale Bandbreite genutzt. Jedoch bewirken 100 MBit-Switches innerhalb eines Dante-Netzwerks einen deutlichen Leistungsverlust, da diese einen Engpass darstellen und die Gesamtkapazität und -latenz beeinträchtigen.

Angeschlossene Dante-Geräte werden selbstständig und im laufenden Betrieb erkannt und können ohne weitere Konfiguration verwendet werden. Die Verknüpfung von Ein- und Ausgängen in einem Dante-Verbund erfolgt über eine kostenlose Software (Mac und PC) und kann von jedem Punkt im Netzwerk aus erfolgen. Geräte melden sich automatisch mit ihrer Gerätebezeichnung an und stellen alle verfügbaren Kanäle zur Verknüpfung bereit. Ein- und Ausgänge können frei benannt werden und vergebene Namen werden an jedem Punkt im Netzwerk, soweit es die Geräte unterstützen, verwendet. Dies erleichtert die Einrichtung von komplexen Netzwerken enorm, da mit aussagekräftigen Bezeichnung statt Nummerierungen Routingfehler durch falsch übermittelte Kanalzuordnungen minimiert werden können.

Computer können direkt über einen herkömmlichen Netzwerkanschluss in ein Dante-Netzwerk eingebunden werden; es ist lediglich die „Dante Virtual Soundcard“ Software vom Hersteller *Audinate* notwendig, welche zwischen Dante und ASIO bzw. Core Audio (Macintosh) übersetzt. Die verfügbare Kanalzahl kann im Rahmen der technischen Möglichkeiten dann in Potenzen von zwei gewählt werden. Besonders hervorzuheben ist die große Auswahl an Interfaces für verschiedene Audioformate, welche neben diversen analogen und gebräuchlichen digitalen Schnittstellen (auch MADI) ein direktes Avid ProTools HD Interface vom Hersteller *Focusrite* umfassen.³⁹

Die Übertragungslatenzen können in einem Dante Netzwerk sehr verschieden sein, was einerseits positiv ist, da jedes Gerät mit der kleinstmöglichen Latenz arbeiten kann und langsame Geräte andere nicht ausbremsen, andererseits für eine synchrone und phasengleiche Wiedergabe schwierig sein kann, da hier eine Prüfung und gegebenenfalls Konfiguration notwendig ist. Ein samplegenau synchrones System wird bei Dante garantiert, wenn die betreffenden Geräte auf die gleiche Latenz eingestellt

39 <http://focusrite.de/ethernet-audio-interfaces/rednet-5>

sind, was über den Dante Controller zentral geregelt werden kann. Die minimale Latenz beträgt 84 µs bei direkt verbundenen Geräten. Switches und verkettete Geräte erhöhen die Übertragungslatenz geringfügig, wobei Gigabit-Ethernet-fähige Geräte aufgrund des schnelleren Datendurchsatzes generell weniger Latenz hinzufügen als Fast-Ethernet-Switches. Bei der Verwendung herkömmlicher Netzwerkkarten mit der Dante Virtual Soundcard Software als Audiointerface liegen die Latenzen im Bereich von vier bis zehn Millisekunden, je nach Kanalzahl und Rechnerleistung, weshalb bei Echtzeit-kritischen Anwendungen von Computern (z.B. als Effektgerät) die Nutzung der PCIe-Netzwerkkarte von Audinate empfohlen wird, womit die Latenz deutlich auf eine Millisekunde verringert werden kann.

Neben Audinate selbst nutzen in besonderem Maßstab Yamaha⁴⁰ und Focusrite⁴¹ Dante für ihre Live- und Studiolösungen im professionellen Audio-Segment, wobei die Systeme beider Hersteller vollkommen kompatibel sind. Die Liste mit namenhaften Herstellern, die Dante verwenden, ist lang und umfasst unter anderem SoundDevices (Pix-Recorder), Stagetec (Nexus-Modul für Dante), BSS, KlarkTeknik und Lake (Lautsprecher-Prozessoren), Shure (Vernetzte Funkmikrofon-Empfänger), SSL, DiGiCo und Bose.⁴²

3.3.2 AES67 / AES-X192

Aktuell ist AES67 die offizielle Bezeichnung; AES-X192 war der Arbeitstitel, welcher teilweise noch verwendet wird.⁴³ Die Inhalte für diese AES-Norm wurden von der AVnu-Allianz seit 2009 auf Grundlage der Normen IEEE 802.1 (Audio- / Video-Bridging (AVB)), IEEE 802.1 AS (Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks (LANs)), IEEE 802.1 Qat (Stream Reservation Protocol (SRP)), IEEE 802.1 Qav (Forwarding and Queuing for Time-Sensitive Streams; A/V traffic scheduling enhancements), IEEE 802.1 BA (Audio/Video Bridging (AVB) Systems) erarbeitet und 2013 veröffentlicht.⁴⁴ Diese Normen beinhalten unter Anderem, dass die Synchronisation der Audiodaten nicht mithilfe einer

40 Yamaha Nuage http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/daw_systems/nuage/features.jsp
Yamaha CL Series <http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/mixers/cl/features.jsp>

41 Focusrite Rednet <http://focusrite.de/rednet>

42 http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=343

43 <http://www.x192.org/>

44 http://www.avnu.org/files/static_page_files/AADD5FA4-1D09-3519-AD240815A16F57DC/AVnu%20Pro__White%20Paper.pdf , S.5

herkömmlichen Wordclock zur Taktgewinnung, sondern per Übertragung einer Absolutzeit stattfindet, wodurch eine exakt zeitsynchrone Wiedergabe gewährleistet wird. Dante und Ravenna nutzen dieses Synchronisationsprotokoll ebenfalls.⁴⁵ Ziel der AVnu-Allianz und der AES67-Norm ist es, einen gemeinsamen Standpunkt möglichst vieler Hersteller in Bezug auf Audioübertragungen über IP-basierte oder Ethernet-Netzwerke zu finden und für diesen eine größtmögliche Interoperabilität der Geräte verschiedener Hersteller zu ermöglichen. Der Standard soll somit keine konkurrierende Lösung sein, sondern stellt vielmehr den kleinsten gemeinsamen Nenner dar. Dabei ist eine breite Palette von Herstellern vertreten: Zum einen Hersteller von Netzwerk-Infrastruktur wie Intel, Texas Instruments oder Cisco, und Hersteller von professioneller Audiotechnik wie Avid, Sennheiser, Yamaha, Dolby oder Waves, zum Anderen jedoch auch Kraftfahrzeughersteller (Honda, General Motors) und Produzenten aus der Unterhaltungselektronik (Bose), da die AVnu-Allianz von Anfang an nicht nur den professionellen Audio-Sektor, sondern auch den Endverbraucher-Markt mit einbeziehen wollte.

Bisher wurden nur Kompatibilitäts-Ankündigungen ausgesprochen, kompatibel arbeitende Systeme existieren bisher nicht, was bei der Aktualität des Standards nicht anders zu erwarten ist, da Hersteller ihre Produkte für gewöhnlich erst nach Erscheinen des Standards umrüsten, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Dementsprechend sollten die Produktankündigungen für Ethernet-basierte Audiosysteme 2014 hinsichtlich ebenjener Funktionen untersucht werden. Auf der „AV Networking World“ in Amsterdam am 4.2.2014 hat *Audinate* für *Dante* als erster Hersteller die praktische Implementierung von AES67 für alle Dante-fähigen Geräte bis 2015 angekündigt.⁴⁶

3.3.3 AVB (AVID)

Diese Netzwerklösung wurde von Avid für die Live-Mischpulte der Venue- und S3L-Serien unter Kompatibilität zu den bestehenden AVB-Standards 802.1AS, 802.1Qav, 802.1Qat und IEEE 1722 entwickelt.⁴⁷ Zwar wird eine Kompatibilität mit dem

45 William, Aiden: AV Networking World 2014

46 Aiden Williams, 4.2.2014, AV Networking World Amsterdam, siehe auch:

http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=409

47 http://avid.force.com/pkb/articles/en_US/Compatibility/VENUE-SC48-AVB-Compliance?retURL=%2Fpkb%2Farticles%2Fen_US%2Fcompatibility%2FCan-I-use-the-Stage-16-I-O-with-SC48-Remote&popup=true

AES67-Standard angekündigt, jedoch funktioniert das System bisher ausschließlich mit Stageboxen und Mischpulten der S3L Serie. An diese lassen sich wiederum jedoch Computer über herkömmliche Gigabit- Netzwerkschnittstellen anschließen, welche dann über ProTools 11 oder eine andere DAW bis zu 64 Audiokanäle aufnehmen und wiedergeben können. Kompatibilität mit Ethernet-Switches ist explizit nicht vorhanden,⁴⁸ was an er angekündigten Kompatibilität zu AES67 zweifeln lässt. Ältere Geräte der Venue-Baureihe verwenden zwar unter Anderem Ethernet-Kabel als Medium für die Verbindung von den Stageboxen zum Mischpult, jedoch ist eine Netzwerkfunktionalität nur auf die von AVID bestimmten Kombinationen sehr eingeschränkt vorhanden.

3.3.4 *REVENNA*

Ravenna baut als offene Technologie ausschließlich auf Standards auf, die für IP-Ethernet festgelegt sind. Dabei werden ähnlich wie bei Dante RTP (real time transport protocol) über UDP/IP Daten mit Priorisierung (QoS) und Synchronisation über das „Precision Time Protocol“ (PTPv2) verwendet, wobei jedes kabelgebundene Ethernet-Netzwerk verwendet werden kann, auch bei Nutzung durch andere IP-basierte Datenströme.⁴⁹ AES67 wird vollständig unterstützt.⁵⁰

Die Einbindung von DAWs ist über Standard Gigabit-Ethernet möglich, jedoch werden die Treiber nur für Windows-Systeme angeboten.⁵¹

Latenzen werden bei Ravenna beim Empfänger ausgeglichen. Dazu wird zu jedem Sample die Ursprungszeit mitgesendet und über eine Kontroll-Software auf Basis eines Web-Interfaces für einzelne Empfänger (Geräte) oder Empfängergruppen die Wiedergabelatenz eingestellt, wobei die größte hardwareseitig festgestellte Latenz in einer Gruppe das Minimum darstellt.

Die größten Unterstützer von Ravenna sind Merging Technologies (Pyramix DAW)⁵² und der Mischpult-Hersteller LAWO.⁵³ Beide haben Ravenna als wichtige System-

48 http://akmedia.digidesign.com/support/docs/S3L_System_Guide_80099.pdf, S.24

49 <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/the-history/the-advantage-of-ip.html>,
<http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html>

50 <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/open-technology-standards/aes67-x192.html>

51 <http://ravenna.alcnetworx.com/infos-downloads/downloads.html>

52 <http://www.merging.com/products/pyramix/ravenna>

53 <https://www.lawo.com/de/produkte/io-systeme/ravenna-card.html>

komponente integriert. Neumann, Schoeps und Genelec unterstützen Ravenna aktiv und haben angekündigt, kompatible Produkte zu veröffentlichen.⁵⁴

Außerdem wurde Ravenna von Tonmeister Andreas Hildebrand auf der Tonmeister-tagung aufgrund der Offenheit und Beschaffenheit der Systemlatenz des Protokolls als präferierte Lösung für den Broadcast-Bereich genannt.⁵⁵

3.4 Ähnliche abzugrenzende Technologien und Systeme

3.4.1 Harman Soundcraft MADI over Ethernet

Wie der Name schon sagt, werden lediglich identische Kabel und Steckverbindungen wie bei Ethernet verwendet, jedoch kein Ethernet-Protokoll übertragen, sondern MADI (AES10) in beide Richtungen, wobei (ähnlich AES50) jeweils ein verdrehtes Aderpaar für MADI hin- und Rückweg verwendet wird und eines für die Übertragung von Synchroninformationen (Wordclock). Es können keine Switches oder Hubs verwendet werden, da andere Signalspezifikationen vorliegen.⁵⁶

3.4.2 Voice-over-IP (VoIP)

Voice-over-IP dient dazu, Sprachverbindungen ähnlich der Telefonverbindung herzustellen. Dementsprechend sind die Grundvoraussetzungen anders als bei den unter 3.3 genannten Technologien. Für Voice-over-IP genügt eine datenreduzierte Übertragung von einem Audiokanal in Hin- und Rückrichtung, die nur den für Sprache relevanten Frequenzbereich (ca. 200 Hz bis 4 kHz) betrachtet, was für professionelle Tonübertragungen nicht ausreichend ist.

Trotzdem wurden Technologien, die für Voice-over-IP entwickelt worden sind, für Layer-3- (IP-) basierte professionelle Mehrkanal-Audio-Übertragungstechnologien verwendet. Essentiell ist z.B. die *Quality of Service* Funktion von Layer 3 Switches und Routern, welche für Voice-over-IP entwickelt wurde, um Echtzeit-relevanten Anwendungen Vorrang zu gewähren und so Unterbrechungen durch Datenstau zu verhindern. Ebenso teilen sich Voice-over-IP, AVB und Dante das Protokoll UDP.⁵⁷

54 <http://ravenna.alcnetworx.com/partners/partner-companies.html>

55 http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf

56 http://www.soundcraft.com/downloads/fetchfile.aspx?cat_id=user_guides&id=3519, S. 10ff

57 Tanenbaum, S.724 ff

3.5 Vergleichende Betrachtungen für ausgewählte Anwendungen

3.5.1 Kapazität

Technisch betrachtet sollte die mögliche Kanalkapazität anhand der maximal möglichen Datenrate der Netzwerkübertragung zu bestimmen sein. Demnach wäre diese bei allen Technologien, jeweils für Fast Ethernet und Gigabit Ethernet, gleich. Ausgehend von 48 kHz und 24 Bit liegt die benötigte Bandbreite für einen Audiokanal bei ca. 1,2 MBit/s, was in einem 100 MBit/s Netzwerk knapp über 80 Audiokanäle erlaubt. RockNet100 und REAC (entsprechend für 96 kHz) weisen exakt diese Spezifikationen auf. Bei 1000 Mbit/s sind theoretisch sogar über 800 Kanäle möglich. Eine sehr hohe Auslastung des Netzwerks kann jedoch, besonders bei plötzlich auftretenden zusätzlichen Anfragen, wie z.B. Steuerdaten oder der Anmeldung neuer Geräte, zu Verzögerungen in der Übertragung einzelner Datenpakete führen, was in Störungen im übertragenen Audiomaterial resultieren kann. Aus diesem Grund sollte entweder eine ausreichende Reserve an Bandbreite bereitgehalten werden, oder plötzlich auftretende, zusätzliche Daten unterbunden oder möglichst klein gehalten werden. Um die verfügbare Bandbreite optimal für Audiodaten nutzen zu können, haben die meisten Hersteller auf die zweite Variante gesetzt, was jedoch grundsätzlich dazu führt, dass das gesamte Netzwerk nur in einem abgeschlossenen System funktioniert und zumeist nur herstellereigene Hardware verwendet werden kann. Alle Systeme im Layer 1 und 2 arbeiten nach diesem Prinzip, wobei A-Net und REAC (48 kHz) zusätzlich eine deutliche Reserve bieten. Dadurch sind die Systeme in Layer 1 und 2 grundsätzlich als störungsresistenter einzustufen, als solche, die sich die Netzwerkstruktur mit anderen Datenströmen teilen.

Unter den Systemen, welche die Gigabit-Ethernet-Technologie verwenden, sind die Unterschiede in der Kapazität viel eklatanter als im Bereich bis 100 Mbit/s. So sind mit EtherSound gerade einmal 256 Kanäle je Übertragungsrichtung möglich, mit SoundGrid sogar nur 128, wohingegen Dante, CobraNet und Ravenna fast unbegrenzte Kanalzahlen erlauben, solange der verfügbare Datendurchsatz im Netzwerk nicht überschritten wird. Dies ermöglicht mehr als 512 x 512 flexibel geroutete Audiokanäle in diesen Netzwerken. CobraNet schränkt lediglich die Nutzung von Mul-

ticast-Datenströmen auf 64 ein, das heißt, dass, solange jede Quelle lediglich einen Empfänger hat, die Kanalzahl ebenfalls nicht eingeschränkt wird. Multicast-Daten beanspruchen generell mehr Bandbreite, da zusätzliche Informationen zu mehreren Empfängern übertragen werden müssen und mehrere Verbindungen genutzt werden.

3.5.2 *Ausfallsicherheit und Redundanz*

Wie alle digitalen Geräte unterliegen auch die Komponenten von Audio-Netzwerkklösungen einem schnellen Alterungsprozess und sind im Vergleich mit analoger Ton-technik anfällig für fatale Betriebsstörungen, da der Ausfall einer einzigen Kabelverbindung oder eines einzigen Prozessors oder Netzteils in vielen Konstellationen das gesamte Netzwerk zusammenbrechen lassen kann, wohingegen bei analogen Verbindungen bei einer Störung meist nur ein Leitungsweg betroffen ist. Redundanzen sind für einen garantiert störungsfreien Betrieb, wie er bei großen Konzertveranstaltungen oder Fernsehübertragungen gefordert ist, zwingend für alle zentralen Systemkomponenten notwendig, weshalb Implementierungen dafür bei fast allen Systemen in unterschiedlichen Ausprägungen vorhanden sind.

Die einfachste Form der Redundanz ist die doppelte Ausführung von Kabelwegen und / oder Netzteilen, welche bei mechanischer Beschädigung, Verschleiß oder versehentlichem Entfernen eines Netzwerk- oder Stromkabels vor einem Ausfall der Übertragung schützt. Aviom, REAC und AES50 erlauben die doppelte Leitungsführung, EtherSound ermöglicht einen geschlossenen Ring und RockNet fordert diesen sogar. Dante und CobraNet erlauben sogar den Aufbau kompletter alternativer Netzwerke inklusive Switches, Mischpulten oder Computern für ausfallsichere Tonaufnahmen, was nicht nur für den Live-Sektor interessant ist, sondern auch für Studioinstallationen, in denen es ermöglicht wird, verschlissene Geräte, z.B. einen Netzwerkswitch oder Netzteil, bei laufendem Betrieb auszutauschen, was dem Verlust von Arbeitszeit durch ein stillgelegtes Studio vorbeugt. Vor allem bei Produktionen, die einen festen Abgabetermin einhalten müssen, kann ein Studio, das den Betrieb garantieren kann, durchaus gefragter sein, als das mit dem größeren Mischpult und den teureren Kompressoren. DiGiGrid bietet nur die doppelte Ausführung von DSP-Servern und Computern zur Steuerung und Aufnahme an, was zwar deutlich weniger ist als bei anderen Systemen, jedoch ist ein Computer mit Windows oder

Macintosh Betriebssystem oft der stör anfälligste Punkt in einem Netzwerk, sodass diese Möglichkeit trotzdem an einem sinnvollen Punkt ansetzt. Alle Systeme, die Redundanz ermöglichen, versprechen ein sehr schnelles, oftmals sogar unhörbares Umschalten vom Haupt- zum Alternativpfad bei einem festgestellten Fehler.

3.5.3 *Latenz und Synchronität*

Um die Kriterien Latenz und Synchronität für die Audiodistribution bewerten zu können, muss zuerst erfasst werden, wofür diese relevant sind, was in verschiedenen Situationen unterschiedlich ausfällt. Soll zum Beispiel nur gespeicherte Musik wiedergegeben werden, ist eine Verzögerung der Ausgabe irrelevant, da diese lediglich im Moment des Startens der Wiedergabe vom Menschen erfasst werden kann. Handelt es sich bei dem wiederzugebenden Medium jedoch um einen Film, so wird die Synchronität relevant, da eine Verzögerung von nur 200 ms eine sichtbare Asynchronität hervorrufen würde.⁵⁸ Für jegliche stereofone Anwendung ist außerdem wichtig, dass an allen Ausgängen gleichzeitig aufgenommene Samples auch exakt gleichzeitig wiedergegeben werden, um ein Stereobild korrekt abbilden zu können. Dies kann durch unter Umständen unterschiedliche Übertragungsdauern nur mithilfe von Pufferspeichern gelöst werden, was wiederum zu einer Verlängerung der Latenz führt.

Für die Anwendung eines Audionetzwerks in Beschallungsanlagen oder bei Musikaufnahmen ist nicht nur die Synchronität, sondern auch die Gesamtlatenz extrem wichtig. Verzögerungen können schon unter zehn Millisekunden wahrgenommen werden, wobei dieser Wert bei rhythmischen Klängen und trainierten Ohren deutlich niedriger liegen kann, im Laborfall sogar bis zu zwei Millisekunden.⁵⁹ Deshalb muss eine Gesamtlatenz von unter zwei Millisekunden für den musikalischen Betrieb gewährleistet werden und konstant sein.

Grundsätzlich besteht bei der Übertragung von Daten über Ethernet immer der Gegensatz zwischen Sicherheit und Geschwindigkeit. Einerseits müssen Daten zwischengespeichert werden, um einen konstanten Datenfluss in einem paketorientierten System gewährleisten zu können. Andererseits verlängert jedes Zwischenspeichern die Übertragungszeit um genau die Zeit, die man an Sicherheit für verspätete Pakete

58 Aus dem Fernsehtechnik Unterricht von Sigurd Meyer an der HFF Potsdam

59 Webers, S.116

gewinnt. Besonders einfach organisierte Übertragungen, wie zum Beispiel AES50 oder auch MADI haben bezüglich der Latenzen den großen Vorteil, dass weniger Verarbeitungsschritte vorgenommen werden und auch im Netzwerk grundsätzlich kein konkurrierender Datenverkehr herrschen kann, der die Übertragungen ausbremst. Dante oder Ravenna sind in dieser Hinsicht im Nachteil, da sie mit einem komplexeren Übertragungssystem arbeiten, das Fehler und Störungen einkalkulieren und ausgleichen muss.

3.5.4 *Verbreitung*

Aviom ist eines der ältesten Systeme und schon seit 2002 auf dem Markt⁶⁰, wobei der Hersteller selbst das System als Ersatz für Multicore-Leitungen und flexible Monitor-Lösungen besonders anpreist, wodurch die Verbreitung auf spezielle Bereiche beschränkt bleibt.

AES50 erfährt momentan durch den geringsten Einstiegspreis für ein derartiges System großen Aufschwung, jedoch hauptsächlich im semiprofessionellen Bereich, vor allem bei kleinen bis mittelgroßen Beschallungsaufgaben mit begrenztem Budget (16-kanalige Stagebox „S16“ von Behringer für 850 € erhältlich, damit mit Abstand billiger als alle anderen Lösungen, deren Preise momentan bei ca. 2000 €, teils bis 4000 € liegen). Die X32-Mischpulte von Behringer mit AES50 Schnittstellen verkaufen sich trotz der vorherrschenden Meinung, dass Behringer-Produkte qualitativ unzureichend sind, sehr gut und werden sehr positiv eingeschätzt, was die Verbreitung befördert. Dazu ist die Einrichtung eines digitalen Multicores mit diesem System sehr einfach, da keine Netzwerkkonfiguration notwendig ist, sondern einfache Kabelverbindungen von nur einem Gerät zu einem anderen hergestellt werden.

Dante kann das bisher größte Spektrum an Lizenznehmern vorweisen,⁶¹ bisher über 70, darunter sogar konkurrierende Netzwerklösungen: DiGiCo, Klark Teknik, Behringer, Stagetec. Aviom bietet ein Dante-Interface nur für das Monitoring-System an⁶², was dafür spricht, dass die Nachfrage nach Einbindungsmöglichkeiten speziell für Dante sehr groß ist. Beachtlich ist, dass Yamaha erst auf EtherSound als Techno-

60 <http://www.aviom.com/AviomInfo/About-Aviom.php>

61 http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=343

62 <http://www.aviom.com/Aviom-Products-5/Network-Devices-80/D800-Dante-A-Net-Distributor>

logie für die eigenen digitalen Stageboxen gesetzt hatte (Pult M7CL-ES, Stagebox SB168-ES), jedoch nun auf Dante gewechselt ist (Pulte der aktuellen CL-Serie, Stageboxen der R-Serie). In Anbetracht der Tatsache, dass Yamaha ein Pionier der digitalen Mischpulttechnik ist und sehr früh diese Technik erfolgreich vermarkten konnte, ist dieser Schritt als deutliches Zeichen zu werten, da viele andere Hersteller mit den verbreiteten und beliebten Technologien kompatibel sein wollen und daher wahrscheinlich ebenfalls diese annehmen. Auf der Integrated Systems Europe Messe 2014 wurde Dante von den Sprechern von Audinate, Shure, Yamaha, Harman und Focusrite als marktführende Audio-Netzwerktechnologie bezeichnet.⁶³

Ravenna findet hauptsächliche Verbreitung mit den Herstellern LAWO und Merging Technologies, welche wiederum hauptsächlich in Rundfunkanstalten genutzt werden.⁶⁴

3.5.5 *Zukunftschancen*

Während das schon seit 1989⁶⁵ auf dem Markt befindliche MADI durch sinkende Preise neuen Aufschwung erfährt, haben einige deutlich jüngere Netzwerktechnologien schon seit geraumer Zeit keine Aktualisierungen oder neue Produkte mehr verzeichnen können. Point-to-Point-Verbindungen wie MADI oder AES50 bleiben vor allem durch die intensive Verwendung bestimmter Hersteller aktuell: SSL und RME propagieren MADI als fest integrierten Bestandteil ihrer Produkte, MIDAS und Behringer verfahren mit AES50 ebenso. Während MADI jedoch ein akzeptierter Standard in der Audio-Branche ist, genießt AES50 fast keine Verbreitung außerhalb dieser Hersteller.

Aviom ist trotz des relativ hohen Alters noch sehr aktuell und es erscheinen jedes Jahr neue Produkte. Jedoch hat sich der Fokus des Produktes gewandelt: Als Multicore-Ersatz findet es immer weniger Verbreitung, dagegen wird die Funktion als Zuspielder für vernetzte Kleinmischer zu Monitoring-Zwecken verstärkt genutzt, auch in Verbindungen mit anderen Audionetzwerken (Dante).

Für EtherSound und CobraNet gibt es aus dem letzten Jahr lediglich neue Geräte,

63 Vorträge im Rahmen der „AV Networking World“-Konferenz, Veranstalter von Audinate am 4.2.2014 im Holiday Inn, Amsterdam im Rahmen der „Integrated Systems Europe“-Messe

64 <https://www.lawo.com/de/anwendungen/applications.html>

65 erster AES10 Standard, siehe AES10-2003

welche auf andere Netzwerke oder MADI adaptieren. Eine Integration dieser Technologien in neuere Mischpulte, Recorder oder Stageboxen fand nicht statt. Da diese Netzwerke in Bezug auf die Funktionen und Leistungsfähigkeit deutlich hinter anderen Lösungen zurückbleiben, ist eine weitere Entwicklung dieser Standards nicht zu erwarten.

REAC ist kaum noch erhältlich und auf der aktuellen Homepage von Roland nicht mehr verzeichnet; somit ist keine weitere Entwicklung zu erwarten. Ganz ähnlich ist die Entwicklung auch bei Riedels RockNet, welches momentan nur als Komponente des übergeordneten *MedoirNet*-Verbundes, einem proprietären, geschlossenen Audio-, Video- und Datennetzwerk per Lichtleiter, attraktiv erscheint, wobei selbst dort MADI gleichwertig beworben wird.⁶⁶ Besonders nachteilig bei RockNet ist die Adressierung, welche an den Geräten selbst erfolgen muss und vergleichsweise unübersichtlich erscheint.

Klar aufstrebende Technologien sind allen voran Dante, welches mittlerweile von sehr vielen Herstellern unterstützt wird, wobei circa monatliche ?? neue Lizenznehmer und Produkte angekündigt werden: darunter aktuell von der *Integrated Systems Europe 2014* Messe die Ankündigung, dass bis 2015 erste AES67-kompatible Implementierungen verfügbar sein werden⁶⁷, womit die Zukunftsfähigkeit weiter bestärkt wird. Ravenna ist im Funktionsumfang und auch der Offenheit gegenüber dem AES67-Standard ebenbürtig, findet jedoch längst nicht so breit gefächerten Zuspruch.

Avid AVB stellt einen Sonderfall dar, da eine relativ große Verbreitung im Live-Bereich zu erwarten ist, obwohl es praktisch ein proprietäres System darstellt und nur von einem einzigen Hersteller verwendet wird. Dies liegt darin begründet, dass die bisherigen Systeme von Avid (SC48, Venue; ehemals Digidesign) **vor allem** bei großformatigen Popmusikveranstaltungen sehr beliebt sind und **vor allem** bei amerikanischen Produktionen häufig verlangt werden.

SoundGrid befindet sich momentan noch in einem großen Entwicklungsschritt, da

66 <http://www.riedel.net/de-de/products/signaltransportprocessing/xxmediornetrealtimemedianetwork/mediornetmodular.aspx>

67 http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=409

sehr viel grundlegend neue Hardware für das System angekündigt wurde, jedoch noch keine dieser Interfaces verfügbar sind. Trotzdem ist das System aufgrund der Waves-PlugIn-Server höchst interessant für Musik- und Filmstudios, weshalb hier die nächsten Geschehnisse abzuwarten sind, ob das System angenommen wird.

3.6 Empfohlene Technologien für gebräuchliche Anwendungen

3.6.1 Aufnahmestudio Musik-, Sprecher- und Geräusche

Für Aufnahmestudios sind die Vorteile der Netzwerktechnik nur unter folgenden Voraussetzungen gewinnbringend gegenüber herkömmlichen Audiointerfaces: Entweder mehrere Aufnahme- und Regieräume sollen flexibel verbunden werden oder die Wege zwischen Aufnahme- und Regie sind sehr lang oder störungsgefährdet (elektromagnetische Einstrahlungen). Besonders im ersten Fall sind die Möglichkeiten des flexiblen Routings aller verfügbaren Quellen und Ziele von einem zentralen Ort aus, mit der Möglichkeit Presets zu speichern und aufzurufen, extrem wertvoll und zeitsparend. Aufgrund der besonders guten Integration in Recording-Systeme per herkömmlicher Netzwerkkarte sind Dante und Ravenna die bevorzugten Technologien für Studiokomplexe. Kleinere Studios, welche lediglich einen Aufnahme- und Regieraum umfassen, profitieren davon kaum. Dort bleibt einzig die Möglichkeit der räumlichen Nähe der Mikrofonvorverstärker zum Instrument und die daraus resultierenden kurzen analogen Kabelwege als deutlicher Vorteil gegenüber herkömmlichen PCI- oder USB- Audiointerfaces.

3.6.2 Mischatelier (Orchestermusik / Film)

Für große Mischateliers sind extrem hohe Kanalzahlen ein Hauptkriterium. Aktuell ist dabei MADi der gebräuchlichste Weg zwischen zuspieldenden Computern und dem Mischpult. Dabei sind Kapazitäten von 128 Kanälen hin und zurück schon seit längerem möglich und können mit aktuellen MADi-Interfaces von RME sogar bis auf 192 überboten werden.⁶⁸ In einem Dante-Netzwerk können zwar wesentlich mehr Kanäle verwaltet werden, jedoch ist aktuell lediglich Hardware verfügbar, die bis zu 128 bidirektionale Kanäle je Computer erlaubt. Ravenna gibt keine genauen Zahlen an, lediglich im Zusammenhang mit Merging Technologies Pyramix werden Zahlen genannt: Ein PC mit MassCore (virtueller DSP vom Hauptprozessor abgeteilt, von

⁶⁸ http://www.rme-audio.de/products_madiface_xt.php

PCI-Karte verwaltet) kann bis zu 384 Audio Ein- und Ausgänge über Ravenna verarbeiten.⁶⁹ Hinsichtlich der Anzahl der Audiokanäle je Computer können native Lösungen bestehende Systeme mit MADI nicht übertreffen.

Was jedoch sehr interessant werden kann, ist die Auslagerung des Routings (oder eines Teils dessen) vom Mischpult in das Netzwerk, womit speicherbare Presets unter Umgehung des Mischpultes möglich werden. Somit können Mischpultkanäle für Zuspieler wie DVD-Player, DCPs oder Kommando-Leitungen eingespart werden und mehr Kapazitäten für die eigentliche Mischung gewonnen werden.

3.6.3 *Broadcasting (TV- oder Radio-Übertragungen)*

Das wichtigste Kriterium bei Übertragungen und Aufzeichnungen für den Rundfunk ist die Betriebssicherheit, also die Stabilität und Redundanz. Die größtmögliche Redundanz bieten Layer-3-Systeme wie Dante und Ravenna, welche es zulassen, die komplette Netzwerkinfrastruktur (bestehend aus CAT-5e-Kabeln und Switches) redundant auszuführen. Dabei wird unterbrechungsfreies Umschalten versprochen, welches für den Sendebetrieb zwingend notwendig ist.

Für den Betrieb eines großen Audionetzwerks in einer Sendeanstalt bieten sich Dante und Ravenna natürlich aufgrund ihrer Routing-Möglichkeiten und der Nutzung der Computer-Netzwerkstruktur an, jedoch zeigt sich gerade dabei ein Problem: Das gesamte Netzwerk-Routing ist von jedem Rechner aus komplett manipulierbar. Da es in einer Sendeanstalt üblich ist, dass mehrere Produktionen in verschiedenen Studios gleichzeitig ablaufen, ist die Gefahr, Audioverbindungen eines anderen Studios zu verändern relativ groß, da komplexe Netzwerke durch ihre Größe kaum sicher eindeutig zu überblicken sind. Weder Dante noch Ravenna bieten entsprechende Möglichkeiten zum Sperren oder Autorisieren bestimmter Netzwerkteilnehmer an. Alternativ können virtuelle Netzwerke innerhalb eines physischen lokalen Netzwerks derart genutzt werden, jedoch ist es relativ komplex dies mit hinreichender Performance umzusetzen. Dies ist ein schwerwiegender Grund, weshalb in Sendeanstalten Point-to-Point-Verbindungen (Analog/AES3/MADI...) oder kleinere, abgeschlossene lokale Netzwerke (Stagetec Nexus/Optocore...) zumeist Vorzug finden.

⁶⁹ <http://www.merging.com/products/pyramix/masscore-native>

3.6.4 *Beschallungen*

Für Beschallungen sind die Anforderungen an die Ausfallsicherheit bei gleichzeitig möglichst kleiner Latenz besonders hoch, weshalb besonders hier Technologien, welche im OSI-Layer 1 und 2 ansetzen, durchaus vorteilhaft sein können. Hier können RockNet und AES50 (und durchaus auch MADI) ihre eigentlichen Nachteile zu Vorteilen wandeln. Da sie ein eigenes Netzwerk benötigen, sind unvorhersehbare Störungen durch andere Geräte im Netzwerk fast ausgeschlossen und der Systemaufbau ist relativ simpel. Außerdem sind in diesen Netzwerken die Übertragungslatenzen besonders klein, was für das Monitoring der Musiker ein entscheidender Punkt ist.

Da fast nie mehr als 64 Kanäle benötigt werden, spielen Kapazitätsgrenzen kaum eine Rolle.

Jedoch ist zu beobachten, dass auch im Live-Bereich Dante immer mehr Verbreitung findet, da vor allem bei größeren Systemen mit mehreren Mischpulten und Aufnahme, die Flexibilität im Routing stärker ins Gewicht fällt als der Mehraufwand der Einrichtung. Wenn bei der Einrichtung das System gut eingestellt wird, sind nur geringfügig größere Latenzen als bei AES50 oder RockNet zu erwarten, insgesamt sind auch bei sehr großen Netzwerken mit Dante unter 2 ms garantiert, vorausgesetzt, dass das System korrekt eingerichtet ist.

Redundanz als wichtigster Punkt kann von allen Technologien erfüllt werden, wobei die Ausprägungen sehr unterschiedlich sind. Eine für den Livebereich wichtige einfache Einrichtung bieten hier solche System, die auf Ringtopologien setzten. Diese sind RockNet, Avid AVB und EtherSound. Dante und Ravenna setzten von Hause aus eigentlich auf Redundanz per komplettem sekundären Netzwerk, was zwar zu einem sehr hohen Grad an Redundanz sowohl für ausfallende Kabel als auch Geräte sorgt, jedoch auch den doppelten Materialaufwand bedeutet, wohingegen eine Redundanz durch Ringverbindung lediglich ein weiteres Kabel benötigt.

4 Konzept für ein Audionetzwerk für das Studio 3001

4.1 Anforderungen und Ausgangspunkt

4.1.1 Anforderungen

Ausgehend vom Funktionsprinzip des Kino-Mischateliers U089 und des Musikstudios U097 sollen mindestens zwei zuspielende oder aufnehmende digitale Audio-Workstations flexibel zur Verfügung stehen. Um die Studios untereinander so kompatibel wie möglich zu halten, soll von einem ProTools- und einem Nuendo-Arbeitsplatz ausgegangen werden, wobei ProTools auf einem Macintosh- und Nuendo auf einem Windows-Computer betrieben werden. Die Art des Mischpultes oder DAW-Controllers für die zukünftige Ausstattung der 3001 ist dabei noch offen und soll in dieser Arbeit nicht diskutiert werden.

Da davon auszugehen ist, dass die benötigten Kanalzahlen in Zukunft nicht abnehmen, sondern eher zunehmen werden, sollten für jeden Computer mindestens 128 Kanäle zum und vom Mischpult übertragen werden können, da es auch ermöglicht werden soll, mit nur einem System zu arbeiten und trotzdem nicht auf professionelle Funktionen zu verzichten (wie z.B. dem Abhören der Aufnahme durch das Aufzeichnungsgerät hindurch). Weniger Kanäle würden dies stark einschränken, da allein für das Routing der Abhörwege sechs Kanäle je Mischung oder Submischung benötigt werden.

Effektgeräte sollen an jedem Punkt des Systems eingebunden werden können, ohne Kabel stecken zu müssen. Routingkonfigurationen sollen abgespeichert und wieder aufgerufen werden können. Gespeicherte Einstellungen müssen zudem auf externen Datenträgern gesichert werden können.

Die Samplingfrequenz soll im Rahmen von 44,1 bis 96 kHz einstellbar sein und die Funktionalität der Infrastruktur nicht maßgeblich beeinträchtigen.

Es soll der Anschluss von externen Zuspielern über eine Mehrkanal-Schnittstelle ermöglicht werden, um die Einbindung von jeglichem Audiomaterial, gegebenenfalls über externe Zuspieler, realisieren zu können.

Schnittstellen für zukünftige Umbauten und Erweiterungen sollen offen gehalten

werden.

4.1.2 Verschiedene Ansätze

Grundsätzlich muss bei der Planung eines Studios von der zentralen Bedieneinheit, also dem Mischpult, ausgegangen werden. Da dies in dem speziellen Fall nicht bekannt ist, werden zwei exemplarische Fälle unterschieden: Zum Einen der Studioaufbau mit einem automatisierbaren digitalen Mischpult und zum Anderen die Struktur eines Studios unter Verwendung eines DAW-Controllers.

Bei der Verwendung eines digitalen Mischpultes ist es notwendig, alle Audiokanäle einzeln dem Mischpult zuzuführen, was zu sehr großen zu übertragenden Kanalzahlen führt, dafür jedoch die benötigte Rechenleistung zur Bearbeitung der Audiodaten auf das Mischpult auslagert.

Eine Controller-Lösung erfordert prinzipiell nur Audiokanäle für die Wiedergabe auf Lautsprechern und Kopfhörern, da jegliche Bearbeitung innerhalb des Computers vorgenommen wird, der dementsprechend leistungsfähig sein muss. Wichtig ist auch, dass sämtliche Monitoring-Funktionen dann innerhalb der Software gelöst werden müssen, da ansonsten keine Lautstärkeregelung zwischen dem Digital-Analog-Wandler und dem Abhör-Lautsprecher erfolgt, was bei Software-Problemen zu Störsignalen mit erheblichen Pegeln führen kann. Eine zusätzliche, computerunabhängige Lautstärkeregelung erscheint daher empfehlenswert.

4.2 Lösungssysteme

Auf Grundlage der obigen Ausführungen eignen sich besonders Audinate Dante und Waves DiGiGrid für die bestehenden Anforderungen: Beide arbeiten mit einer offenen Netzwerkstruktur, welche die Nutzung von herkömmlichem Gigabit-Ethernet verwendet und dabei systemfremden Datenverkehr wie Steuerdaten und Internet akzeptiert, was die Einrichtung von separaten Netzwerken unnötig macht. Kapazitäten von 128 Kanälen je Netzwerkteilnehmer schaffen eine ausreichende Infrastruktur für Audiodaten. Außerdem werden beide Technologien von vielen namenhaften Herstellern unterstützt.

4.2.1 *Systemdesign mit Audinate Dante*

Dante zeichnet sich vor allem durch eine große Akzeptanz unter den Herstellern pro-

fessioneller Audiotechnik aus, wodurch die Auswahl an möglichen Systemkomponenten sehr groß ist. Für alle digitalen Tonarbeitsplätze außer ProTools HDX genügt zur Einbindung eine Standard-Netzwerkkarte, wobei in jedem Fall mindestens 48 Ein- und Ausgänge garantiert sind.

ProTools HDX-Systeme verlangen nach einem gesonderten Interface, welches aber mittlerweile von der Firma *Focusrite* angeboten wird und bald erhältlich sein wird. Dabei unterstützt ein einzelnes Interface jeweils 32 Kanäle, was zu einer Zahl von vier Interfaces zur Einbindung von 128 Kanälen führt. Native ProTools -Systeme, welche ohne Avid-Hardware betrieben werden, sind immer auf 32 Kanäle begrenzt,⁷⁰ was den Einsatz unter den vorgegebenen Umständen ausschließt. Eine Lösung mit RedNet-Interfaces wäre auch dazu in der Lage, ein DSP-gestütztes ProTools-System einzubinden, was bei einer Controller-Lösung ein beträchtlicher Vorteil wäre, da mehr Rechenleistung zur Verfügung stünde.

Generell ist bei der Verwendung von Apple Computern im Moment zu beachten, dass keine PCI-Steckplätze mehr vorgesehen sind und diese über *Thunderbolt*-Adapter ergänzt werden müssen.

Zur Einbindung des Nuendo-Systems genügt ein Netzwerkport, über den das Dante-Netzwerk verknüpft wird. Sowohl für Nuendo als auch für ProTools sollten geeignete Interfaces für die Verarbeitung von Steuerdaten vorgesehen werden, um die Synchronisation der Systeme untereinander und mit der Mischpultautomation zu ermöglichen. Somit werden wie gehabt ein ProTools Sync und eine Nuendo Syncstation benötigt, welche diverse Timecode- und Maschinensteuerungssignale untereinander und vom und zum Mischpult verarbeiten können.

Die Lautsprecher sollten dann ebenfalls mithilfe eines Dante-Analog-Interfaces eingebunden werden, um alle Routing-Möglichkeiten offen zu halten. Damit könnte ein simples Abhör-Setup unter Umgehung des Mischpultes realisiert werden, was die Abläufe für den Unterricht und Präsentationen im Studio merklich beschleunigen würde. In dieser Konfiguration wäre der Dante Controller die zentrale Routing-Einheit des Studios und kann von jedem Computer bedient werden.

⁷⁰ <http://www.avid.com/US/products/Pro-Tools-Software/Features#Specifications>

Da die Mischpulteingänge unabhängig von den zuspieldenden Computern im Netzwerk verfügbar sind, kann jeder Computer, der die Software „Dante Virtual Soundcard“ (DVS) installiert hat, vollwertig als Zuspielder, Aufnahme- oder sogar Effektgerät verwendet werden. Die DVS-Software-Lizenz kann auch für bestimmte Zeiträume zu sehr günstigen Preisen leihweise vergeben werden. Dadurch kann vor allem bei der Arbeit mit externen Zulieferern wie Musikern oder Sounddesignern der Arbeitsablauf drastisch verbessert werden, da eine Übergabe der Session-Daten entfällt. Es wird somit eine der größten technischen Problempunkte und Fehlerquellen in der Mischungsvorbereitung umgangen, indem ebenjene Personen ihre Arbeit als einzelne Spuren direkt über die virtuelle Soundkarte in das Mischpult einspeisen können. Eine entweder über das Netzwerk getunnelte oder extern über MIDI verbundene Synchronisation ermöglicht eine vollwertige Fernsteuerung von Play, Stop und Timecode-Position mit fast allen gängigen Audioprogrammen (Anbindung von Nuendo im Musikstudio U097 ist derzeit auf diese Weise realisiert).

Trotz der Möglichkeit, Standard-Netzwerkkarten für die Einbindung in das Dante-Netzwerk zu verwenden, sollten spezialisierte Ethernet-Adapter als PCI-Karte genutzt werden, da diese durch die Verwendung von zusätzlichen Prozessoren einen Teil der Prozessorlast für die Einbettung der Audiodaten in den Netzwerk-Datenstrom vom Hauptprozessor des Computers nehmen. Dadurch werden die Übertragungslatenzen drastisch verringert, da Dante mit Standard-Ethernet-Adaptern mindestens 4 ms (192 Samples bei 48 kHz) Puffergröße verlangt, welche jedoch mit der eigenen Ethernet-Karte bis auf 150 µs (8 Samples) reduziert werden kann.⁷¹ Zusätzlich wird durch die Verteilung der zeitkritischen Prozessorlast die Systemstabilität erhöht.

Externe Effektgeräte können über Dante-Interfaces mit verschiedenen digitalen oder analogen Schnittstellen eingebunden werden. Momentan bietet Focusrite mit der *RedNet*-Serie das umfangreichste Angebot an Dante-Interfaces an, wobei bis zu 16 analoge und 64 digitale Kanäle je Interface angeboten werden.

Insgesamt eignet sich Dante vornehmlich für Studios, bei denen die Signalverarbeitung im Mischpult stattfindet, da hier größere Routingflexibilität für jeden einzelnen

71 Dante Virtual Soundcard User Guide S.19f, Dante PCI Soundcard Datasheet S.2

Audiokanal mit Preset-Funktionalität geboten wird. Dadurch können viele verschiedene Zuspieler, Effektgeräte, Lautsprecher und Aufnahme-Computer flexibel und intelligent verbunden werden, wobei jeder mögliche Signalfluss durch oder um das Mischpult möglich ist. Zwar ist MADi bei Mischpulten für Mischstudios (vornehmlich von Harrison, SSL oder Stagetec) weiter verbreitet und daher direkter einzubinden, jedoch haben sich die Routing-Konzepte von StageteCs „Cintra“ und SSLs „C200“ im Alltag an der HFF als umständlich und schwerfällig für die täglich mehrfach wechselnden Anforderungen erwiesen. Durch eine zentrale, sinnvoll beschriftete und speicherbare Routingmatrix, die unabhängig agiert, können Mischpult-Presets unabhängig von der DAW eingesetzt werden oder einfache Präsentationen einer Mischung auch unter Umgehung des Mischpultes realisiert werden, was kostbare Studiozeit sparen kann. Ebenso könnte das Studio auf diese Weise sehr schnell, ohne ein Mischpult-Setup zu generieren, bei Bedarf als Edit-Suite genutzt werden.

4.2.2 *Systemdesign mit Waves DiGiGrid*

Ein Systemdesign mit Waves DiGiGrid bietet sich in erster Linie für eine Controller-basierte Studioloösung an, da zusätzlich zu den Routing- und Einbindungsmöglichkeiten, DSP-Server vorgesehen sind, welche die Berechnung der für die Postproduktion sehr verbreiteten und beliebten Waves-PlugIns vornehmen. Dies ermöglicht eine weitaus größere Anzahl an verwendbaren PlugIns bei einer Mischung, die eigentlich nur im Computer stattfindet und entlastet den Systemrechner, welcher mehr Kapazitäten für Busrouting und Automation verwenden kann. Damit ist es weniger wahrscheinlich, dass der Computer bei großen Sessions träge wird und dadurch die Arbeit verzögert. Der Waves-Server kann über ein Brücken-PlugIn in jedem Audioarbeitsplatz eingebunden werden. Auch die Verwendung von PlugIns auf einem Server aus mehreren Sessions heraus ist möglich. Das Routing ist nicht wie bei Dante im Stil einer frei zuweisbaren Kreuzschiene ausgeführt, sondern als digitales Mischpult „eMotion“ von Waves. Die Routingmöglichkeiten sind durch das voll ausgestattete Mischpult zwar größer als bei Dante, jedoch können nur 256 x 256 Kanäle frei geroutet und nur 64 (Mono oder Stereo) gemischt und mit PlugIns bearbeitet werden. Für ein Mischatelier ist diese Funktion jedoch nur von geringer Bedeutung, da die Audiotbearbeitung in der DAW automatisierbar erfolgen soll, wodurch lediglich die

Routingfunktionen und der PlugIn-Server relevant sind. Für diese Funktionen reichen 256 frei zuweisbare Kanäle aus, da diese nur für Audioverbindungen zwischen den DAWs und zum Abhören benötigt werden. Da bei einem Controller-basierten Studio direkte Audioverbindungen zwischen zwei DAW-Systemen hauptsächlich für die Aufnahme der Mischungen benötigt werden, um die Ressourcen des für die Mischung verwendeten Computers zu entlasten, sollten nur in Ausnahmefällen mehr als 64 Spuren anfallen.

Interfaces sind sowohl analog in verschiedenen Ausführungen (Mikrofoneingänge, Linepegel Ein- und Ausgänge) und digital (ADAT, AES/ABU, MADI) und im Sonderformat für Avid ProTools angekündigt, wobei diese, mit Ausnahme des MADI-Interfaces, noch nicht verfügbar sind. Besonders geeignet erscheint hierbei das Modell DiGiGrid IOS, welches sowohl acht analoge Ausgänge, genug für Abhörlautsprecher in 5.1 und ein alternatives Stereopaar, als auch PlugIn-Server Kapazitäten bietet. Zusätzlich sind auch AES/EBU und S/PDIF Schnittstellen vorhanden, um gebräuchliche Stereosichtgeräte einzubinden. Ein eingebauter Netzwerkschwitch mit 4 Ports erlaubt es direkt weitere Interfaces für externe Effektgeräte oder zusätzliche analoge Ausgänge anzuschließen.

4.3 Fazit

Für ein rein Controller-basiertes Studiodesign ist Waves DiGiGrid die bessere Lösung, da viel Rechenleistung für Audio-PlugIns in das System eingebracht werden kann und dabei trotzdem ein flexibles und ausbaufähiges Audiosystem ermöglicht wird. Dante hingegen bietet ein viel leistungsfähigeres Routing-System und die bisher größte Akzeptanz unter den Herstellern, was bei einem Mischpult-basierten Studio ein großen Vorteil ist, da es für jedes Format entsprechende Interfaces gibt.

Die weitergehenden Möglichkeiten, ein im Studio 3001 bestehendes Dante-Netzwerk auch mit anderen Räumen der HFF über das Hausinterne Computernetzwerk zu verbinden, ermöglichen es die ursprüngliche Nutzung des Studios als Tonregie für Live-Studio-Filmproduktionen nicht nur zu erhalten, sondern sogar auf alle an das Netzwerk angeschlossenen Räume zu erweitern. Dazu wird lediglich eine Verbindung des Dante-Netzwerks in das HFF-weite Netzwerk (also einen AVB-fähiger Gigabit-

Switch) und ein mobiles Rack mit Dante-Interfaces benötigt. Es ist jedoch fraglich, ob diese Funktionalität genutzt werden würde. Aktuell erscheint dies unnötig, da auch innerhalb der HFF vornehmlich mobile Aufnahmetechnik benutzt wird, wenn außerhalb der Musik- und Synchronstudios Ton aufgenommen wird, trotzdem zumindest für die Filmstudios die Möglichkeit schon jetzt bestünde, mit dem Cinetra-Mischpult direkt in eine DAW aufzuzeichnen. Da sowohl die relativ komplexe und unflexible Einrichtung des Cinetra Studios als auch generelle infrastrukturelle Hürden wie der Mangel an Kommando-Einrichtungen zwischen Film- und Tonstudio dies unattraktiv machen, sollte dies weitergehend betrachtet werden. Hier wäre es auch wichtig, mit anderen Studiengängen zu klären, ob Studio-Produktionen mit gesonderter Video- und Tonregie und Aufzeichnung in Echtzeit an der HFF noch stattfinden werden. Außerdem ist es eine konzeptionelle Entscheidung der Hochschule, ob solche Produktionen im Lehrplan vorkommen sollen und können. Aktuell erscheint die Einrichtung des Studios 3001 als reines Mischatelier sinnvoller, da der Bedarf nach Studios mit ProTools und 5.1-Kinosound momentan deutlich überwiegt und auch der Schwerpunkt der Ausbildung zunehmend in Richtung Sounddesign und Filmmischung für Kinoformate tendiert als zur Fernsehproduktion.

5 Ausblick

Fraglos ist die Nutzung von Audio-Netzwerktechnologien keine Zukunftsmusik, sondern Alltag, wenn auch bisher vornehmlich im großen Maßstab. Steigende Verkaufszahlen werden die Preise senken und mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer weiten Verbreitung sorgen, wobei Audinate Dante schon jetzt eine deutliche Vorherrschaft in nahezu allen Bereichen, sogar für Bahnhofs- und Kaufhallenbeschallungen, entwickelt. Trotzdem sind auch diese Technologien nicht in allen Punkten der herkömmlichen Technik überlegen und MADI-Technologie ist für die Mehrkanalübertragung auch heute noch ein solider Standard, der in speziellen Fällen auch den modernsten Netzwerktechnologien überlegen sein kann, wie z.B. im Hinblick auf die höhere Spurenzahl von einem einzelnen Computer und weniger potentiellen Fehlerquellen.

Ein bisher schwach besetztes Gebiet ist die Nutzung von Steuerdaten in Audionetzwerken. Bisher entwickelt jeder Hersteller von Audiointerfaces, Mischpulten oder anderen Audio-Netzwerkgeräten sein eigenes Steuerprotokoll und eigene Software zur Bedienung der Geräte über das Netzwerk. Dies führt bei der Verwendung von vielen verschiedenen Geräten verschiedener Hersteller zu einer großen Zahl an Programmen, die notwendig sind, um diese Geräte zu bedienen, obwohl die Aufgaben sich zumeist sehr ähneln: Das Einstellen der Lautstärke eines Mikrofonvorverstärker oder analogen Ausgangs, Schalten von Phantomspeisung oder Schaltspannungen (zur Fernsteuerung wieder anderer Geräte, wie z.B. Rotlicht oder ähnliches) oder die Bedienung von Signalprozessoren wie Regelverstärkern oder Filtern. In einem Dante Netzwerk können Geräte von mehr als 70 Herstellern verbunden sein, was zu einer sehr unübersichtlichen Anzahl von Steuerprogrammen führen kann, wobei manche Geräte keine Fernsteuerung implementiert haben (z.B. einfache zweikanalige Interfaces, die nur Audioausgänge besitzen) oder mithilfe von Hardware kontrolliert werden. Zum Beispiel lassen sich die Stageboxen der Rio-Serie von Yamaha lediglich mit den Mischpulten des Herstellers steuern, obwohl sie ansonsten uneingeschränkt im Dante-Netzwerk verwendet werden können. Jedoch wurde auf der ISE 2014 angekündigt, dass ein PC-Programm für diese Steuerung, welches parallel zu Dante Controller betrieben werden kann, in diesem Jahr veröffentlicht werden soll. Ein ein-

heitliches Steuerprotokoll, welches unabhängig vom Programm, das es bedient und den Geräten, die es bedient ist, wäre eine wünschenswerte, fortschrittliche Entwicklung, welche die Bedienung und Integration verschiedener Geräte in größeren Netzwerken deutlich verbessern kann.

Die Begrenzung von Zugriffsrechten innerhalb von größeren Audionetzwerken wird in Zukunft mehr diskutiert werden, da hier bisher keine zufriedenstellenden Lösungen integriert wurden. Im Forum der AV-Networking World 2014 war dies schon eines der am häufigsten nachgefragten Themen, jedoch konnte der Gastgeber Audinate speziell zu diesen Fragen bisher keine, bzw. nur sehr aufwändig umzusetzende Lösungen präsentieren. Für die Verbreitung im Sendebetrieb und, durch die wachsende Komplexität und damit auch steigende Zahl der Netzwerkteilnehmer, bei Konzert- und Konferenzbeschallungen wird insbesondere das Sperren der Netzwerkverknüpfungen und -einstellungen gegen unbeabsichtigte und unautorisierte Änderungen ein entscheidendes Kriterium werden. Da Audinate in diesem Jahr dazu keine Entwicklungen angekündigt hat und auf Nachfragen bezüglich dessen ausweichend und verteidigend ausfiel, liegt in diesem Aspekt die Möglichkeit für Ravenna, sich gegenüber dem Konkurrenten zu profilieren.⁷²

Die Audio-Netzwerktechnologien über Ethernet erwarten in den kommenden Monaten große Entwicklungen hinsichtlich der Interoperabilität und es bleibt sehr spannend zu verfolgen, wie sich die verschiedenen Systeme entwickeln. Obwohl sich momentan eine deutliche Vorherrschaft durch Audinates Dante entwickelt, zeigt sich doch auch eine wachsende Diversität und Spezialisierung auf besondere Aufgaben, wie es Waves SoundGrid zeigt. Die große Gesprächsbereitschaft, welche unter anderem durch Veranstaltungen wie die „AV Networking World“ in Amsterdam von Audinate repräsentiert wird, zeigt, dass die Hersteller und Entwickler sehr an den Meinungen und Bedürfnissen der Toningenieure interessiert sind.

72 SoundGrid und Avid AVB gehören hier nicht zur Konkurrenz, da sie nicht für komplexe Netzwerke oder Integration in bestehende Netzwerkstruktur konzipiert sind.

6 Literaturverzeichnis / Quellenangaben

1. Vorträge auf der „AV Networking World 2014“ Veranstaltet von Audinate im Rahmen der „Integrated Systems Europe“- Messe am 04.02.2014, Vorträge von:
Brian McCormick, Chief Marketing Officer, Stewart Audio,
Arthur Koll, Sales Engineer Broadcast/Commercial Audio, Yamaha Music Europe
Mike Sims, Director of Marketing & Sales, Attero Tech
Roland Hemming, Principal at RH Consulting
Adam Holladay, Market Manager for SDIG, HarmanProfessional Audio
Simon Jones, Research and Development Manager, Focusrite Audio Engineering
Craig Richardson, VP of Global Sales, Symetrix
Stuart Stephens, Sales and Project Engineer, Shure
Stefan Mathias, Principal, Hartmann + Mathias Partnership
Kate Brown, Sound Designer/ Field Engineer, World Stage
Adrian Hogg, Pro Audio Specialist, Focusrite Audio Engineering
Brendan Dooley, General Manager, Open Access Pty Ltd
Jan Mastalir, Technical Director, 2N Telecommunications
Joe Spoto, Senior Instructor, Commsupport
Nicola Beretta, Product Specialist, Allen & Heath
Kyle Sullivan, Product Line Manager, Bose
Etienne Berard, Consultant, Atelier Audio-Visuel
Noel Duropan, Director of Systems Design, Mood Media
Klas Dalbjorn, Product Research Manager, TC Group
Ethan Wetzell, Platform Strategist, Bosch Communications System
Shayne Thomas, Peavey Commercial Audio
Justin Hankey, Application Engineer Networking and Installed Sound, Harman Professional Audio
Aidan Williams, Co-founder and CTO, Audinate
Jeff Berryman, Senior Scientist, Bosch Communications
Rob Lyall, Technical Manager ProAV
2. RME Produktkatalog: <http://www.rme-audio.de/products.php> ; abgerufen am 25.11.2013
3. Solid State Logic, ausgewählte MADI- Produkte: <http://www.solidstatelogic.com/music/> ;
<http://www2.solidstatelogic.com/live/local-io#&panel1-1&panel2-1> abgerufen am 25.11.2013
4. Harman Soundcraft Vi Digitalmischpulte:
http://www.soundcraft.com/products/product_cat.aspx?cat=2 abgerufen am 25.11.2013
5. Tanenbaum, Andrew S., Computer Networks 5th ed. (2011), Pearson Education, Massachusetts
6. Stabile RJ-45 Steckvorrichtung „etherCON“ von Neutrik: <http://www.neutrik.de/de-de/ethercon/>;
abgerufen am 26.11.2013
7. <http://www.aviom.com/AviomApplications/AudioNetworks/Design.php>, abgerufen am
26.11.2013
8. http://www.aviom.com/library/User-Guides/93_6416m-RCI-MCS-User-Guide.pdf
Bedienungsanleitung für das Pro64 System von Aviom, abgerufen am 26.11.2013
9. <http://www.aviom.com/AviomInfo/About-Aviom.php>, abgerufen am 28.01.2014
10. <http://www.aviom.com/Aviom-Products-5/Network-Devices-80/D800-Dante-A-Net-Distributor>,
abgerufen am 30.1.2014
11. Produktbroschüre von Riedel RockNet unter [http://www.riedel.net/LinkClick.aspx?
link=Downloads%2fBroschures%2fRiedel_RockNet_DE.pdf](http://www.riedel.net/LinkClick.aspx?link=Downloads%2fBroschures%2fRiedel_RockNet_DE.pdf), abgerufen am 28.11.2013, siehe
auch: <http://www.riedel.net/de->

- de/products/signaltransportprocessing/rocknetdigitalaudionetwork/about.aspx (28.11.2013)
12. Riedel MediorNet: <http://www.riedel.net/de-de/products/signaltransportprocessing/xxmediornetrealtimeaudio/network/mediornetmodular.aspx>, abgerufen am 07.02.2014
 13. Behringer AES50 Stagebox System: <http://www.behringer.com/EN/Products/S16.aspx>, abgerufen am 29.11.2013
 14. MIDAS Produktbeschreibung für AES50 Stagebox-Systeme: http://www.midasconsoles.com/assets/DL153_PID.pdf abgerufen am 29.11.2013
 15. AES50-2005, Audio Engineering Society, Inc., 2005 einsehbar unter <http://www.philippe-lahaye.fr/IMG/pdf/aes50.pdf>, am 02.12.2013,
 16. AES50 Präsentation der *MusicGroup*: http://www.aes-media.org/sections/uk/Conf2011/Presentation_PDFs/07%20-%20AI%20Walker%20-%20Applications%20in%20Live%20Convert%20Sound.pdf, abgerufen am 02.12.2013
 17. AES10-2003, Audio Engineering Society, Inc., 2003, abgerufen unter: <http://www.iis.ee.ethz.ch/~felber/DataSheets/AES-EBU/aes10-2003.pdf>, am 06.01.2014
 18. <http://www.rolandsystemsgroup.eu/files/products/V-MixingSystemHandbook.pdf>, abgerufen am 02.12.2013, Veröffentlicht im September 2009
 19. REAC Informationsseite von Roland: <http://www.rolandsystemsgroup.net/en/0111d.htm>, abgerufen am 02.12.2013
 20. EtherSound Produktbroschüren: <http://www.ethersound.com/download/files/cutsheetES100.pdf> und <http://www.ethersound.com/download/files/cutsheetESgiga.pdf>, abgerufen am 02.01.2014
 21. Informationen zur ASIO Interface-Software von EtherSound: http://www.ethersound.com/products/getinfo.php?eprod_key=3001, abgerufen am 02.01.2014
 22. EtherSound-ASIO -Bridge: <http://www.auvitran.com/w2/index.php?page=avs-asio>, abgerufen am 30.01.2014
 23. Übersicht zu den erhältlichen EtherSound Interfaces: <http://www.ethersound.com/products/product.php>, abgerufen am 02.01.2014
 24. <http://www.ethersound.com/download/files/EtherSoundTechnology.pdf>, abgerufen am 02.01.2014
 25. Dante Übersicht des Herstellers Audinate: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=99, abgerufen am 03.01.2014
 26. Dante – ProTools Interface von Focusrite: <http://focusrite.de/ethernet-audio-interfaces/rednet-5>, abgerufen am 03.01.2014
 27. Dante PCIe Soundcard User Guide, Quelle: http://www.audinate.com/index.php?option=com_rubberdoc&view=doc&id=13&format=raw, abgerufen am 14.01.2014
 28. Dante Lizenznehmer (Hersteller, die Dante verwenden): http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=343, abgerufen am 06.01.2014
 29. Dante AES67 Ankündigung von der ISE 2014: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=409, abgerufen am 07.02.2014
 30. Harman Soundcraft Produktübersicht von Erweiterungskarten: http://www.soundcraft.com/downloads/fetchfile.aspx?cat_id=user_guides&id=3519, abgerufen am 03.01.2014
 31. Yamahas Premium Dante Produkte:
Nuage: http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/daw_systems/nuage/features.jsp
CL Mischpulte: <http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/mixers/cl/features.jsp>
abgerufen am 03.01.2014

32. Focusrite Rednet Dante Audio Interfaces: <http://focusrite.de/rednet>, abgerufen am 03.01.2014
33. Webers, Johannes: Handbuch der Tonstudioteknik (8.Auflage, 2003), Franzis', Poing
34. DiGiGrid / SoundGrid Informationen: <http://www.digigrid.net/faqs/> , abgerufen am 12.01.2014
35. SoundGrid Überblick: <http://www.waves.com/live-sound/soundgrid>, abgerufen am 12.01.2014
36. Verwaltung von DiGiGrid-Netzwerken: <http://www.waves.com/mixers-racks/emotion-lvl>, abgerufen am 17.02.2014
37. Wikipedia-Eintrag zu Soundgrid: <http://en.wikipedia.org/wiki/SoundGrid> , abgerufen am 12.01.2014
38. Bedienungsanleitung der SoundGrid-Treiber: <http://www.waves.com/1lib/pdf/live/soundgrid-driver.pdf>, abgerufen am 14.01.2014
39. Vorläufer von AES67: AES-X192: <http://www.x192.org/> , abgerufen am 07.02.2014
40. AVnu Mitglieder: http://www.avnu.org/about_us/our_members, abgerufen am 12.01.2014
41. AVnu Whitepaper professional AVB (Vorläufer AES67):
http://www.avnu.org/files/static_page_files/AADD5FA4-1D09-3519-AD240815A16F57DC/AVnu%20Pro__White%20Paper.pdf , abgerufen am 07.02.2014
42. CobraNet, Datenstruktur: http://www.cobranet.info/support/design/bundle_assignments, abgerufen am 12.01.2014
43. CobraNet Technologie:
http://www.cirrus.com/en/pubs/manual/CobraNet_Programmer_Manual_PM25.pdf, abgerufen am 12.01.2014
44. CobraNet-Broschüre von Yamaha: http://www.cobranet.info/sites/default/files/YamahaWP_-_Networked_audio_system_design_with_CobraNet_012607.pdf , abgerufen am 12.01.2014
45. http://www.mediatechnologysystems.com/images/Stage8_8_Brochure_Web_01_23_13.pdf (CobraNet Stagebox), abgerufen am 12.01.2014
46. <http://www.atterotech.com/products/voicebox-4iop/> (CobraNet Stagebox), abgerufen am 12.01.2014
47. Avid SC48/Venue Kompatibilität:
http://avid.force.com/pkb/articles/en_US/Compatibility/VENUE-SC48-AVB-Compliance?retURL=%2Fpkb%2Farticles%2Fen_US%2Fcompatibility%2FCan-I-use-the-Stage-16-I-O-with-SC48-Remote&popup=true, abgerufen am 04.01.2014
48. ProTools Systemspezifikationen: <http://www.avid.com/US/products/Pro-Tools-Software/Features#Specifications> , abgerufen am 15.01.2014
49. Ravenna und AES67: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/open-technology-standards/aes67-x192.html>, abgerufen am 06.01.2014
50. Ravenna im Netzwerk: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/the-history/the-advantage-of-ip.html> , abgerufen am 06.01.2014
51. Ravenna Technologie: <http://ravenna.alcnetworx.com/technology/technology-overview.html>, abgerufen am 06.01.2014
52. Ravenna im Detail:
http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf, abgerufen am 06.01.2014
53. Ravenna Partner: <http://ravenna.alcnetworx.com/partners/partner-companies.html>, abgerufen am 06.01.2014
54. Merging Technologists und Ravenna: <http://www.merging.com/products/pyramix/ravenna>, abgerufen am 06.01.2014

55. Lawo und Ravenna: <https://www.lawo.com/de/produkte/io-systeme/ravenna-card.html>, abgerufen am 06.01.2014
56. Ravenna Downloads: <http://ravenna.alcnetworx.com/infos-downloads/downloads.html>, abgerufen am 06.01.2014
57. <https://www.lawo.com/de/anwendungen/applications.html>, abgerufen am 08.02.2014
58. RME MADI-Interface 192 I/O: http://www.rme-audio.de/products_madiface_xt.php abgerufen am 10.02.2014
59. Vergleich Merging Technologies MassCore oder Native: <http://www.merging.com/products/pyramix/masscore-native>, abgerufen am 10.02.2014
60. Hildebrand, Andreas: Networked Audio: Aktuelle Entwicklungen und technologische Perspektiven für den Broadcast-Markt, 26. Tonmeistertagung 2010, Quelle: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf, abgerufen am 06.01.2014

7 Erklärung der Selbstständigkeit

Ich versichere, dass ich diese Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wortwörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift

8 Anhang

8.1 Tabellarische Übersicht der Netzwerkprotokolle

Name	Hersteller	OSI-Layer	Kanalzahl	Switches	Topologie	Redundanz	minimale Latenz	Computer Audio	Steuersoftware
A-Net	Aviom	1	64	ja, eigene	Stern	ja	< 1ms	-	Pro64 Network Manager
Rocknet	Riedel	1	160	nein	Ring	ja	< 1ms	-	RockWorks
AES50	MIDAS / Behringer	1	48 x 48	nein	Point-to-Point	ja, Herstellerabhängig	< 0,5ms	-	-
REAC	Roland	2	40	ja, Einschränkungen	Stern	ja	< 0,5ms	virtuelle Soundkarte, Win	Sonar
EtherSound	Digigram	2	256 x 256	ja, Einschränkungen	Reihe, Ring, Stern	ja, nur bei Ring	2ms	spezielles Interface, Win	EScontrol
CobraNet	Cirrus Logic	2	64 x 64	ja	Stern	ja	1,3ms	-	CobraNet Manager, Win
DiGiGrid/ SoundGrid	DiGiCo/ Waves	2	256 x 256	ja	Stern	ja, nur Server	< 1ms	virtuelle Soundkarte, universell	Waves Multitrack, eMotion
Dante	Audinate	3	512 x 512	ja, alle	Ethernet	ja	< 0,5ms	virtuelle Soundkarte, universell	Dante Controller
AES67 / X192	AES	3	?	ja, alle	Ethernet	?	< 2ms	bisher keine Software	-
AVB	AVID	3	64 x 64	nein	Reihe, Ring	ja	?	virtuelle Soundkarte, universell	S3L Hardware
Ravenna	ALC NetworX GmbH	3	> 800	ja, alle	Ethernet	ja	< 1ms	virtuelle Soundkarte, Win	Ravenna Virtual Soundcard, Win
MADI / AES10	AES	-	64 (uni)	nein	Point-to-Point	ja, Herstellerabhängig	< 100µs	spezielles Interface	-

8.2 Alphabetisches Abkürzungsverzeichnis

ADAT	Alesis Digital Audio Tape (gemeint ist hier nur das zugehörige optische Übertragungsformat via Toslink für 8 Audiokanäle)
AES	Audio Engineering Society, amerikanischer Verband zur Erstellung von Normen für Audiotechnik
AES3	auch: AES/EBU; Format für digitale Audioübertragungen von zwei Kanälen über ein symmetrisches XLR-Kabel oder ein 75 Ohm BNC-Kabel, weitgehend kompatibel zu elektrischem S/PDIF
AES10	auch: MADI; 56 (mit Varispeed) bzw. 64 (ohne Varispeed) Audiokanäle per 75 Ohm BNC-Kabel oder Lichtleiter
ASIO	Audio Stream Input / Output, von Steinberg, leistungsfähiger Mehrkanal-Audio-Treiber für Windows-Computer
AUX	Kurzform für „Auxiliary“, meint einen zusätzlichen Anschluss für verschiedene Zwecke
AVB	Audio- / Video-Bridging, Übertragung von Ton- und Bilddatenströmen über Computernetzwerke in professioneller Qualität (allgemeine Bezeichnung)
A/D	analog zu digital
BSS	Hersteller professioneller Audiotechnik, bekannt durch Kompressoren und Lautsprecher-Management-Systeme
CAT5, CAT5e	vierpaariges Kupferkabel mit gedrillten Leitungen mit der Qualität „Kategorie 5“, womit bestimmte Forderungen hinsichtlich der Dämpfung hoher Frequenzen und Übersprechen zwischen den Leitungen bzw. von äußeren Einflüssen (Schirmung) erfüllt werden
CRC	Cyclic Redundancy Check, eine gebräuchliche Technik, um Fehler bei einer binären Datenübertragung mithilfe eines Prüfpolynoms und einer einfachen Division
DAW	Digital Audio Workstation, digitale Tonbearbeitungs-Plattform, Computersoftware, z.B. AVID ProTools, Steinberg Nuendo, Merging Technologies Pyramix oder ähnliche
DSP	Digital Signal Prozessor, Computer-ähnlicher Prozessor, der auf die Anforderungen von Audio- oder Videoeffekten spezialisiert wurde
D/A	digital zu analog
EBU	European Broadcast Union
IEEE	Institut of Electrical and Electronics Engineers, weltweit organisierter Berufsverband, Herausgeber von technischen Normen, ähnlich der AES
IP	Internet Protocol
IP-Adresse	32 Bit IPv4-Adresse, aufgeteilt in vier mal 8 Bit, identifiziert Netzwerkteilnehmer weltweit und lokal, wird voraussichtlich durch

IPv6 ersetzt, um dem steigenden Bedarf an IP-Adressen gerecht zu werden. IP-Adressen sind nicht eindeutig, erst die Verbindung mit einer MAC-Adresse identifiziert einen eindeutigen Empfänger.

ISE	Integrated Systems Europe, Messe für Kommunikationstechnologie, bezogen auf Amsterdam 2014
IT	Informationstechnologie
LAN	Local Attached Network, Menge von Netzwerkteilnehmern, welche ein gemeinsames ethernet-Netzwerk benutzen, also nur durch Hubs und Switches verbunden sind.
MAC	
MADI	Multichannel Audio Digital Interface (56 bis 64 Kanäle via 75-Ohm BNC oder Lichtwellenleiter)
OSI	Open Systems Interconnection
PCI, PCIe	Peripheral Component Interconnect, interne Schnittstelle in Computersystemen mit sehr großer Bandbreite und Übertragungsgeschwindigkeit (mehrere Gigabit/Sekunde sind möglich), es gibt verschiedener Ausführungen.
PCM	Puls Code Modulation, Technik zur Abtastung analoger Spannungen, wobei nach einem festen Zeitintervall die anliegende Spannung mit einem Binärcode gespeichert wird. Gebräuchlichste Form der digitalen Audiodaten.
PTPv2	Precision Time Protocol (Verison 2)
QoS	Quality of Service, beschreibt die Eigenschaft von Switches und Routern, entsprechend gekennzeichneten Daten Vorrang zu gewähren und so den Datenfluss zum Vorteil von zeitkritischen Daten zu steuern
RJ-45	Typenbezeichnung für den 8-poligen Steckverbinder von ungefähr einem Zentimeter breite, welcher für Computer-Netzwerke sehr gebräuchlich ist. Typisch ist die Plastik-Nase, die beim Einstecken einrastet und ein lösen der Verbindung verhindert.
RME	deutscher Hersteller von professionellem Audio-Equipment
RTP	Real Time Transport Protocol
spl/frame	Audiosamples je Datenframe
SRP	Stream Reservation Protocol, System zur Generierung einer garantierten Übertragungsbandbreite innerhalb eines Netzwerks zwischen zwei Teilnehmern
SSL	Solid State Logic, englischer Hersteller, v.a. für Mischpulttechnik
TCP	Transmission Control Protocol; sicheres IP-Datenprotokoll, bei welchem die Übertragung fehlerhafter Datenpakete wiederholt wird, bis es korrekt empfangen wurde, der Übertragungsstatus jedes Paketes wird bestätigt.

Gebräuchlichstes Protokoll für Datenübertragungen im Internet

- TDIF Tascam Digital Interface (8-Kanalige, bidirektionale Schnittstelle via Multipinstecker)
- UDP User Datagram Protocol; verbindungsloses Übertragungsprotokoll für IP-Datenpakete, die Übertragung findet ohne Bestätigung des Empfangs statt, verlorene oder beschädigte Datenpakete werden nicht korrigiert
- VoIP Voice over IP, Internettelefonie