



# RAVENNA

*Netzwerkssystem im Bereich Audio over IP*

Ausarbeitung von Markus Richter

Tonseminar WS 2023 / 2024

Matrikelnummer: 44147

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Was ist RAVENNA?	4
Warum wurde RAVENNA entwickelt?	4
Anwendungsgebiete RAVENNA	5
OSI-Modell	5
Protokolle im OSI-Schichtenmodell	6
Schicht 1: Bitübertragungsschicht / Physical Layer	6
Schicht 2: Sicherungsschicht / Data Link Layer	6
Schicht 3: Vermittlungsschicht / Network Layer	7
Schicht 4: Transportschicht / Transport Layer	7
Die RAVENNA-Technology	7
Internet Protocol (IP)	7
Synchronisation	7
Precision Time Protocol	7
Netzorganisation	8
Ablauf	8
Streaming	9
Real-Time Transport Protocol	9
Payload Types:	10
Sequence Number:	10
Timestamp:	10
SSRC (Synchronization Source Identifier):	10
RTCP (Real-Time Transport Control Protocol):	10
Codec-specific Parameters:	10
RTCP Real-Time Control Protocol	11
Reporting and Feedback:	11
Synchronization:	11
Control Functions:	11

Congestion Control:	11
Scalability:	11
Backward Compatibility:	12
RTCP Control Packets:	12
Quality of Service (QoS)	12
Connection Management	12
Real-Time Streaming Protocol	13
Connection Establishment:	13
Session Setup:	13
Session Control:	13
Media Streaming:	13
Interleaved Mode:	13
Error Handling and Responses:	14
RTSP Proxying:	14
Session description protocol	14
Relevanz und Zukunftssicherheit von RAVENNA	15
Literaturverzeichnis	16
Abbildungsverzeichnis	16

# Was ist RAVENNA?

Bei RAVENNA handelt es sich grundlegend erst einmal um eine Abkürzung. Ausgeschrieben bedeutet RAVENNA:

**Real-time Audio & Video Enhanced Next-Generation Network Architecture**  
(AIMS Alliance for IP Media Solutions, 2019)

Es handelt sich hierbei um eine Technologie für die synchronisierte, echtzeitkritische Verteilung von echtzeitsensitiven Mediadaten auf qualifizierten IP Netzwerkinfrastrukturen.

## - Echtzeitsensitive Mediadaten:

Echtzeitsensitive Mediadaten stellen hierbei jegliche Art von Content dar, der einen Live-Bezug hat, einen Bezug zur absoluten Zeit.

## - Echtzeitkritische Verteilung:

Die echtzeitkritische Verteilung ist hierbei die Anforderung, die Mediadaten zwischen einer beliebigen Anzahl an Knotenpunkten im Netzwerk, auch möglichst in Echtzeit zu übertragen, also mit einer möglichst geringen Latenz, die sich im einstelligen Millisekundenbereich oder darunter befindet.

## - Synchronisiert:

Hierunter versteht man nicht nur die reine Synchronisation zwischen Signalerzeuger und Signalempfänger, sondern darüber hinaus, dass alle Datenströme, die im Netzwerk von dem System erfasst werden, auch zueinander, bezogen auf die Echtzeit, absolut Sample genau synchronisiert werden. Hier geht es also darum, dass einzelne Datenströme zueinander vollständig synchron verarbeitet werden können.

## - Qualifizierte IP Netzwerkinfrastrukturen:

Eine grundsätzlich IP-fähige Netzwerkinfrastruktur wird benötigt, allerdings muss diese bestimmte Dienstgütemerkmale zur Verfügung stellen, wie z.B. Datendurchsatz und determiniertes Transportverhalten der einzelnen Pakete (proaudio.tv DE, 2014).

Durch die Verwendung von standardisierten Netzwerkprotokollen und -technologien kann RAVENNA in bestehenden Netzwerkinfrastrukturen betrieben werden und ist von Haus aus vollständig AES67- und SMPTE ST 2110-konform (RAVENNA. (o.J.). *About RAVENNA*).

Entwickler der Technologie RAVENNA war ursprünglich ALC NetworX, wobei diese am 1. Januar 2024 mit dem Pro-Audio Hersteller und IP-Netzwerk-Pionier Lawo fusioniert sind und somit kein eigenständiges Unternehmen mehr darstellen.

Während Lawo weiterhin die führende Rolle in der Entwicklung der RAVENNA-Technologie behält, werden die Produktimplementierungen von einzelnen Partnerunternehmen durchgeführt, darunter DirectOut, Genelec, Merging Technologies, Peavey, Q-bit, Riedel, Ross Video und viele andere (RAVENNA. (o.J.). *ALC NetworX - now Lawo*).

# Warum wurde RAVENNA entwickelt?

RAVENNA wurde ursprünglich entwickelt, um die hohen Anforderungen des professionellen Rundfunkmarktes zu erfüllen. Kriterien für die Eignung für Rundfunktwendungen sind die folgenden:

- Betrieb in bestehender Umgebung
- Strukturierte Netztopologie
- Gemeinsamer Datenverkehr
- Skalierbarkeit - die Technologie muss in der Lage sein, mehrere hundert Streams gleichzeitig zu unterstützen
- Latenzzeit - im unteren einstelligen Millisekundenbereich
- Variable Abtastraten und Datenformate
- Hohe Verfügbarkeit/Redundanz - nahtlose Ausfallsicherung
- Native PC-Unterstützung
- WAN-/Routing-Fähigkeiten
- Nicht-proprietäre Lösung
- Basiert auf Standards

(RAVENNA. (o.J.). *RAVENNA for Broadcast*)

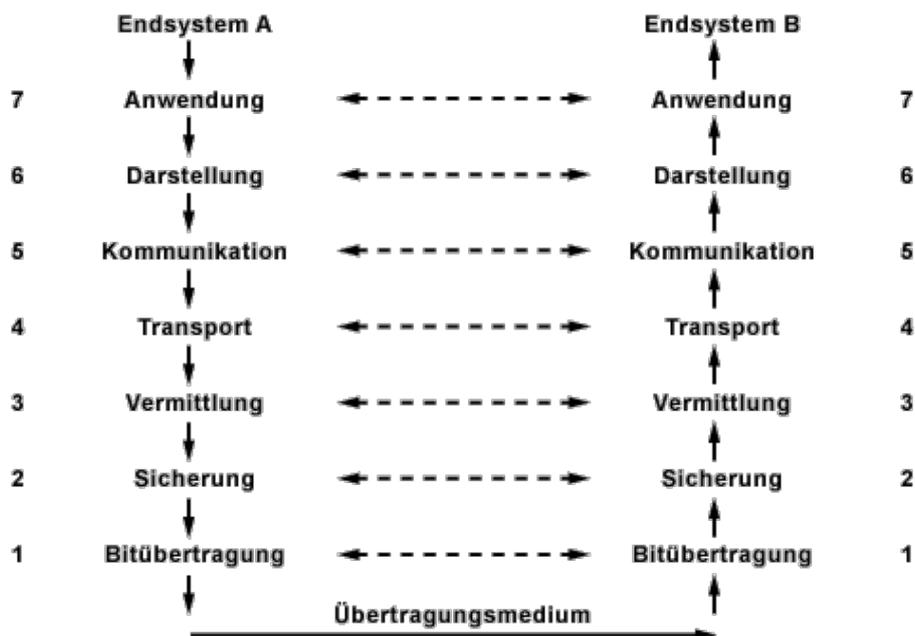
RAVENNA erfüllt die strengen Anforderungen des professionellen Audiemarktes und zeichnet sich durch niedrige Latenzzeiten, volle Signaltransparenz und hohe Zuverlässigkeit aus. Die Technologie zielt in erster Linie auf den professionellen Rundfunkmarkt ab, eignet sich allerdings auch für den Einsatz in anderen Pro-Audio-Marktsegmenten wie Live-Sound, Festinstallationen und Aufnahmen (RAVENNA. (o.J.). *ALC NetworX - now Lawo*).

## Anwendungsgebiete RAVENNA

Zu den Anwendungsgebieten gehören die interne Signalverteilung in Rundfunkanstalten und anderen Festinstallationen, flexible Setups an Veranstaltungsorten und bei Live-Events, die Unterstützung von Ü-Wagen, Inter-Studio-Verbindungen über WAN-Links und Produktionseinrichtungen (RAVENNA. (o.J.). *About RAVENNA*).

## OSI-Modell

Um die Kommunikation innerhalb eines Netzwerkes besser darzustellen, haben sich innerhalb der Netzwerktechnik Schichtenmodelle etabliert, um komplexe Vorgänge in einzelne Schritte aufzuteilen. Jeder Schritt oder auch jede Aufgabe wird als Schicht in einem Schichtenmodell übereinander dargestellt.



Das OSI-Schichtenmodell ist ein Referenzmodell für herstellerunabhängige Kommunikationssysteme bzw. eine Design-Grundlage für Kommunikationsprotokolle und Computernetze.

OSI bedeutet Open System Interconnection (Offenes System für Kommunikationsverbindungen) und wurde von der ISO (International Organization for Standardization), das ist die Internationale Organisation für Normung, als Grundlage für die Bildung von offenen Kommunikationsstandards entworfen.

Das OSI-Modell besteht aus sieben Schichten. Jede Schicht definiert für die Kommunikation zwischen zwei Systemen bestimmte Aufgaben und Funktionen. Für jede Schicht existieren Verfahren und Protokolle, die bestimmte Aufgaben erfüllen und der übergeordneten Schicht eine bestimmte Dienstleistung zur Verfügung stellen.

Die gestrichelten Linien sollen zeigen, dass eine virtuelle Verbindung auf den Schichten zwischen den Endsystemen besteht.

Bei der Kommunikation zwischen zwei Systemen durchläuft die Kommunikation oder der Datenfluss alle sieben Schichten des OSI-Schichtenmodells mindestens zwei Mal. Einmal beim Sender und einmal beim Empfänger. Je nachdem, wie viele Zwischenstationen die Kommunikationsstrecke aufweist, durchläuft die Kommunikation auch hier mehrmals das Schichtenmodell in Teilen oder auch ganz (Schnabel, P. (o.J.)).

## **Protokolle im OSI-Schichtenmodell**

Protokolle sind eine Sammlung von Regeln zur Kommunikation auf einer bestimmten Schicht des OSI-Schichtenmodells. Die Protokolle einer Schicht sind zu den Protokollen der über- und untergeordneten Schicht weitestgehend transparent, sodass die Verhaltensweise eines Protokolls sich wie bei einer direkten Kommunikation mit dem Gegenstück auf der Gegenseite darstellt. Die Übergänge zwischen den Schichten sind Schnittstellen, die von den Protokollen verstanden werden müssen. Weil manche Protokolle für ganz bestimmte Anwendungen entwickelt wurden, kommt es auch vor, dass sich Protokolle über mehrere Schichten erstrecken und mehrere Aufgaben abdecken. Dabei kommt es vor, dass in manchen Verbindungen einzelne Aufgaben in mehreren Schichten und somit mehrfach ausgeführt werden (Schnabel, P. (o.J.)).

## **Schicht 1: Bitübertragungsschicht / Physical Layer**

### **Maßnahmen und Verfahren zur Übertragung von Bitfolgen**

Die Bitübertragungsschicht definiert die elektrische, mechanische und funktionale Schnittstelle zum Übertragungsmedium. Die Protokolle dieser Schicht unterscheiden sich nur nach dem eingesetzten Übertragungsmedium und -verfahren. Das Übertragungsmedium ist jedoch kein Bestandteil der Schicht 1 (Schnabel, P. (o.J.)).

## **Schicht 2: Sicherungsschicht / Data Link Layer**

### **Logische Verbindungen mit Datenpaketen und elementare Fehlererkennungsmechanismen**

Die Sicherungsschicht sorgt für eine zuverlässige und funktionierende Verbindung zwischen Endgerät und Übertragungsmedium. Zur Vermeidung von Übertragungsfehlern und Datenverlust enthält diese Schicht Funktionen zur Fehlererkennung, Fehlerbehebung und Datenflusskontrolle. Auf dieser Schicht findet auch die physikalische Adressierung von Datenpaketen statt (Schnabel, P. (o.J.)).

## Schicht 3: Vermittlungsschicht / Network Layer

### Routing und Datenflusskontrolle

Die Vermittlungsschicht steuert die zeitliche und logisch getrennte Kommunikation zwischen den Endgeräten, unabhängig vom Übertragungsmedium und der Topologie. Auf dieser Schicht erfolgt erstmals die logische Adressierung der Endgeräte. Die Adressierung ist eng mit dem Routing (Wegfindung vom Sender zum Empfänger) verbunden (Schnabel, P. (o.J.)).

## Schicht 4: Transportschicht / Transport Layer

### Logische Ende-zu-Ende-Verbindungen

Die Transportschicht ist das Bindeglied zwischen den transportorientierten und anwendungsorientierten Schichten. Hier werden die Datenpakete einer Anwendung zugeordnet (Schnabel, P. (o.J.)).

## Die RAVENNA-Technology

### Internet Protocol (IP)

Als IP-basierte Lösung basiert RAVENNA auf Protokollebenen auf oder über Layer-3 des OSI-Referenzmodells.

IP kann auf praktisch jedem LAN transportiert werden und wird als Basisschicht für die Kommunikation über WAN-Verbindungen (einschließlich Internet) verwendet. Obwohl in den meisten Fällen Ethernet als zugrunde liegende Datenverbindungsschicht eingesetzt wird, ist IP im Allgemeinen Infrastruktur unabhängig und kann in praktisch jeder Netztechnologie und -topologie verwendet werden (RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*).

### Synchronisation

Während einfaches Streaming über ein Netzwerk ohne jegliche Synchronisation erreicht werden kann, ist bei professionellen Audioanwendungen eine enge Synchronisation zwischen allen Geräten und Streams absolut notwendig. Während die Wiedergabesynchronisation in den meisten Anwendungen eine exakte Abtastung erfordert, war es das Ziel von RAVENNA, optional eine bessere Leistung durch phasengenaue Synchronisation von Medientakten gemäß AES-11 zu bieten; dies würde die separate Verteilung einer Referenz-Wordclock im gesamten Gebäude oder Veranstaltungsort überflüssig machen (RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*).

### Precision Time Protocol

In RAVENNA wird die Synchronisation über alle Knoten durch IEEE1588-2008 (Precision Time Protocol - manchmal auch als PTPv2 bezeichnet) erreicht, ein weiteres Standardprotokoll, das auf IP betrieben werden kann. PTPv2 ermöglicht die Synchronisierung lokaler Uhren mit einer Genauigkeit im unteren Nanosekundenbereich in Bezug auf eine zugehörige Hauptuhr - vorausgesetzt, alle teilnehmenden Switches unterstützen PTPv2 von Haus aus. Aber auch ohne native PTP-Unterstützung ist die erreichbare Genauigkeit - obwohl sie je nach Größe und Bandbreitennutzung des Netzes variiert - mehr als ausreichend, um eine abtastgenaue Synchronisierung über jeden Knoten zu erreichen.

Eine abtastgenaue Synchronisierung kann sogar über WAN-Verbindungen erreicht werden, wenn die lokalen Hauptuhren mit GPS als gemeinsamer Zeitdomäne synchronisiert werden (RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*).

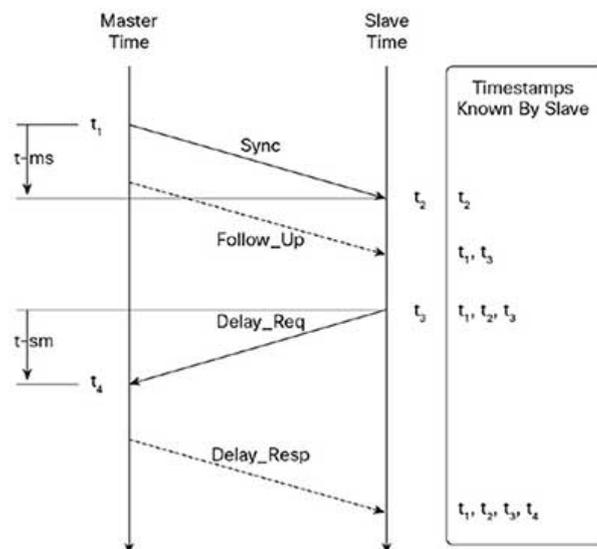
## Funktionsweise

### Netzorganisation

Beim Precision Time Protocol besteht das Netzwerk hierbei aus kommunizierenden Uhren. Von diesen teilnehmenden Geräten wird über den Best Master Clock (BMC)-Algorithmus dasjenige ermittelt, das die exakteste Zeit angibt. Dieses Gerät dient als Referenzuhr und wird als Grandmaster Clock bezeichnet. Bei Änderungen in der Netz-Topologie wird der BMC-Algorithmus auf möglicherweise vom Grandmaster abgeschnittenen Netzsegmenten neu durchgeführt. Hat ein teilnehmendes Gerät sowohl die Master- als auch die Slave-Rolle, dann wird es auch als Boundary Clock bezeichnet (Wikipedia. (o.J.)).

### Ablauf

Grundlegend für alle PTP-Protokolle ist die Möglichkeit, den Sende- und Empfangszeitpunkt von Ethernet-Telegrammen in der Ethernet-Hardware exakt zeitstempeln zu können. Dadurch können die Laufzeitdifferenzen zwischen dem Grandmaster und den Slaves berechnet werden.



<https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/images/tech-notes-articles/grafik-master-slave.jpg>

1. Der Grandmaster schickt zur Zeit  $t_1$  eine SyncMessage an die Slaves, beinhaltend den geschätzten Versendezeitpunkt. Diese kommt zum Zeitpunkt  $t_2$  am Slave an.
2. Der Grandmaster schickt kurz darauf ein FollowUp hinterher, beinhaltend die reale Versendezeit  $t_1$  des vorherigen Telegramms.
3. Dieser Vorgang wiederholt sich zyklisch im SyncIntervall, z.B. alle 2 Sekunden. Definierte bzw. unterstützte Intervalle sind 0.5s, 1s, 2s, 4s (PTPv2)

In größeren Abständen untersucht der Slave den Rückweg:

1. Der Slave schickt eine DelayRequest an den Master, dieser empfängt sie zur Zeit  $t_4$ .
2. Dieser antwortet mit der DelayResponse Message, in der Empfangszeit  $t_4$  enthalten ist.

Daraus lassen sich auf beiden Seiten die Latenzzeiten berechnen und die Drift ausregeln (BECKHOFF New Automation Technology. (o.J.)).

# Streaming

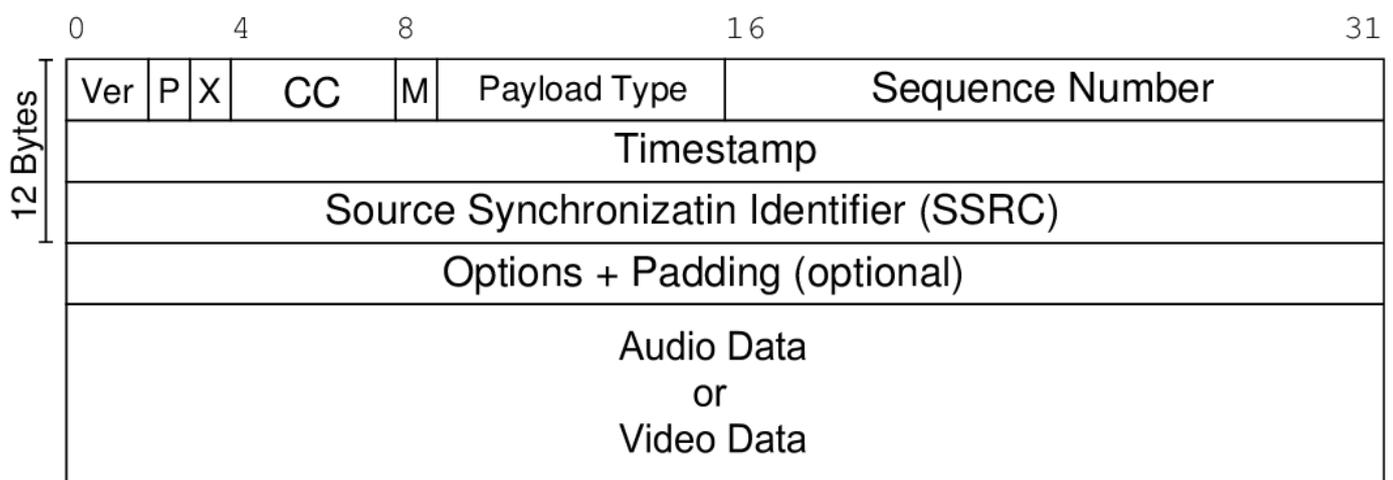
Da IP als Basis gewählt wurde, ist es nur natürlich, RTP für das Streaming von Medieninhalten zu verwenden.

RTP - das Echtzeit-Transportprotokoll, wie es von der IETF definiert wurde, ist weit verbreitet und wird von zahlreichen Anwendungen unterstützt und verfügt über eine große Anzahl von standardisierten Nutzdatenformaten. Für RAVENNA wird speziell RTP/AVP über UDP zusammen mit RTCP (dem Echtzeit-Transportkontrollprotokoll) gemäß RFC 3550 verwendet. Dies bietet die Möglichkeit, jeden RAVENNA-Stream über IP-basierte WAN-Verbindungen zu transportieren. Die grundlegenden Nutzdatenformate für Audio sind 16 und 24-bit @48kHz mit einer beliebigen Anzahl von Kanälen. Dies würde es jedem Standard-Media-Player ermöglichen, sich mit einem RAVENNA-Stream zu verbinden und dessen Inhalt zu überwachen - auch ohne Kenntnis oder Unterstützung anderer RAVENNA-spezifischer Funktionen oder Methoden. Natürlich ist das Payload-Format nicht auf diese grundlegenden Formate beschränkt, da mit RTP bereits eine Vielzahl verschiedener Payload-Formate für Audio und Video definiert ist; es wird sogar sowohl im Unicast- als auch im Multicast-Modus pro Stream unterstützt, was die größtmögliche Flexibilität bietet, um die unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Anwendungen zu erfüllen. Unicast wird in Situationen bevorzugt, in denen ein bestimmter Stream nur an ein einziges Ziel transportiert werden muss, oder in denen die Netzinfrastruktur oder die Anwendung die Verwendung von Multicast verbietet (z.B. bei den meisten WAN-Verbindungen). Andererseits ermöglicht Multicast eine ressourceneffiziente Nutzung der Netzverbindungen und ein schnelleres Umschalten zwischen verfügbaren Streams in Situationen, in denen ein bestimmter Stream an verschiedenen Orten abgerufen wird (RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*).

## Real-Time Transport Protocol

RTP steht für Real-Time Transport Protocol, ein Netzwerkprotokoll, das zur Übertragung von Audio- und Videodaten in Echtzeit über IP-Netze verwendet wird. RTP bietet Mechanismen für die Zustellung von Datenpaketen, die Rekonstruktion des Zeitablaufs und die Rückmeldung der Empfangsqualität.

RTP-Profilen definieren die spezifischen Regeln und Richtlinien für den Transport verschiedener Arten von Mediendaten innerhalb von RTP. Eines der am häufigsten verwendeten RTP-Profilen ist das RTP/AVP (RTP Audio/Video Profile), das den Transport von Audio- und Videodaten spezifiziert.



Das RTP/AVP-Profil definiert die folgenden Schlüsselemente:

---

### Payload Types:

RTP verwendet payload types, um die Art der in einem Paket übertragenen Daten zu identifizieren. Das RTP/AVP-Profil weist payload types für verschiedene Audio- und Videocodecs zu. So wird z.B. payload type 0 häufig für PCM-Audio (Pulse Code Modulation), payload type 8 für PCMA-Audio (G.711 A-law) und payload type 96 für H.264-Video verwendet.

---

### Sequence Number:

Jedem RTP-Paket wird eine Sequenznummer zugewiesen, damit der Empfänger die ursprüngliche Reihenfolge der Pakete rekonstruieren kann. Die Sequenznummer ist im RTP-Header enthalten und wird für jedes gesendete Paket inkrementiert.

---

### Timestamp:

RTP enthält ein Zeitstempelfeld im Header eines jeden Pakets, um die Synchronisierung von Audio- und Videoströmen zu ermöglichen. Der Zeitstempel gibt die Zeit an, zu der das erste Sample im Paket erzeugt wurde.

---

### SSRC (Synchronization Source Identifier):

SSRC ist eine eindeutige Kennung, die jedem Teilnehmer an einer RTP-Sitzung zugewiesen wird. Sie hilft bei der Unterscheidung zwischen verschiedenen Quellen von RTP-Paketen und ermöglicht es den Empfängern, Pakete mit bestimmten Quellen zu verbinden.

---

### RTCP (Real-Time Transport Control Protocol):

RTCP arbeitet mit RTP zusammen, um Rückmeldungen über die Qualität und Statistiken der RTP-Sitzung zu geben. Es ermöglicht den Teilnehmenden die Überwachung der Empfangsqualität, die Kontrolle der Übertragungsraten und den Austausch von Kontrollinformationen.

---

### Codec-specific Parameters:

Das RTP/AVP-Profil enthält codec-spezifische Parameter für die in der Sitzung verwendeten Audio- und Videocodecs. Diese Parameter definieren die Codec-Einstellungen, z.B. Abtastrate, Bildrate, Bitrate und Codierungsoptionen.

Bei der Übertragung von Audio- und Videodaten mit RTP/AVP werden Daten in der Regel in UDP-Paketen (User Datagram Protocol) gekapselt. RTP-Pakete enthalten einen Header mit den notwendigen Informationen für die ordnungsgemäße Übertragung und Synchronisierung der Medienströme, während die eigentlichen Audio- und Videodaten in der Nutzlast der RTP-Pakete enthalten sind.

RTP/AVP bietet einen standardisierten Rahmen für den Transport von Audio- und Videodaten, der es verschiedenen Geräten und Anwendungen ermöglicht, effektiv über IP-Netzwerke zu kommunizieren. Durch die Einhaltung des RTP/AVP-Profiles können Entwickler die Interoperabilität und Kompatibilität zwischen verschiedenen RTP-basierten Systemen sicherstellen (Telecom Trainer. (2023, 20. Juni). *RTP/AVP RTP audio and video profile*).

# RTCP Real-Time Control Protocol

RTCP, die Abkürzung für Real-Time Control Protocol, ist ein Zusatzprotokoll zum Real-Time Transport Protocol (RTP).

Der Hauptzweck von RTCP besteht darin, Rückmeldungen über die Qualität und Leistung des RTP-Datenstroms zu geben. Es ermöglicht den Teilnehmern einer Multimedia-Sitzung, die Echtzeit-Kommunikationssitzung durch den Austausch von Kontrollinformationen zu überwachen und zu verwalten. RTCP arbeitet auf kooperative Weise, wobei alle Teilnehmer zu den Kontrollmechanismen beitragen.

Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte von RTCP erläutert:

---

## Reporting and Feedback:

RTCP ermöglicht es den Teilnehmern, Rückmeldungen über die Qualität der übertragenden Medien zu geben. Diese Rückmeldung umfasst Statistiken wie Paketverlust, Verzögerung, Jitter und Round-Trip-Time (RTT). Die Teilnehmer senden RTCP-Pakete, die „Sender Reports“ und „Receiver Reports“ genannt werden, um ihre eigenen Übertragungsstatistiken zu melden und Informationen über die empfangenen Medien zu übermitteln.

---

## Synchronization:

RTCP enthält Zeitinformationen, die bei der Synchronisierung der Multimediaströme zwischen den Teilnehmern helfen. Es hilft, die Lippsynchronisation in Audio- und Videoströmen aufrechtzuerhalten, um sicherzustellen, dass die Teilnehmer ein kohärentes und synchronisiertes Medienerlebnis wahrnehmen.

---

## Control Functions:

RTCP bietet Kontrollfunktionen für die Multimedia-Sitzung. Zu diesen Funktionen gehören die Signalisierung von Ereignissen wie Beginn oder Ende eines Gesprächs, Eintritt oder Austritt eines Teilnehmers aus der Sitzung sowie Änderungen der Medieneigenschaften. Diese Kontrollfunktionen ermöglichen es den Teilnehmern und den Sitzungsmanagementsystemen, sich dynamisch an Veränderungen anzupassen.

---

## Congestion Control:

RTCP hilft bei der Überlastungskontrolle, indem es die Netzbedingungen überwacht und die Übertragungsraten anpasst. Die von RTCP gelieferten Rückmeldungen helfen den Teilnehmern, sachkundige Entscheidungen über die Anpassung ihrer Übertragungsparameter, z.B. der Codec-Bitrate oder der Paketgröße, zu treffen, um die Überlastung des Netzes zu verringern.

---

## Scalability:

RTCP ist so konzipiert, dass es mit der Anzahl der Teilnehmer an einer Sitzung gut skaliert. Es verwendet eine verteilte Architektur, bei der jeder Teilnehmer RTCP-Berichte an eine Multicast-Adresse sendet, die alle anderen Teilnehmer empfangen können. Auf diese Weise werden die Kontrollinformationen effizient unter den Teilnehmern verteilt, ohne dass das Netz überlastet wird.

---

## Backward Compatibility:

RTCP ist abwärtskompatibel, d.h. neuere Versionen von RTCP können mit älteren Versionen zusammenarbeiten. Dies ermöglicht die schrittweise Einführung neuer Funktionen und Verbesserungen, ohne dass bestehende Implementierungen gestört werden.

---

## RTCP Control Packets:

RTCP verwendet verschiedene Arten von Kontrollpaketen für unterschiedliche Zwecke. Dazu gehören Absender- und Empfängerberichte, Quellenbeschreibungspakete (SDS) für die Sitzungsidentifizierung und Teilnehmerinformationen, BYE-Pakete, um die Abreise von Teilnehmern zu signalisieren, anwendungsspezifische Pakete für erweiterte Kontrollfunktionen und mehr.

Es ist wichtig zu wissen, dass RTCP nicht den eigentlichen Medieninhalt selbst überträgt. Es arbeitet mit RTP zusammen, das für den Transport der Medienpakete zuständig ist. RTP liefert die Nutzdaten, während RTCP sich auf die Steuerung und Rückmeldung konzentriert.

Insgesamt spielt RTCP eine wichtige Rolle bei der Synchronisierung und Kontrolle der Echtzeit-Multimedia-Kommunikation über IP-Netze. Seine Feedback-Mechanismen und Kontrollfunktionen ermöglichen eine effektive Verwaltung und Optimierung der Multimedia-Sitzung für ein besseres Benutzererlebnis (Telecom Trainer. (2023, 20. Juni). *RTCP Real-Time Control Protocol*).

## Quality of Service (QoS)

Da verschiedene Dienste mit RAVENNA im selben Netz koexistieren können, muss sichergestellt werden, dass der RAVENNA-bezogene Verkehr im gesamten Netz mit Priorität behandelt wird.

Für IP-basierten Verkehr wurden im Laufe der Zeit mehrere QoS-Schemata als Standard definiert. Heute hat DiffServ andere Layer-3-QoS-Mechanismen (wie z.B. IntServ) als primäres Protokoll zur Bereitstellung verschiedener Dienstgütegrade weitgehend verdrängt und wird von den meisten modernen Managed Switches unterstützt. DiffServ arbeitet nach dem Prinzip der traffic classification, bei der jedes Datenpaket in eine begrenzte Anzahl von traffic classes eingeteilt wird, anstatt den Netzverkehr auf der Grundlage der Anforderungen eines einzelnen Datenstroms zu unterscheiden. Jede traffic class kann unterschiedlich verwaltet werden, so dass der Verkehr mit höherer Priorität im Netz bevorzugt behandelt wird.

Sogar innerhalb von RAVENNA gibt es unterschiedliche Prioritäten für verschiedene Verkehrsklassen: Während der Verkehr im Zusammenhang mit der Synchronisation die höchste Priorität enthält, unmittelbar gefolgt von jeglichem Echtzeit-Medienverkehr, hat der Kontroll- und Konfigurationsverkehr eine niedrigere Priorität. Jeglicher Nicht-RAVENNA-Verkehr erhält die niedrigste (Standard-) Priorität und wird als Best-Effort-Verkehr behandelt (RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*).

## Connection Management

Ein Empfänger kann über das RTSP/SDP-Protokoll eine Verbindung zu einem vorhandenen Stream herstellen. Auch dieses Schema wird von den meisten gängigen Media-Playern unterstützt.

Während RTSP für die Kontrollkommunikation zwischen Empfänger und Sender verwendet wird, enthält der SDP-Datensatz alle relevanten Informationen über einen oder mehrere Streams - wie Stream-Name, Nutzdatenformate, Anzahl der Kanäle, Zugangsinformationen usw.. Obwohl ein typisches RAVENNA-SDP einige spezifische Erweiterungen enthält (z.B. Clock-Domain und Sync-Informationen), kann jeder nicht RAVENNA-fähige Media Player einen RAVENNA-Stream trotzdem empfangen und abspielen, indem er die spezifischen Erweiterungen einfach ignoriert (RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*).

# Real-Time Streaming Protocol

RTSP (Real-Time Streaming Protocol) ist ein Netzwerkprotokoll, das für die Steuerung und Bereitstellung von Echtzeit-Medienströmen wie Audio oder Video über IP-Netzwerke entwickelt wurde.

RTSP arbeitet in einem Client-Server-Modell, bei dem der Client, in der Regel ein Media Player oder eine Streaming-Anwendung, eine Verbindung mit einem Server herstellt, der den Medienstrom bereitstellt. Das Protokoll ermöglicht es dem Client, die Wiedergabe des Streams zu steuern, z.B. Starten, Pausieren, Suchen und Anhalten.

Im Folgenden eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise von RTSP:

---

## Connection Establishment:

Der Client stellt eine TCP-Verbindung mit dem RTSP-Server an Port 554 her. Diese Verbindung wird für den Austausch von Befehls- und Kontrollnachrichten zwischen dem Client und dem Server verwendet.

---

## Session Setup:

Sobald die Verbindung hergestellt ist, sendet der Client eine RTSP SETUP-Anfrage an den Server. Diese Anfrage gibt den abzuspielenden Medienstrom an und legt die Sitzungsparameter fest, z.B. das Transportprotokoll (UDP oder TCP) und die Portnummern. Der Server antwortet mit einer RTSP SETUP-Antwort, die den Erfolg oder Misserfolg über die aufgebaute Sitzung liefert.

---

## Session Control:

Nach dem Sitzungsaufbau kann der Client verschiedene RTSP-Befehle zur Steuerung des Medienstroms senden. Einige der am häufigsten verwendeten Befehle sind:

- **PLAY:** Weist den Server an, mit der Wiedergabe des Medienstroms zu beginnen.
- **PAUSE:** Unterbricht die Wiedergabe des Medienstroms.
- **TEARDOWN:** Beendet die Sitzung und hält den Stream an.
- **DESCRIBE:** Ruft Metadateninformationen über den Medienstrom ab, z. B. verwendete Codecs, Dauer und URLs für zusätzliche Streams.
- **SET\_PARAMETER:** Sendet Steuerparameter an den Server, z.B. Lautstärkeregelung oder Streamauswahl.

---

## Media Streaming:

Sobald der PLAY-Befehl erteilt wird, beginnt der Server mit der Übermittlung des Medienstroms an den Client. Die eigentlichen Mediendaten werden in der Regel über ein separates Protokoll wie RTP (Real Time Transport Protocol) oder RTCP (Real-Time Control Protocol) übertragen. RTSP ist für die Steuerung der Wiedergabe zuständig, während RTP die eigentlichen Medienpakete überträgt.

---

## Interleaved Mode:

RTSP unterstützt auch den Interleaved-Modus, bei dem die RTSP-Steuernachrichten und die RTP-Medienpakete über eine einzige TCP-Verbindung gemultiplext werden. Dieser Modus ist

nützlich, wenn RTSP- und Mediendaten über Firewalls oder Netzwerkgeräte übertragen werden müssen, die nur eine einzige TCP-Verbindung zulassen.

---

## Error Handling and Responses:

RTSP definiert eine Reihe von Antwortcodecs, die den Status einer Anfrage angeben. Zu diesen Codecs gehören Informations-, Erfolgs-, Weiterleitungs-, Client-Fehler- und Server-Fehlercodes. Der Client interpretiert den Antwortcode und ergreift die entsprechenden Maßnahmen.

---

## RTSP Proxying:

RTSP unterstützt Proxying, das es zwischengeschalteten RTSP-Servern oder Proxies ermöglicht, Client-Anfragen zu bearbeiten und an andere Server weiterzuleiten. Dies ermöglicht skalierbare und verteilte Medien-Streaming-Architekturen.

Es ist wichtig zu wissen, dass RTSP in erster Linie ein Kontrollprotokoll ist und nicht den eigentlichen Medienstromtransport übernimmt. Es stützt sich auf anderen Protokollen wie RTP oder RTCP, um die Mediendaten zu übertragen.

Insgesamt bietet RTSP eine standardisierte Möglichkeit für Clients, Medienströme in Echtzeit zu steuern und darauf zuzugreifen, was es zu einer wesentlichen Komponente für verschiedene Streaming-Anwendungen und -Dienste macht (Telecom Trainer. (2023, 20. Juni). *RTSP Real-time Streaming Protocol*).

## Session description protocol

Das Session Description Protocol (SDP) ist ein Kommunikationsprotokoll, das im Bereich des Multimedia-Streaming und der Kommunikation weit verbreitet ist. Es ist in der Internet Engineering Task Force (IETF) Request for Comments (RFC) 4566 definiert. SDP bietet ein standardisiertes Verfahren zur Beschreibung von Multimedia-Sitzungen, das es Geräten und Anwendungen ermöglicht, die Parameter und Merkmale einer Sitzung auszuhandeln.

SDP wird hauptsächlich in Verbindung mit anderen Protokollen wie dem Real-Time Streaming Protocol (RTSP) und dem Session Initiation Protocol (SIP) verwendet, um Multimedia-Sitzungen aufzubauen und zu steuern. Es ermöglicht den Teilnehmern einer Sitzung, Informationen über Medientypen, Codecs, Netzwerkadressen und andere sitzungsbezogene Details auszutauschen.

Der Hauptzweck von SDP besteht darin, die Aushandlung und den Aufbau einer Multimedia-Sitzung zwischen zwei oder mehreren Endpunkten zu erleichtern. Bei diesen Endpunkten kann es sich um Multimedia-Geräte wie Kameras und Mikrofone oder um Software-Anwendungen handeln, die auf Computern oder mobilen Geräten laufen. SDP fungiert als gemeinsame Sprache, die es diesen Endpunkten ermöglicht, die Fähigkeiten und Anforderungen des jeweils anderen zu verstehen.

SDP-Nachrichten bestehen aus einer Reihe von Zeilen, die jeweils ein bestimmtes Format und einen bestimmten Zweck haben. Die Zeilen sind als Schlüssel-Wert-Paar aufgebaut, wobei der Schlüssel die Art der zu übermittelnden Informationen angibt und der Wert die eigentlichen Daten liefert. SDP unterstützt eine breite Palette von Sitzungsattributen, darunter Sitzungsname, Medientypen, Codecs, Transportprotokolle, Netzwerkadressen und Zeitangaben.

Eines der Hauptmerkmale von SDP ist seine Flexibilität und Erweiterbarkeit. Es erlaubt die Aufnahme von benutzerdefinierten Attributen, die die Beschreibung von sitzungsspezifischen Parametern ermöglichen, die nicht durch die Standardattribute abgedeckt sind. Dank dieser Erweiterbarkeit eignet sich SDP für eine Vielzahl von Anwendungen und Szenarien.

Um eine Sitzung mit SDP zu initiieren, sendet der initiierende Endpunkt eine SDP-Angebotsnachricht an den entfernten Endpunkt. Das Angebot enthält Informationen über die gewünschten Sitzungsparameter, wie z.B. die unterstützten Medienformate und Netzwerkkonfigurationen. Der entfernte Endpunkt antwortet dann mit einer SDP-Antwortnachricht, in der er angibt, dass er die angebotenen Parameter akzeptiert oder Änderungen vorschlägt.

Während des Verhandlungsprozesses können die Endpunkte mehrere Runden des Austauschs von Angeboten und Antworten durchlaufen, bis sie zu einem gemeinsam vereinbarten Satz von Sitzungsparametern gelangen. Diese Verhandlung ermöglicht eine dynamische Anpassung an die Netzbedingungen und die Fähigkeiten der Teilnehmer und gewährleistet eine optimale Kommunikationsqualität.

Sobald die Sitzungsparameter vereinbart sind, können die Endpunkte mit der Übertragung von Medienströmen unter Verwendung der ausgehandelten Einstellungen beginnen. Das SDP liefert dem empfangenden Endpunkt die notwendigen Informationen, um die Medienströme ordnungsgemäß zu dekodieren und wiederzugeben. Es spezifiziert die Codecs, Nutzdatenformate und Transportprotokolle, die für jeden Medientyp verwendet werden sollen.

SDP unterstützt auch das Konzept der Sitzungsbeschreibungsgruppierung, mit dem mehrere Medienströme für die Synchronisierung oder andere Zwecke gruppiert werden können. So können z.B. bei einer Videokonferenz die Audio- und Videoströme gruppiert werden, um sicherzustellen, dass sie auf der Empfängerseite synchron wiedergegeben werden.

SDP ist ein textbasiertes Protokoll, was bedeutet, dass es sowohl von Menschen als auch von Maschinen leicht gelesen und bearbeitet werden kann. Es wird häufig in Verbindung mit anderen Protokollen verwendet, die SDP-Nachrichten in ihren Nutzdaten enthalten. So verwendet SIP beispielsweise SDP, um die Multimedia-Fähigkeiten der Teilnehmer einer Sitzung zu beschreiben, während RTSP SDP verwendet, um die wiederzugebenden Medienströme auszuhandeln. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Session Description Protocol (SDP) eine entscheidende Rolle bei der Erleichterung des Aufbaus und der Kontrolle von Multimedia-Sitzungen spielt. Es bietet ein standardisiertes Format zur Beschreibung von Sitzungsparametern, das es den Endpunkten ermöglicht, die Merkmale einer Sitzung auszuhandeln und zu vereinbaren. Dank seiner Flexibilität und Erweiterbarkeit eignet sich das SDP für eine Vielzahl von Anwendungen, und seine Integration mit anderen Protokollen ermöglicht eine nahtlose Multimedia-Kommunikation (Telecom Trainer. (2023, 27. Juni). *SDP Session description protocol*).

## **Relevanz und Zukunftssicherheit von RAVENNA**

ALC NetworX wurde mit dem TechEmmy Award 2020 für seinen herausragenden Beitrag zur Entwicklung des synchronisierten, unkomprimierten Mehrkanal-Audio transports über IP ausgezeichnet. Zudem ist RAVENNA vollständig kompatibel mit den Standards AES67 und SMPTE ST 2110. Die Zusammenarbeit mit Standardisierungsorganisationen und Industrieverbänden (z.B. AES, AIMS, AMWA, SMPTE und andere) stellt sicher, dass die RAVENNA-Technologie den aktuellen Trends der Industrie entspricht und zukunftssicher bleibt (RAVENNA. (o.J.). *ALC NetworX - now Lawo*).

## Literaturverzeichnis

- AIMS Alliance for IP Media Solutions (2019, 25. Oktober). *AES NY 2019 AES67 and SMPTE ST 2110-The Vulcan Nerve Pinch to RAVENNA?* [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=DQrWS0rkDIk>
- BECKHOFF New Automation Technology. (o.J.). *Grundlagen IEEE 1588*. Beckhoff Automation. Abgerufen am 29. Februar von <https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/el6688/2149767563.html&id=>
- proaudio.tv DE (2014, 19. Mai). *Audionetzwerktechnologie - Teil 2 (Ravenna)* [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=hBb8vgXWhRU>
- RAVENNA. (o.J.). *About RAVENNA*. LAWO. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.ravenna-network.com/overview/>
- RAVENNA. (o.J.). *ALC NetworX - now Lawo*. LAWO. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.ravenna-network.com/partners/alc-networx/>
- RAVENNA. (o.J.). *RAVENNA for Broadcast*. LAWO. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.ravenna-network.com/using-ravenna/>
- RAVENNA. (o.J.). *Understanding RAVENNA Technology*. LAWO. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.ravenna-network.com/technology/>
- Schnabel, P. (o.J.). *OSI-Schichtenmodell*. Elektronik Kompendium. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0301201.htm>
- Telecom Trainer. (2023, 20. Juni). *RTCP Real-Time Control Protocol*. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.telecomtrainer.com/rtcp-real-time-control-protocol/>
- Telecom Trainer. (2023, 20. Juni). *RTP/AVP RTP audio and video profile*. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.telecomtrainer.com/rtp-avp-rtp-audio-and-video-profile/>
- Telecom Trainer. (2023, 20. Juni). *RTSP Real-time Streaming Protocol*. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.telecomtrainer.com/rtsp-real-time-streaming-protocol/>
- Telecom Trainer. (2023, 27. Juni). *SDP Session description protocol*. Abgerufen am 29. Februar von <https://www.telecomtrainer.com/sdp-session-description-protocol/>
- Wikipedia. (o.J.). *Precision Time Protocol*. Wikimedia Foundation Inc.. Abgerufen am 29. Februar von [https://de.wikipedia.org/wiki/Precision\\_Time\\_Protocol](https://de.wikipedia.org/wiki/Precision_Time_Protocol)

## Abbildungsverzeichnis

- <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/bilder/03012011.gif>
- <https://habrastorage.org/files/626/cdb/a57/626cdba5792f446dbb715e30b8a95de4.png>
- <https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/images/tech-notes-articles/grafik-master-slave.jpg>