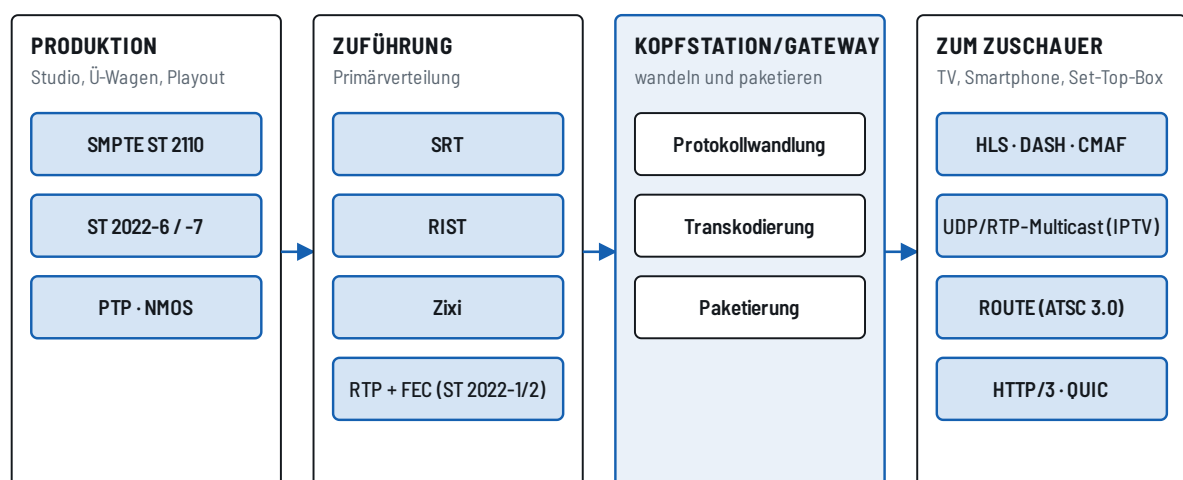


VIDEO OVER IP · STREAMING · TECHNISCHER LEITFADEN

Streaming-Protokolle für Video over IP

RTP, HLS, DASH, SRT, RIST, Zixi, SMPTE ST 2022/2110 und
ROUTE – wie sie funktionieren und wofür sie sich eignen

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH



RTMP ist heute vor allem noch als Zuspieldprotokoll von Encodern zu Streaming-Plattformen im Einsatz.

Inhalt

TEIL 1 · GRUNDLAGEN

1	Warum Video eigene Transportprotokolle braucht	2
2	RTP und RTCP	5

TEIL 2 · AUSLIEFERUNG AN ZUSCHAUER

3	Adaptives HTTP-Streaming	8
4	HLS, DASH und CMAF	11
5	HTTP-Streaming mit geringer Latenz	13
6	QUIC und HTTP/3	15
7	RTMP	17

TEIL 3 · ZUFÜHRUNG UND PRIMÄRVERTEILUNG

8	Fehlerbehandlung auf IP-Strecken	19
9	Zixi	22
10	SRT – Secure Reliable Transport	24
11	RIST – Reliable Internet Stream Transport	27
12	SRT, RIST und Zixi im Vergleich – und das Gateway zum Zuschauer	30

TEIL 4 · IM SENDEZENTRUM

13	Von SDI zu IP im Sendezentrum	32
14	SMPTE ST 2022	34
15	Nahtlose Absicherung mit ST 2022-7	36
16	SMPTE ST 2110, PTP und NMOS	38

TEIL 5 · RUNDFAHRT, MULTICAST UND ENTSCHEIDUNG

17	ROUTE, FLUTE und ATSC 3.0	41
18	Das richtige Protokoll wählen	43

TEIL 6 · UMSETZUNG

19	Streaming in Hardware – FPGA-IP-Cores	45
----	---------------------------------------	----

ANHANG

A	Glossar der Abkürzungen	48
B	Quellen und Normen	51

Kontakt	53
---------	----

Streaming-Protokolle für Video over IP · 1. Ausgabe 2026 · Version 1.0, September 2026

Autor: Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

© 2022–2026 BLANKOM, IRENIS GmbH. Alle Rechte vorbehalten. BLANKOM® und IRENIS® sind eingetragene Marken der IRENIS GmbH. Andere Produkt- und Protokollnamen sind Marken ihrer jeweiligen Inhaber.

Grundlage ist das Handout „Video over IP protocols“ von 2022, das Ralf Riedel aus Material Dritter zusammengestellt hat: dem ATEME-Whitepaper „Video over IP Protocols“ und Datenblättern von IP-Cores. Diese Ausgabe ist vollständig neu geschrieben, mit neuen Diagrammen und aktualisierten Normen; alle Quellen stehen in Anhang B. Normen und Spezifikationen ändern sich; prüfen Sie vor der Spezifikation von Geräten die aktuelle Fassung. Technische Angaben können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

Online-Ausgabe: <https://www.irenis-blankom.com/video-over-ip-streaming-protocols-guide/>

Warum Video eigene Transportprotokolle braucht

Die klassischen Transportprotokolle des Internets entstanden lange bevor jemand Live-Fernsehen streamte. Jedes Videoprotokoll in diesem Leitfaden schließt diese Lücke für eine bestimmte Aufgabe.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel Vom Rundfunk zu IP Warum UDP und TCP nicht genügen Application Layer Framing
Aufbau dieses Leitfadens

KERNPUNKTE

- Video over IP durchzieht heute die ganze Kette, von der Produktion über die Zuführung bis zum Zuschauer.
- UDP ist schnell, aber ungeschützt; TCP ist zuverlässig, doch seine Wiederholungen kosten Zeit, und Multicast kann es nicht. Keines passt für jeden Anwendungsfall.
- Application Layer Framing (ALF) lässt jedes Protokoll genau die Fehler- und Ratensteuerung ergänzen, die sein Einsatz braucht. Darum gibt es so viele Protokolle.

Vom Rundfunk zu IP

In den vergangenen fünfzehn bis zwanzig Jahren hat sich das Fernsehen grundlegend verändert. Zuschauer wollen sehen, wann sie möchten, wo sie gerade sind und auf dem Bildschirm, der zur Hand ist. Nur das Internet konnte das in großem Maßstab leisten: Smart-TVs, Tablets, PCs, Smartphones und Spielkonsolen sprechen alle die Kernprotokolle IP, TCP und UDP und lassen sich fast überall verbinden.

Derselbe Wandel hat inzwischen auch die professionelle Seite des Fernsehens erreicht:

- **Produktion.** Kameras haben IP-Schnittstellen, und IP-Switches und -Router ersetzen SDI-Kreuzschienen und -Verkabelung.
- **Postproduktion** arbeitet mit gemeinsamem Speicher über IP-Netze.
- **Zuführung und Primärverteilung** – die Signale von Sendern zu Kabel-, Satelliten-, IPTV- und OTT-Betreibern – laufen zunehmend über IP, auch über das offene Internet.

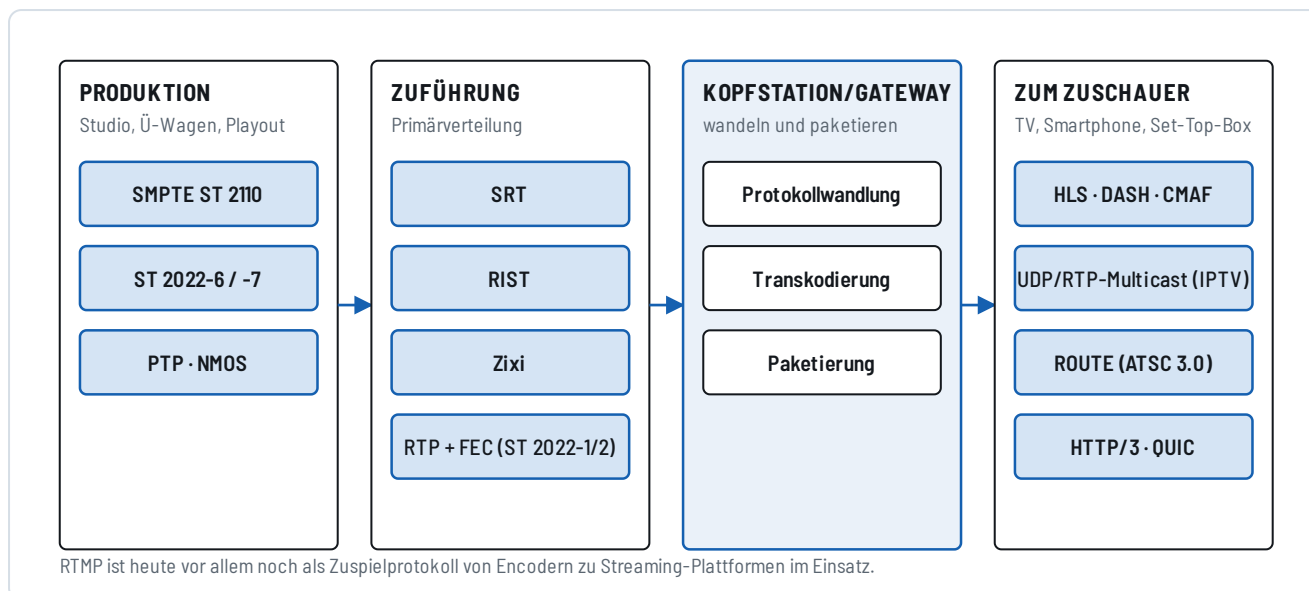


Abbildung 1.1 Wo welches Protokoll entlang der Kette von der Produktion bis zum Zuschauer eingesetzt wird.

Warum UDP und TCP nicht genügen

UDP und TCP entstanden lange bevor Video den größten Teil des Internetverkehrs ausmachte, und keines ist dafür ideal.

	UDP	TCP
Zustellung	Best Effort: verlorene Pakete bleiben verloren	Zuverlässig: verlorene Pakete werden wiederholt
Reihenfolge	Pakete können vertauscht ankommen	Immer in Reihenfolge
Verzögerung	Gering und konstant	Wächst mit jeder Wiederholung und mit der Entfernung
Multicast	Ja	Nein, nur Punkt-zu-Punkt
Ratensteuerung	Keine	Eingebaute Staukontrolle, die einen Live-Stream drosseln kann

Ein Live-Stream über reines UDP zerfällt, sobald das Netz Pakete verliert. Über TCP bleibt er vollständig, aber jedes verlorene Paket hält den Stream mindestens einen Umlauf lang an, und die Staukontrolle von TCP kann die Rate unter den Bedarf des Videos senken.

Application Layer Framing

Das Problem wurde schon 1990 erkannt, als Clark und Tennenhouse das **Application Layer Framing (ALF)** vorschlugen: Die Anwendung übernimmt selbst Transportfunktionen wie Fehler- und Ratensteuerung und passt sie an ihren Bedarf an.

Fast jedes Protokoll in diesem Leitfaden folgt dieser Idee. Die meisten setzen auf UDP auf und ergänzen, was ihr Einsatz verlangt – Sequenznummern, Zeitstempel, Wiederholung, Vorwärtsfehlerkorrektur, Verschlüsselung. Das erste breit eingesetzte Beispiel war RTP mit seinem Begleiter RTCP Mitte der 1990er-Jahre ([Kapitel 2](#)). Viele weitere folgten: manche proprietär, manche Open Source, manche vollständig genormt, andere noch Entwürfe. Das Ergebnis ist die Buchstabensuppe, die dieser Leitfaden sortiert.

APPLICATION LAYER FRAMING

RIST baut auf RTP auf; SRT, Zixi und QUIC haben eigene Header.

HLS/DASH auch über HTTP/3

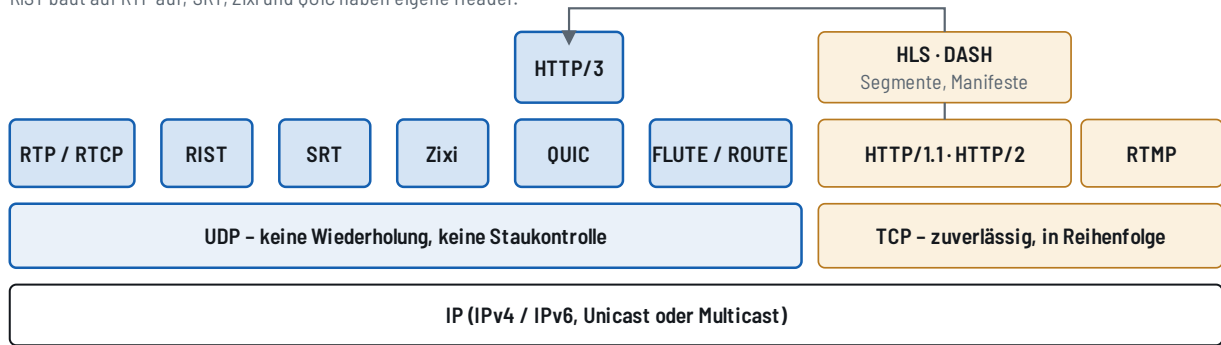


Abbildung 1.2 Welche Protokolle auf UDP und welche auf TCP aufsetzen.

Aufbau dieses Leitfadens

Jedes Kapitel behandelt ein Protokoll oder eine Familie, erklärt die Funktionsweise und nennt die Anwendungen, in denen es den größten Nutzen bringt. Die Kapitel folgen der Kette in der Abbildung oben:

- **Grundlagen:** RTP und RTCP ([Kapitel 2](#)).
- **Auslieferung an Zuschauer:** adaptives HTTP-Streaming ([Kapitel 3](#)), HLS, DASH und CMAF ([Kapitel 4](#)), geringe Latenz ([Kapitel 5](#)), QUIC und HTTP/3 ([Kapitel 6](#)) sowie RTMP ([Kapitel 7](#)).
- **Zuführung und Primärverteilung:** Grundlagen der Fehlerbehandlung ([Kapitel 8](#)), Zixi ([Kapitel 9](#)), SRT ([Kapitel 10](#)), RIST ([Kapitel 11](#)) und ein Vergleich mit dem Gateway zum Zuschauer ([Kapitel 12](#)).
- **Im Sendezentrum:** warum SDI zu IP wechselt ([Kapitel 13](#)), SMPTE ST 2022 ([Kapitel 14](#)), nahtlose Absicherung mit ST 2022-7 ([Kapitel 15](#)) und ST 2110 mit PTP und NMOS ([Kapitel 16](#)).
- **Rundfunk und Entscheidung:** ROUTE und ATSC 3.0 ([Kapitel 17](#)) sowie die Protokollwahl nach Anwendungsfall ([Kapitel 18](#)).
- **Umsetzung:** wie diese Funktionen in FPGA-Hardware entstehen ([Kapitel 19](#)).

BEGLEITENDER LEITFADEN

Das IPTV-Netz in Hotels, Krankenhäusern oder Wohnanlagen – Multicast-Adressierung, IGMP, Kopfstationsplanung – behandelt der **Planungsleitfaden IPTV-Kopfstation** dieser Reihe. Dieser Leitfaden betrachtet die Protokolle, die Video zu solchen Netzen hin und von ihnen weg bringen.

RTP und RTCP

RTP war das erste erfolgreiche Videoprotokoll auf Anwendungsebene. Es ist bis heute die Basis von IPTV, von SMPTE ST 2022 und ST 2110 sowie von RIST.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Technischer Überblick

RTCP, der Steuerkanal

Einsatz und typische Anwendungen

KERNPUNKTE

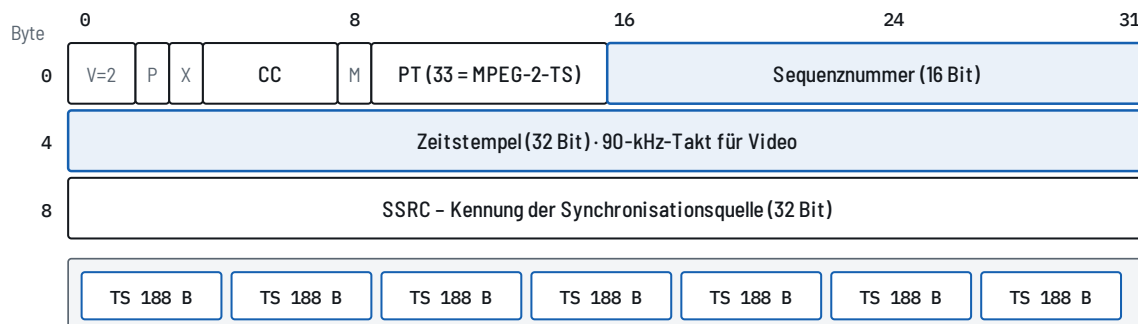
- RTP ergänzt jedes Paket um eine 16-Bit-Sequenznummer und einen 32-Bit-Zeitstempel. Damit erkennt der Empfänger Verluste, stellt die Reihenfolge her und gibt zeitrichtig aus.
- RTCP überträgt Berichte über Verlust, Jitter und Laufzeit auf dem nächsten ungeraden Port. RTP selbst stellt verlorene Pakete nicht wieder her.
- Für Zuschauer hat HTTP-Streaming RTP abgelöst. In Zuführung, IPTV-Netzen und Sendezentren bleibt RTP zentral, meist mit FEC.

Technischer Überblick

Das **Real-time Transport Protocol (RTP)** wurde 1996 in RFC 1889 spezifiziert und 2003 als RFC 3550 überarbeitet. Es läuft normalerweise über UDP und fügt jedem Paket einen kleinen Header hinzu. Zwei Felder darin leisten die Hauptarbeit:

- Die **Sequenznummer** (16 Bit) steigt mit jedem Paket um eins. Eine Lücke zeigt ein verlorenes Paket; ein Sprung zurück zeigt vertauschte Pakete.
- Der **Zeitstempel** (32 Bit) gibt den Abtastzeitpunkt der Nutzlast in Einheiten des Medientakts an – 90 kHz für Video. Der Empfänger synchronisiert damit Audio und Video und gibt jedes Paket zum richtigen Zeitpunkt aus.

FESTER RTP-HEADER · 12 BYTE (RFC 3550)



Nutzlast: typisch 7 Transportstrompakete = 1316 Byte (RFC 2250).

Verlusterkennung: Lücke in den Sequenznummern. Umsortieren: nach Sequenznummer.

Abbildung 2.1 Der 12 Byte lange RTP-Header und eine typische Nutzlast aus sieben TS-Paketen.

RTP legt bewusst nicht fest, wie ein bestimmtes Medium übertragen wird. Das regeln eigene **Nutzlastformate**. Für IPTV ist RFC 2250 wichtig: Ein RTP-Paket trägt eine ganze Zahl von MPEG-2-Transportstrompaketen à 188 Byte, typisch sieben (1316 Byte), was in einen Ethernet-Rahmen passt. Der Nutzlasttyp für MPEG-2-TS ist 33.

RTCP, der Steuerkanal

Das **RTP Control Protocol (RTCP)** ist im selben RFC spezifiziert. Es läuft neben dem Medienstrom, üblicherweise auf dem nächsten ungeraden Port (RTP auf 5004, RTCP auf 5005). Sender und Empfänger tauschen Berichte aus:

- **Senderberichte** setzen den RTP-Zeitstempel in Bezug zur Uhrzeit und zählen gesendete Pakete und Bytes.
- **Empfängerberichte** melden dem Sender Verlustrate, Jitter und Umlaufzeit.

Ein Sender kann diese Angaben zum Beispiel nutzen, um seine Rate anzupassen. RTCP ist auf einen kleinen Teil der Sitzungsbandbreite begrenzt (typisch 5 %).

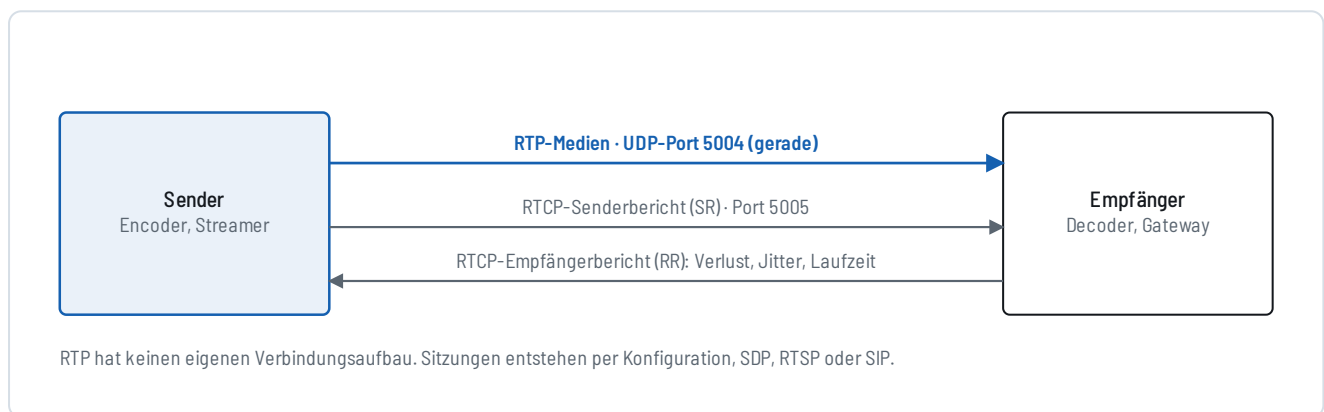


Abbildung 2.2 RTP trägt die Medien; RTCP-Berichte laufen auf dem nächsten Port in beide Richtungen.

KORREKTUR GEGENÜBER DEM HANDOUT 2022

RTP hat keinen eigenen Verbindungs- oder Sitzungsaufbau. Sitzungen werden statisch konfiguriert (wie in den meisten IPTV-Kopfstationen) oder mit SDP, RTSP oder SIP signalisiert. RTSP liefert auch die Befehle für Wiedergabe, Pause und Beenden.

Einsatz und typische Anwendungen

RTP war Ende der 1990er- und Anfang der 2000er-Jahre das erste erfolgreiche Protokoll für Streaming an Endkunden. In dieser Rolle hatte es zwei Schwächen:

1. Firewalls sperrten oft die UDP-Ports, die es nutzte.
2. Es entstand vor den Content Delivery Networks (CDNs) und konnte deren Caches nicht nutzen. Für Millionen Zuschauer desselben Live-Ereignisses skalierte es nicht.

Als Ende der 2000er-Jahre adaptives HTTP-Streaming aufkam ([Kapitel 3](#)), löste es RTP für die Auslieferung über das Internet an Zuschauer ab.

Im professionellen Video over IP bleibt RTP das Arbeitspferd:

- **Zuführung und Primärverteilung** über verwaltete Netze, zum Beispiel von einer Zentrale zu Regionalsendern, meist mit FEC nach SMPTE ST 2022-1 geschützt ([Kapitel 8](#), [Kapitel 14](#)).

- **IPTV-Netze** in Hotels, Krankenhäusern und Wohnanlagen, in denen UDP- oder RTP-Multicast jeden TV-Dienst trägt.
- **Sendezentren**, in denen ST 2022-6 und ST 2110 auf RTP aufbauen ([Kapitel 14](#), [Kapitel 16](#)).
- **RIST**, das RTP und RTCP als Grundlage nutzt ([Kapitel 11](#)).

RTP bietet nur einfache Verschlüsselung. Wo Inhaltsschutz wichtig ist, nutzen Sie SRTP oder ein Protokoll mit eingebauter Verschlüsselung wie SRT oder RIST Main Profile.

Adaptives HTTP-Streaming

Fast alles Video auf Smartphones, Tablets und Smart-TVs kommt heute als Folge kleiner Dateien über HTTP. Der Player wählt Segment für Segment die beste Qualität, die die Verbindung zulässt.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Warum HTTP

Multi-Bitraten-Kodierung

Streaming mit adaptiver Bitrate

KERNPUNKTE

- HTTP läuft über TCP auf den Ports 80/443, passiert fast jede Firewall und nutzt die Caches der Content Delivery Networks.
- Der Inhalt wird in mehreren Bitraten kodiert und in ausgerichtete Segmente geschnitten. Ein Manifest listet Varianten und Segmente.
- Der Player misst seinen Durchsatz und wechselt an Segmentgrenzen zwischen den Varianten. Die Intelligenz liegt im Client – deshalb skaliert das Verfahren.

Warum HTTP

Die Schwächen von RTP ([Kapitel 2](#)) wurden Ende der 2000er-Jahre durch adaptives Streaming über HTTP überwunden.

HTTP entstand Mitte der 1990er-Jahre (HTTP/1.0 1996, HTTP/1.1 1997), um Webseiten vom Server zum Browser zu bringen. Mit dem Web wuchs eine ganze Infrastruktur: **Content Delivery Networks (CDNs)**, Hierarchien aus Servern und Caches, die Inhalte nahe an Millionen Nutzer bringen.

HTTP-Transaktionen sind zustandslos: Ein Client sendet eine GET-Anfrage nach einer Datei – einer Webseite oder einem Stück Medien –, und der Server oder ein Edge-Cache, der bereits eine Kopie hat, liefert sie. HTTP läuft über TCP und übernimmt dessen Fehler- und Flusssteuerung. Webzugang wurde so unverzichtbar, dass Firewalls HTTP (TCP-Port 80) und HTTPS (Port 443) durchlassen, während sie die meisten anderen Ports sperren, auch die UDP-Ports von RTP.

Multi-Bitraten-Kodierung

Die Streaming-Pioniere der 1990er-Jahre standen vor einem Dilemma. Die Zuschauer waren mit sehr unterschiedlichen Bandbreiten angebunden – Modem, ISDN, DSL, Standleitung. Kodiert man mit hoher Bitrate, kann die Mehrheit nicht zusehen; kodiert man für den kleinsten gemeinsamen Nenner, bekommen die am besten angebundenen Kunden schlechte Bilder.

Die erste Antwort, Ende der 1990er-Jahre von RealNetworks eingeführt: denselben Inhalt in mehreren Bitraten kodieren und den Nutzer beim Start wählen lassen. Das half, hatte aber zwei Mängel:

1. Die Zuschauer mussten ihre Verbindungsgeschwindigkeit kennen, einschließlich des Overheads von TCP, IP, Ethernet und physikalischer Schicht. Das konnten die wenigsten.

2. Es setzte voraus, dass die Bandbreite während der ganzen Sendung konstant bleibt – eine schlechte Annahme im gemeinsam genutzten, ständig schwankenden Internet.

Streaming mit adaptiver Bitrate

2007 ergänzte Move Networks zwei Ideen, die das Konzept funktionieren ließen:

- Jede Variante wird als Folge kurzer, unabhängig dekodierbarer **Segmente** statt als eine Datei kodiert. Ein zweistündiger Film wird zum Beispiel zu 720 Segmenten à 10 Sekunden. Die Segmentgrenzen sind über alle Varianten ausgerichtet.
- Ein **Manifest** listet die Varianten (die Bitraten der **ABR-Leiter**) sowie Ort und Dauer jedes Segments.

Zu Beginn einer Sitzung lädt der Player das Manifest und fordert Segmente per HTTP GET an, zunächst aus einer Standardvariante. Beim Herunterladen schätzt er laufend seinen Durchsatz und wechselt an Segmentgrenzen auf der Leiter nach oben oder unten. Sein Ziel ist die höchste Qualität, die die geschätzte Bandbreite nicht überschreitet, bei gleichzeitigem Folgen der Schwankungen.

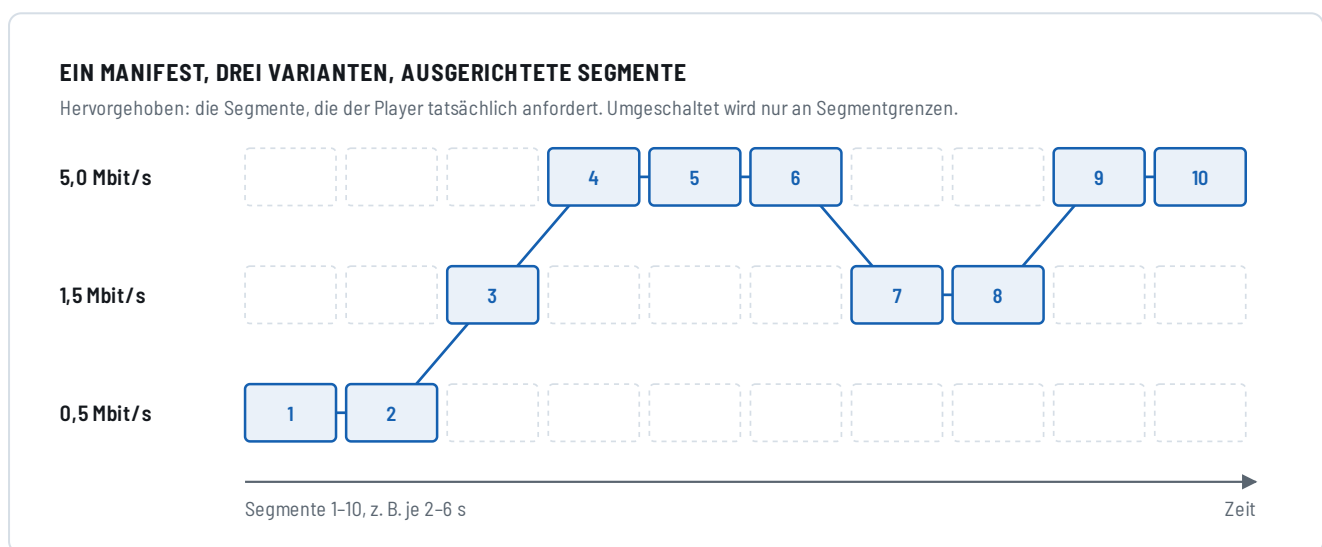


Abbildung 3.1 Adaptive Bitrate: Der Player wechselt an Segmentgrenzen zwischen den Varianten.

Genau genommen ist das gar kein Streaming, sondern eine Folge von Dateidownloads. Genau darin liegt die Stärke:

- Segmente sind gewöhnliche Dateien, also bedienen **CDN-Caches** sie, und das Verfahren skaliert auf sehr große Zuschauerzahlen.
- HTTP(S) passiert **Firewalls**.
- Die **Bandbreitenanpassung** ist dynamisch.
- Die **Intelligenz liegt im Client**, nicht im Server. Anders als bei RTP gibt es keinen Sitzungszustand im Server und keinen RTCP-Austausch, auch wenn TCP darunter weiterhin Fehler- und Flusssteuerung übernimmt.

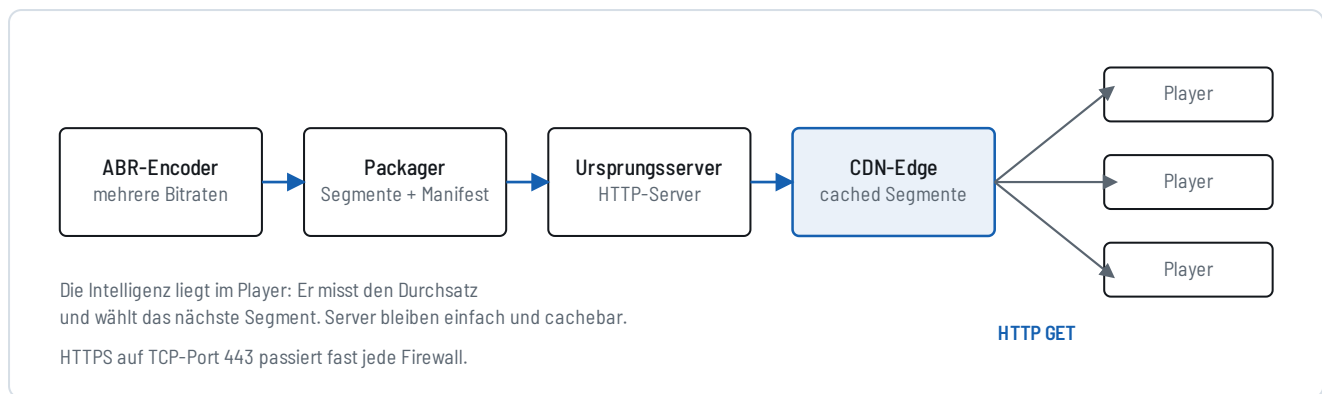


Abbildung 3.2 Die HTTP-Streaming-Kette vom Encoder zum Player.

EINE ABR-LEITER ENTWERFEN

Wählen Sie die oberste Stufe für den besten Bildschirm, den Sie bedienen, die unterste für die schwächste Mobilverbindung, und staffeln Sie die Stufen etwa um den Faktor 1,5 bis 2 in der Bitrate. Mehr Stufen bedeuten eine sanftere Anpassung, aber auch mehr Kodierkapazität, Speicher und CDN-Cache.

Das nächste Kapitel zeigt, wie die konkurrierenden Umsetzungen dieser Idee zu HLS, DASH und CMAF zusammenfanden ([Kapitel 4](#)).

HLS, DASH und CMAF

Vier Hersteller machten aus derselben Idee vier inkompatible Formate. Zwei haben überlebt, und ein gemeinsamer Container lässt sie heute dieselben Dateien nutzen.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Zersplitterung

MPEG-DASH

CMAF: ein Satz Dateien für beide

KERNPUNKTE

- Smooth Streaming (Microsoft), HLS (Apple) und HDS (Adobe) nutzten dasselbe Prinzip, aber unterschiedliche Container und Manifeste.
- MPEG-DASH (2012) ist der offene Standard. DASH und HLS dominieren heute die Auslieferung an Zuschauer; Smooth Streaming und HDS sind überholt.
- CMAF speichert die Medien einmal als fragmentiertes MP4. Eine HLS-Playlist und ein DASH-Manifest verweisen auf dieselben Segmente – das halbiert Speicher und CDN-Cache.

Zersplitterung

Die Idee von Move Networks ([Kapitel 3](#)) wurde schnell von den großen Streaming-Anbietern aufgegriffen:

TECHNIK	ANBIETER	JAHR	MEDIENCONTAINER	MANIFEST
Smooth Streaming	Microsoft	2008	MP4 (fragmentiert)	XML (.ismc)
HTTP Live Streaming (HLS)	Apple	2009	MPEG-2-TS, seit 2016 auch fMP4	Playlist (.m3u8)
HTTP Dynamic Streaming (HDS)	Adobe	2010	F4V	XML (.f4m)
MPEG-DASH	ISO/IEC 23009-1	2012	fMP4 (auch TS)	XML (.mpd)

Alle folgten demselben Prinzip, nutzten aber unterschiedliche Container und Manifest-Syntaxen und waren nicht kompatibel. Inhaltenanbieter mussten denselben Inhalt mehrfach kodieren und paketieren, und CDNs mussten jede Kopie speichern und cachen – Verschwendung von Speicher und Bandbreite.

MPEG-DASH

Um die Zersplitterung zu beenden, entwickelte die Moving Picture Experts Group (MPEG) **Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)**, 2011 verabschiedet und 2012 als ISO/IEC 23009-1 veröffentlicht. DASH nutzt den fragmentierten MP4-Container und ein genormtes Manifest, die Media Presentation Description (MPD). Es unterstützt unter anderem dynamische Werbeeinblendung, mehrere Kameraperspektiven, mehrere Audiosprachen, Untertitel sowie die Mischung von Live- und aufgezeichneten Inhalten.

DASH hat Smooth Streaming und HDS abgelöst. HLS bleibt weit verbreitet, weil Apple-Geräte – ein großer Marktanteil – es nativ unterstützen. **DASH und HLS dominieren heute gemeinsam die IP-Auslieferung an Zuschauer.**

CMAF: ein Satz Dateien für beide

Das **Common Media Application Format (CMAF, ISO/IEC 23000-19, 2018)** definiert einen einheitlichen Container auf Basis von fragmentiertem MP4 für Segmente, die sowohl per DASH als auch per HLS ausgeliefert werden. Der Packager erzeugt die Medien einmal; eine HLS-Playlist und eine DASH-MPD beschreiben dieselben Segmente.

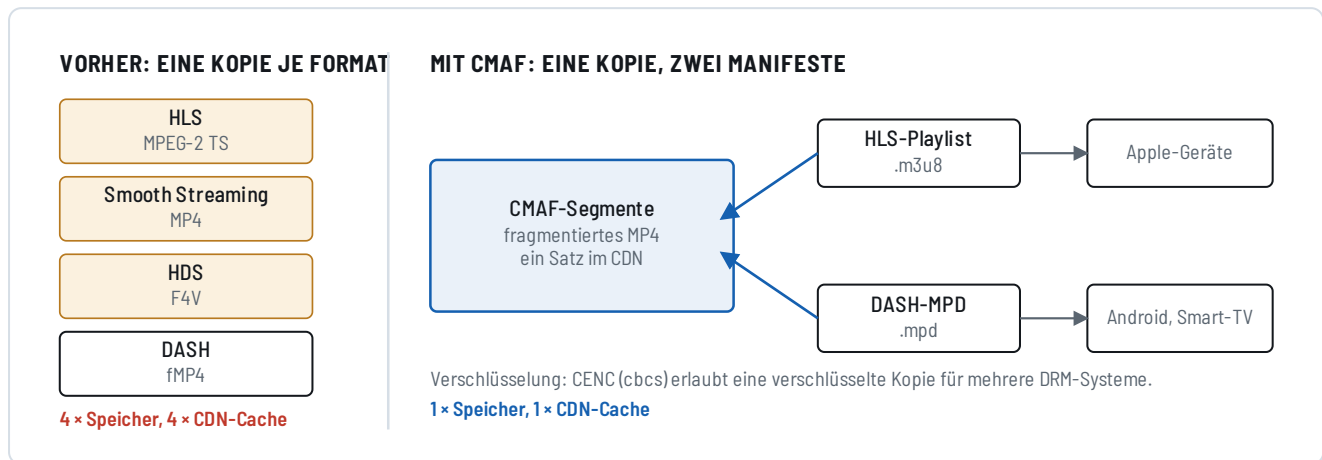


Abbildung 4.1 CMAF ersetzt vier Kopien in vier Formaten durch einen Satz Segmente.

Zwei weitere Werkzeuge helfen:

- **Byte-Range-Adressierung.** Statt einer Datei je Segment kann ein Player einen Bytebereich aus einer größeren Datei anfordern. HLS und DASH unterstützen das; es verringert die Zahl der Dateien auf Ursprungsserver und CDN.
- **Common Encryption (CENC).** Mit dem Schema *cbcs* kann eine verschlüsselte Kopie von den wichtigen DRM-Systemen entschlüsselt werden.

EMPFEHLUNG FÜR DIE AUSLIEFERUNG AN ZUSCHAUER

Einmal in CMAF paketieren, HLS- und DASH-Manifeste veröffentlichen und Byte-Range-Adressierung nutzen, wo das CDN sie unterstützt. Für Live-Streams die Low-Latency-Varianten verwenden ([Kapitel 5](#)).

HTTP-Streaming mit geringer Latenz

Ein Tor, über das die Nachbarn eine halbe Minute früher jubeln, verdirbt jede Live-Sportübertragung. Chunked Encoding and Transfer bringen HTTP-Streaming nahe an die Latenz des Rundfunks.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Woher die Verzögerung kommt

Chunked Encoding and Transfer

Die genormten Varianten

KERNPUNKTE

- Klassische HTTP-Live-Streams laufen 20–45 Sekunden hinter der Echtzeit, weil Player mehrere ganze Segmente puffern.
- Chunked Encoding teilt jedes Segment in Chunks von etwa 500 ms, die Packager, Ursprungsserver, CDN und Player sofort durchlaufen.
- Chunks sind nicht unabhängig dekodierbar. Der Player wechselt die Bitrate weiterhin nur an Segmentgrenzen.

Woher die Verzögerung kommt

Gegenüber RTP hat adaptives HTTP-Streaming eine Schwäche: die Latenz. Eine typische Live-Sitzung läuft 20 bis 45 Sekunden hinter dem Ereignis. Die Ursachen summieren sich entlang der Kette:

- Der Encoder kann ein Segment erst freigeben, wenn es vollständig ist – bei 6-Sekunden-Segmenten allein schon 6 Sekunden.
- Packager, Ursprungsserver und CDN arbeiten jeweils mit ganzen Segmenten.
- Player halten vor dem Start typisch drei Segmente im Puffer, um Durchsatzschwankungen abzufangen.

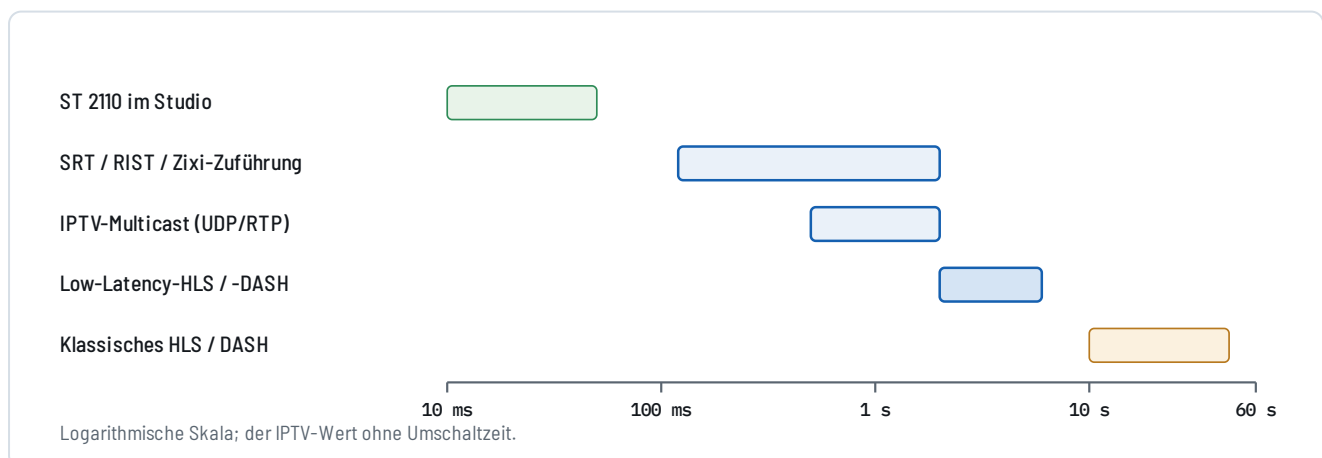


Abbildung 5.1 Typische Ende-zu-Ende-Latenz der Protokollfamilien.

Chunked Encoding and Transfer

Die Schlüsseltechnik besteht darin, jedes Segment (typisch 2 bis 4 Sekunden) in kleinere **Chunks** von bis hinab zu 500 ms zu teilen. Jeder Chunk verlässt den Encoder, sobald er kodiert ist, und wird – mit HTTP Chunked Transfer Encoding – über Packager, Ursprungsserver und CDN zum Player weitergereicht, ohne auf das ganze Segment zu warten.

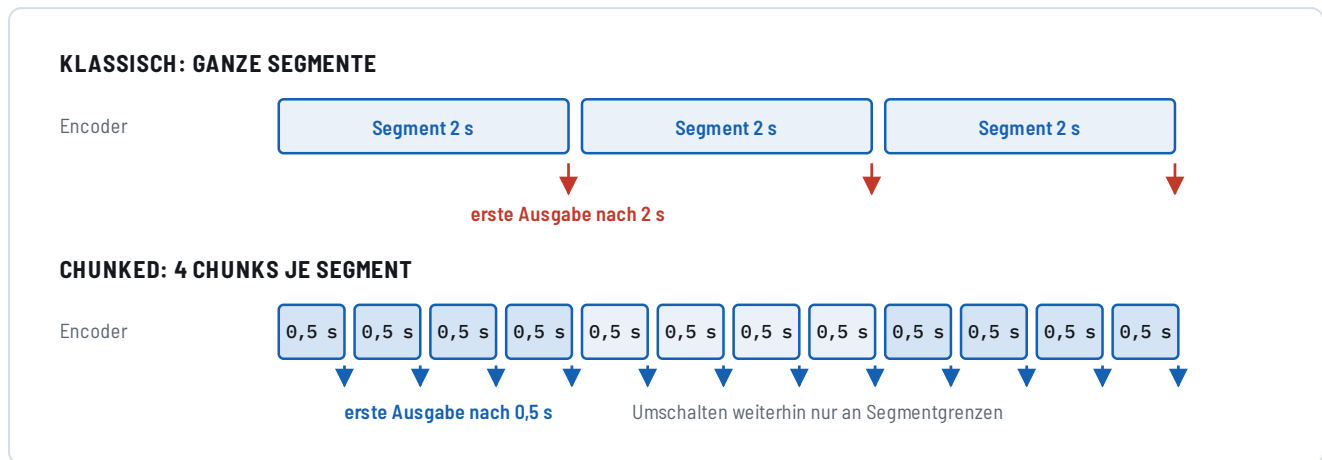


Abbildung 5.2 Chunked Encoding gibt alle 500 ms Daten frei statt erst nach jedem Segment.

Chunks sind nicht unabhängig dekodierbar; nur ein ganzes Segment beginnt mit einem Keyframe. Die Bitrate wechselt daher weiterhin an Segmentgrenzen. In der Praxis werden Ende-zu-Ende-Latenzen von wenigen Sekunden erreicht.

Die genormten Varianten

VARIANTE	PRINZIP
Low-Latency-DASH (LL-DASH)	CMAF-Chunks mit Chunked Transfer; Richtlinien von DASH-IF und DVB
Low-Latency-HLS (LL-HLS, Apple, 2019/2020)	In der Playlist angekündigte <i>Partial Segments</i> , blockierendes Neuladen der Playlist und Preload-Hinweise
CMAF-Chunks	Gemeinsame Basis: dieselben gechunkten CMAF-Medien können LL-DASH und LL-HLS bedienen

Der Bedarf an geringer Latenz hat CMAF zum natürlichen gemeinsamen Format für DASH und HLS gemacht (Kapitel 4).

GERINGE LATENZ IN DER PRAXIS

- ☐ Encoder und Packager müssen CMAF-Chunks (oder LL-HLS-Partial-Segments) unterstützen
- ☐ Ursprungsserver und CDN müssen Chunked Transfer durchreichen, ohne ganze Segmente zu puffern
- ☐ Kurze Segmente (2 s) mit häufigen Keyframes
- ☐ Player auf einen kleinen Live-Edge-Puffer einstellen; unter realen Netzbedingungen testen
- ☐ Einen kleinen Verlust an Kompressionseffizienz und mehr Anfragen pro Sekunde am CDN in Kauf nehmen

QUIC und HTTP/3

QUIC wendet die Idee des Application Layer Framing auf das Web selbst an. HTTP/3 läuft über UDP, und adaptive Streams profitieren ohne jede Änderung ihrer Formate.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Hintergrund: Head-of-Line-Blocking

HTTP/3 über QUIC

Stand

KERNPUNKTE

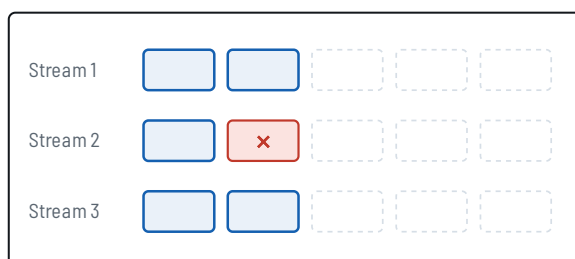
- HTTP/2 bündelt viele Streams in einer TCP-Verbindung; ein verlorenes Paket blockiert alle. QUIC liefert jeden Stream unabhängig.
- QUIC enthält TLS 1.3. Verbindungs- und Verschlüsselungsaufbau dauern einen Umlauf, bei Wiederaufnahme null.
- Verbindungen überstehen einen Netzwechsel, etwa von Mobilfunk zu WLAN. QUIC ist genormt (RFC 9000, 2021), ebenso HTTP/3 (RFC 9114, 2022).

Hintergrund: Head-of-Line-Blocking

Mit HTTP/1.1 öffnet ein Browser typischerweise ein halbes Dutzend TCP-Verbindungen zu einem Server. HTTP/2 führte das **Multiplexing** ein: Viele logische Streams teilen sich eine TCP-Verbindung. Das senkt den Verbindungsaufwand und lässt die Staukontrolle von TCP effizienter arbeiten.

Multiplexing bringt aber ein neues Problem. TCP liefert Bytes streng in Reihenfolge. Geht ein Paket der Verbindung verloren, warten **alle** logischen Streams, bis es wiederholt wurde – auch jene, deren Daten vollständig angekommen sind. Das nennt man *Head-of-Line-Blocking*.

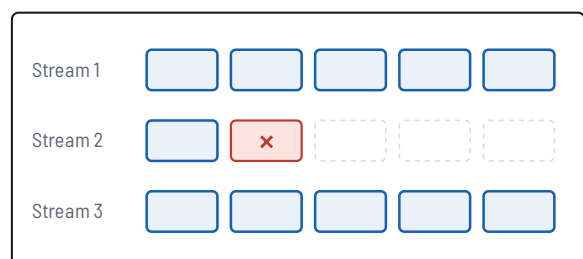
HTTP/2 ÜBER TCP



1 Verlust → alle 3 Streams warten

Grau: empfangene Pakete, die bis zur Wiederholung des verlorenen Pakets zurückgehalten werden.

HTTP/3 ÜBER QUIC (UDP)



1 Verlust → nur Stream 2 wartet

Abbildung 6.1 Head-of-Line-Blocking bei TCP und unabhängige Streams bei QUIC.

HTTP/3 über QUIC

Die Lösung ist ein Transport auf Anwendungsebene im Sinne von ALF ([Kapitel 1](#)): **QUIC** läuft über UDP und bietet die Zuverlässigkeit von TCP mit geringerer Latenz. Es behält das Multiplexing von HTTP/2 bei, liefert aber jeden logischen Stream unabhängig aus; Fehler- und Staukontrolle geschehen auf Anwendungsebene.

HTTP über QUIC heißt **HTTP/3**.

Wichtige Eigenschaften:

- **Eingebaute Verschlüsselung.** QUIC nutzt immer TLS 1.3. Der Schlüsselaustausch ist Teil des Verbindungsaufbaus, was beim Start mindestens einen Umlauf spart. Eine wiederaufgenommene Verbindung kann sofort Daten senden (0-RTT).
- **Verbindungsmigration.** Eine QUIC-Verbindung wird durch eine Connection-ID identifiziert, nicht durch IP-Adressen und Ports. Wechselt ein Smartphone vom Mobilfunk ins heimische WLAN – oft, um mobiles Datenvolumen zu sparen –, läuft die Verbindung weiter. Mit TCP würde sie in einen Timeout laufen und müsste neu aufgebaut werden, was Zuschauer als Stocken bemerken.
- **Flusssteuerung** je Stream und je Verbindung.
- **Fehlerbehandlung** durch Wiederholung (ARQ) mit eindeutigen Paketnummern.

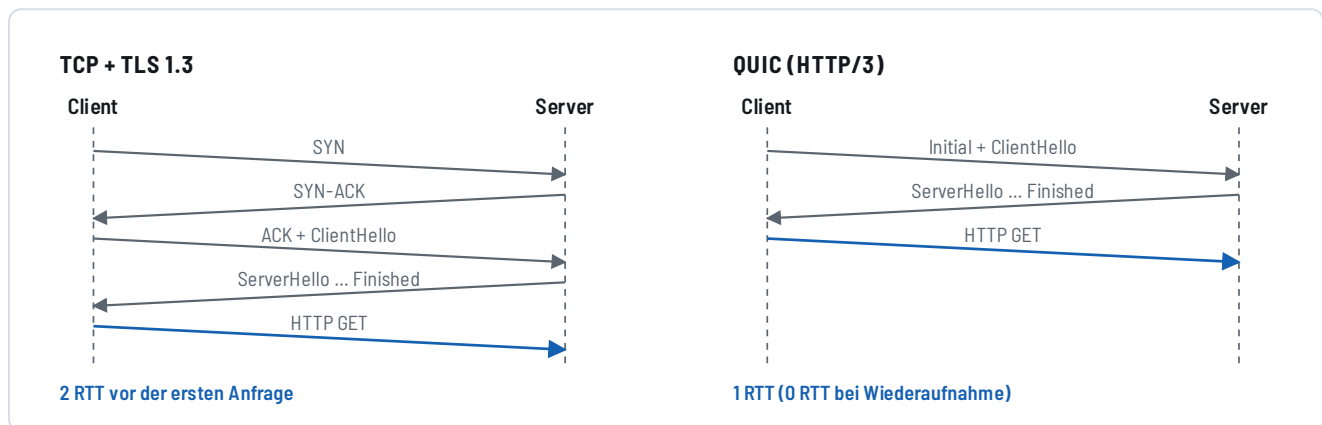


Abbildung 6.2 Umläufe vor der ersten Anfrage: TCP + TLS 1.3 und QUIC.

Stand

QUIC wurde zuerst von Google entwickelt und in Chrome eingesetzt. Die IETF hat es 2021 genormt (RFC 9000 bis 9002), HTTP/3 folgte 2022 (RFC 9114). Alle großen Browser, viele CDNs und mobile Apps unterstützen es. HLS- und DASH-Segmente werden ohne jede Formatänderung über HTTP/3 ausgeliefert.

AKTUALISIERT SEIT DEM HANDOUT 2022

Das Handout beschrieb QUIC und HTTP/3 als Entwürfe und erwähnte eine geplante FEC-Erweiterung. Beide sind inzwischen veröffentlichte Normen; QUIC Version 2 (RFC 9369, 2023) bringt keine FEC. Die IETF arbeitet an *Media over QUIC* (MoQ), einem neuen Live-Medienprotokoll auf QUIC. Es lohnt sich, das zu verfolgen, aber es ist noch keine Grundlage für Produktentscheidungen.

RTMP

RTMP war das Protokoll des Flash-Players. Der Player ist verschwunden, doch viele Encoder und Plattformen übergeben Live-Streams noch per RTMP.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

So funktioniert RTMP

RTMP heute

KERNPUNKTE

- RTMP wurde von Macromedia (später Adobe) für Flash entwickelt. Es läuft über TCP, standardmäßig auf Port 1935.
- Adobe hat die Unterstützung für Flash Ende 2020 eingestellt. Für die Auslieferung an Zuschauer wird RTMP nicht mehr genutzt.
- Es lebt als einfaches Zuspielprotokoll von Encodern zu Streaming-Plattformen weiter. Für neue Zuführungsstrecken sind SRT oder RIST vorzuziehen.

So funktioniert RTMP

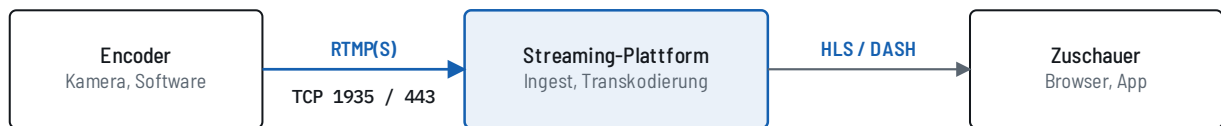
Das **Real-Time Messaging Protocol (RTMP)** wurde von Macromedia, später Teil von Adobe, entwickelt, um Multimedia zwischen einem Flash-Media-Server und einem Flash-Client, meist einem Browser-Plug-in, zu streamen.

- RTMP läuft über **TCP** (Standardport 1935) und verlässt sich auf dessen Fehler- und Flusssteuerung.
- Audio, Video und Steuernachrichten laufen in getrennten virtuellen Kanälen über eine Verbindung.
- Die Medienströme werden in **Chunks** geteilt, deren maximale Größe beide Seiten aushandeln (Standard: 128 Byte).
- Jeder Chunk-Header trägt Zeitinformationen, damit Audio und Video synchron bleiben.
- Inhaltsschutz geschieht über TLS (**RTMPS**) oder die leichtgewichtige Adobe-Verschlüsselung RTMPE.

RTMP heute

Flash war Ende der 1990er- und in den 2000er-Jahren für Video enorm populär. Adobe beendete die Unterstützung am 31. Dezember 2020, und die Browser entfernten das Plug-in. Für die Auslieferung an Zuschauer wird RTMP nicht mehr verwendet.

Es überlebt als **Zuspielprotokoll**: Viele Encoder, Kameras und Software-Werkzeuge schicken Live-Streams per RTMP(S) an Social-Media- und Streaming-Plattformen, die sie transkodieren und als HLS oder DASH ausliefern.



Flash-Player gibt es seit 2021 nicht mehr; RTMP lebt als einfaches, weit verbreitetes Zuspieldprotokoll weiter.

Abbildung 7.1 RTMP als Zuspieldprotokoll zu einer Streaming-Plattform.

EMPFEHLUNG

Setzen Sie RTMP nur ein, wo eine Plattform oder ein Altgerät es verlangt. Für die Zuführung über das Internet bieten SRT ([Kapitel 10](#)) und RIST ([Kapitel 11](#)) geringere Latenz, Verlustbehandlung über UDP und stärkere Verschlüsselung. Ein IP-zu-IP-Gateway kann einen eingehenden RTMP-Stream in Multicast für ein IPTV-Netz wandeln ([Kapitel 12](#)).

Fehlerbehandlung auf IP-Strecken

Jedes Zuführungsprotokoll muss eine Frage beantworten – was passiert, wenn das Netz ein Paket verliert? Es gibt nur drei grundsätzliche Antworten, und jede hat ihren Preis.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel [Drei Strategien](#) [Vorwärtsfehlerkorrektur \(FEC\)](#) [Wiederholung \(ARQ\)](#)
[Zwei Wege \(nahtlose Absicherung\)](#)

KERNPUNKTE

- FEC sendet vorab Redundanz. Sie braucht keinen Rückkanal und verzögert wenig, kostet aber eine feste Zusatzlast und versagt bei langen Verlustbursts.
- ARQ wiederholt nur, was verloren ging. Es braucht einen Rückkanal und einen Latenzpuffer von mehreren Umlaufzeiten.
- Die Zweiwegeübertragung (ST 2022-7) sendet alles doppelt über getrennte Wege. Sie kostet doppelte Bandbreite, übersteht aber den Ausfall eines ganzen Weges.

Drei Strategien

Die Protokolle der folgenden Kapitel kombinieren dieselben drei Bausteine auf unterschiedliche Weise. Wer sie kennt, kann SRT, RIST, Zixi und die SMPTE-Normen leicht vergleichen.

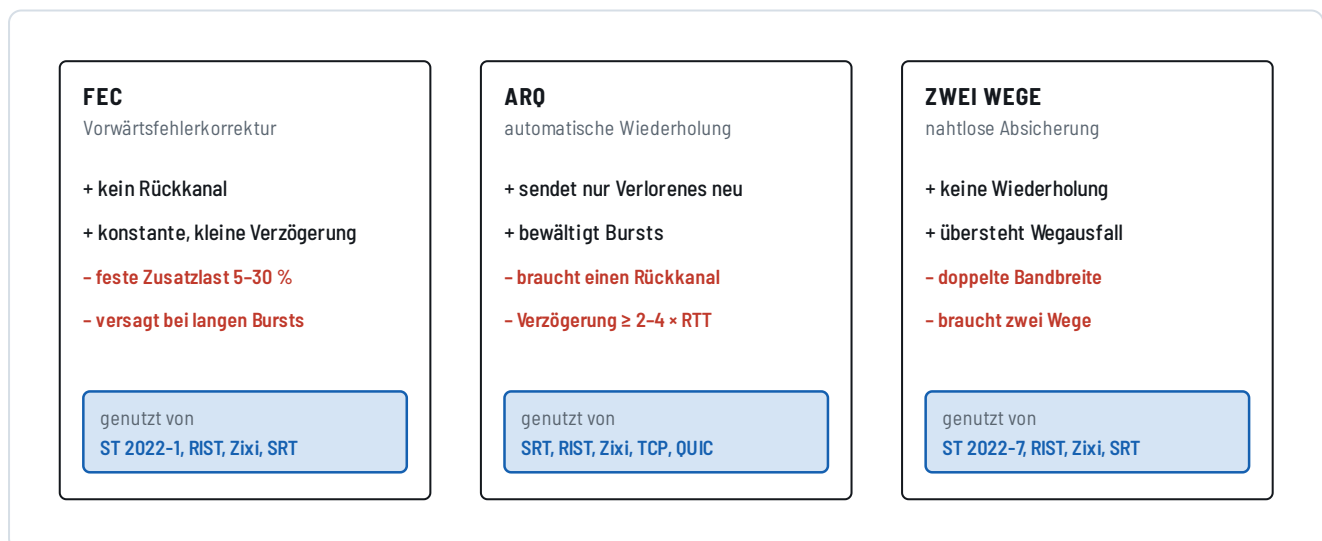


Abbildung 8.1 FEC, ARQ und Zweiwegeübertragung im Vergleich.

Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC)

Der Sender fügt **Paritätspakete** hinzu, die aus den Medienpaketen berechnet werden. Geht ein Medienpaket verloren, rekonstruiert der Empfänger es aus den übrigen und der Parität. Ein Rückkanal ist nicht nötig, daher funktioniert FEC auch auf Einwegstrecken und bei Multicast.

Das bekannteste Verfahren für Video ist die Zeilen- und Spalten-FEC nach **SMPTE ST 2022-1** (auf Basis von Pro-MPEG COP3). Die Medienpakete bilden eine Matrix aus L Spalten und D Zeilen; für jede Spalte und optional für jede Zeile wird ein XOR-Paritätspaket berechnet.

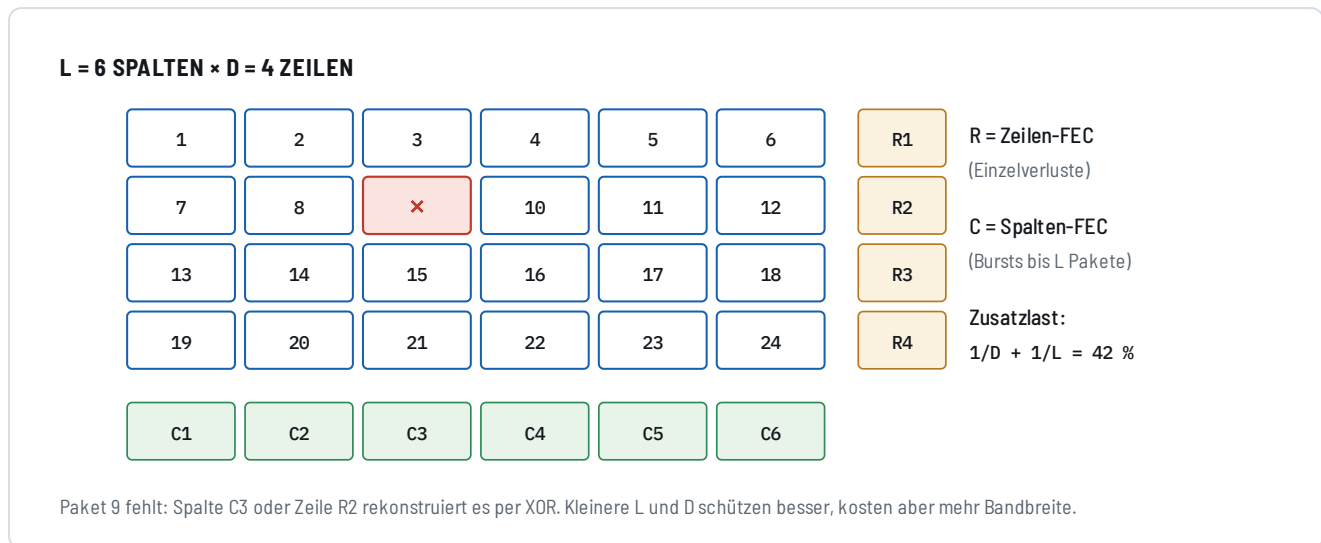


Abbildung 8.2 Zeilen- und Spalten-FEC: Ein verlorenes Paket wird aus Paritätspaketen rekonstruiert.

- Spalten-FEC repariert einen Burst von bis zu L aufeinanderfolgenden verlorenen Paketen.
- Zeilen-FEC repariert Einzelverluste.
- Die Zusatzlast beträgt $1/D$ für die Spalten-FEC plus $1/L$ für die Zeilen-FEC. Die Verzögerung liegt bei etwa einer Paketmatrix.

FEC kostet fest, ob das Netz Pakete verliert oder nicht, und sie kann Verluste jenseits ihrer Auslegung nicht reparieren, zum Beispiel mehrere Pakete in einer Spalte.

Wiederholung (ARQ)

Bei **Automatic Repeat Request (ARQ)** bittet der Empfänger den Sender, verlorene Pakete erneut zu senden. Moderne Videoprotokolle nutzen **negative Quittungen (NACK)**: Der Empfänger meldet nur, was fehlt, und der Sender wiederholt nur diese Pakete (*selektive Wiederholung*).

ARQ verbraucht nur dann Bandbreite, wenn tatsächlich Pakete verloren gehen, und bewältigt Bursts. Der Preis ist Latenz: Der Empfänger muss lange genug puffern, damit ein Verlust erkannt, gemeldet und behoben werden kann, gegebenenfalls mehrmals. Faustregeln:

- Der Latenzpuffer sollte **mindestens das 3- bis 4-Fache der Umlaufzeit (RTT)** betragen.
- Die Bandbreite braucht Reserve für Wiederholungen über der Stream-Rate – auf verlustbehafteten Strecken typisch 25 % oder mehr.
- ARQ braucht einen **Rückkanal**; auf Einweg-Satellitenstrecken und für große Multicast-Publika funktioniert es nicht.

Zwei Wege (nahtlose Absicherung)

Der Sender dupliziert jedes Paket und schickt die Kopien über **zwei unabhängige Netzwege**. Der Empfänger nimmt jedes Paket von dem Weg, der es zuerst liefert. Genormt ist das in **SMPTE ST 2022-7** ([Kapitel 15](#)); RIST, Zixi und SRT bieten es ebenfalls.

Es braucht keine Wiederholung, keine Quittungen und keine Umschaltsoftware; selbst der Totalausfall eines Weges ist am Ausgang unsichtbar. Der Preis sind doppelte Bandbreite und zwei wirklich getrennte Wege.

WAS WANN?

- Einwegstrecke, Multicast oder sehr geringe Latenz: **FEC**.
- Internetstrecke mit Rückkanal und einem Latenzbudget von einigen hundert Millisekunden: **ARQ**, wie bei SRT und RIST.
- Geschäftskritische Strecken und im Sendezentrum: **zwei Wege**, oft kombiniert mit FEC oder ARQ.

Zixi

Zixi war eines der ersten Protokolle, die Live-Video in Sendequalität über das offene Internet praxistauglich machten. Es ist proprietär, aber weit verbreitet.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Technischer Überblick

Das Zixi-Ökosystem

Bündelung und Redundanz

Einsatz

KERNPUNKTE

- Zixi läuft über UDP und kombiniert eine inhaltsbewusste FEC mit ARQ. Latenz und Robustheit lassen sich gegeneinander abwägen.
- Sein Ökosystem besteht aus Feedern, einem zentralen Broadcaster und Receivern.
- Zwei Netzwege lassen sich für mehr Durchsatz bündeln oder für unterbrechungsfreie Umschaltung nutzen. Inhalte sind mit AES und DTLS geschützt.

Technischer Überblick

Das **Zixi-Protokoll**, entwickelt von der gleichnamigen Firma, liefert Live-Video mit geringer Latenz, Zuverlässigkeit und Inhaltsschutz. Es läuft über UDP und behebt Fehler mit einer Kombination aus:

- **Z-FEC**, einer dynamischen, inhaltsbewussten Vorwärtsfehlerkorrektur, und
- **ARQ**, der Wiederholung verlorener Pakete ([Kapitel 8](#)).

Im latenzarmen Betrieb (unter etwa 1500 ms) nutzt Zixi diesen hybriden Ansatz, wobei die FEC bis zu 30 % Zusatzlast verursacht. Der Nutzer kann Latenz gegen Robustheit abwägen. Die Latenz sollte **mindestens das Dreifache der Umlaufzeit** betragen.

Zixi passt außerdem die Übertragungsbitrate dynamisch an. Inhalte sind mit **AES-Verschlüsselung** (bis 256-Bit-Schlüssel) und **DTLS** geschützt.

Das Zixi-Ökosystem

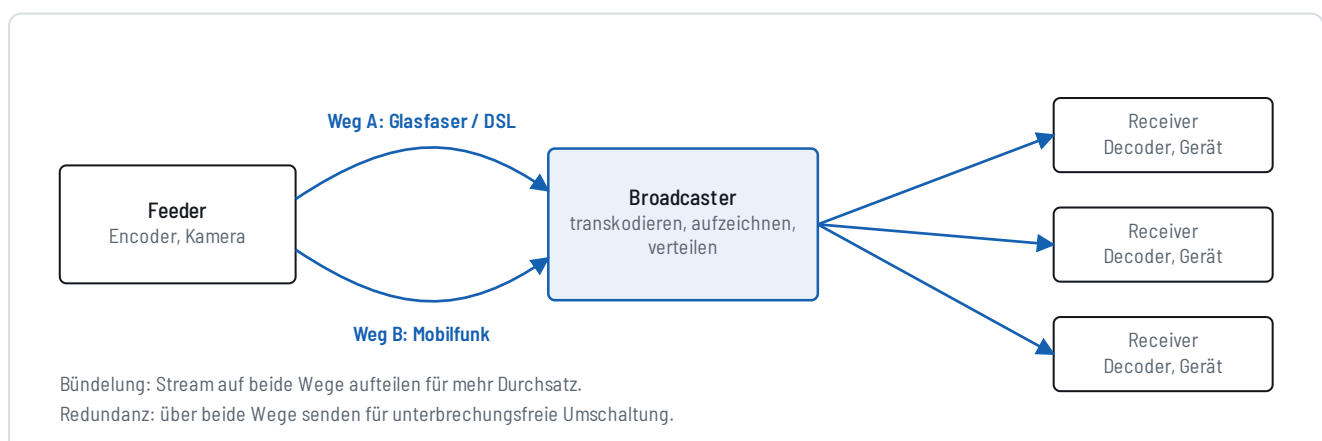


Abbildung 9.1 Feeder, Broadcaster und Receiver mit zwei gebündelten oder redundanten Wegen.

- Der **Feeder** ist die Quelle – ein Encoder oder eine Kamera.
- Der **Broadcaster** ist die zentrale Komponente. Er transkodiert, transmuxt, zeichnet auf und verteilt in mehreren Bitraten und Protokollen.
- Der **Receiver** ist typischerweise ein Decoder oder ein Endgerät.

Das Zixi-Protokoll wird zwischen Feeder und Broadcaster, zwischen Broadcaster und Receiver sowie zwischen zwei Broadcastern verwendet.

Bündelung und Redundanz

Zixi kann zwei Übertragungswege gleichzeitig nutzen, zum Beispiel eine Festnetzleitung und eine Mobilfunkverbindung:

- **Bündelung:** Der Stream wird auf beide Wege aufgeteilt, um einen höheren Gesamtdurchsatz zu erreichen.
- **Redundanz:** Der Stream wird über beide Wege gesendet, für eine unterbrechungsfreie Umschaltung.

Die Bündelung verlangt den Feeder-Ausgang im *Push*-Modus; dieser Modus ist auch zwischen zwei Broadcastern möglich.

Einsatz

Obwohl proprietär, ist Zixi weit verbreitet, besonders in der Primärverteilung zu entfernten Standorten und über private, multicastfähige Netze. Viele Encoder, Decoder und Cloud-Dienste enthalten Zixi in Lizenz. Wo die Interoperabilität zwischen Herstellern im Vordergrund steht, vergleichen Sie es mit den offenen Protokollen SRT ([Kapitel 10](#)) und RIST ([Kapitel 11](#)).

SRT – Secure Reliable Transport

SRT ist das meistgenutzte offene Protokoll für Live-Zuführung über das Internet. Es bringt sicheren, zuverlässigen UDP-Transport in Encoder und Decoder vieler Hersteller.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel Zweck Technischer Überblick Verlustbehandlung mit ACK und NAK Verschlüsselung
FEC und Bündelung Einsatz und typische Anwendungen

KERNPUNKTE

- SRT läuft über UDP und stellt verlorene Pakete per NAK-basierter Wiederholung in einem festen Latenzfenster wieder her, typisch 3–4 × RTT.
- Nutzdaten werden mit AES (128, 192 oder 256 Bit) verschlüsselt; der Schlüssel wird aus einer gemeinsamen Passphrase abgeleitet.
- SRT ist Open Source und wird von Hunderten Herstellern unterstützt. Es ist ein De-facto-Standard, keine formale Norm.

Zweck

Secure Reliable Transport (SRT) überträgt Live-Zuführungssignale, die geringe Latenz, Zuverlässigkeit und Verschlüsselung brauchen. Es nutzt UDP und wurde als Alternative zu RTMP und HTTP-Streaming entwickelt, deren Abhängigkeit von TCP Latenz kostet ([Kapitel 5](#), [Kapitel 7](#)). Zugleich war es eine offene Alternative zu Zixi ([Kapitel 9](#)), mit der Encoder und Decoder verschiedener Hersteller zusammenarbeiten.

SRT wurde von Haivision entwickelt, 2017 als Open Source freigegeben und wird von der im selben Jahr gegründeten **SRT Alliance** mit mehreren hundert Mitgliedsfirmen gefördert. Das Protokoll ist in einem IETF-Internet-Draft beschrieben, aber kein RFC; es ist ein Industriestandard durch Verbreitung.

Technischer Überblick

SRT folgt dem ALF-Prinzip ([Kapitel 1](#)) und stammt von **UDT** ab, dem UDP-based Data Transfer Protocol. UDT war für große Dateiübertragungen gebaut; SRT passt es für Live-Streaming an (seinen Standardmodus) und unterstützt weiterhin Dateiübertragung.

- **Sitzungsbasiert.** Anders als das zustandslose HTTP baut SRT eine Verbindung mit einem Handshake auf, hält sie mit Keep-alive-Nachrichten aufrecht und beendet sie ausdrücklich.
- **Sequenznummer und Zeitstempel** in jedem Paket, für Verlusterkennung, Umsortieren und Timing. Der Empfänger gibt jedes Paket mit fester Verzögerung nach dem Senden aus (*timestamp-based packet delivery*); das beseitigt den Netzzitter.
- **Stream-ID.** Ein Caller kann den gewünschten Stream benennen, sodass ein Listener-Port viele Streams bedienen kann.

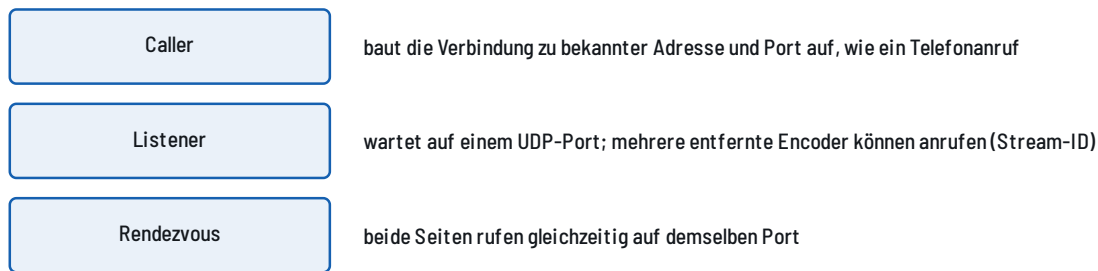


Abbildung 10.1 Die drei SRT-Verbindungsmodi.

Verlustbehandlung mit ACK und NAK

SRT stellt verlorene Pakete per ARQ wieder her (Kapitel 8):

- Der Empfänger sendet ein **NAK**, sobald er eine Lücke erkennt. Der Sender hält jedes Paket für die Dauer der Latenz im Puffer und wiederholt verlorene Pakete mit Vorrang vor neuen.
- Der Empfänger wartet auf ein fehlendes Paket bis zu dessen Ausgabezeitpunkt. Ist es bis dahin nicht da, wird es verworfen (*too-late packet drop*), und der Stream läuft weiter.
- **Voll-ACKs** alle 10 ms melden Umlaufzeit, Streckenkapazität und Empfangsrate. Der Sender antwortet mit einem ACKACK, damit der Empfänger die RTT messen kann.

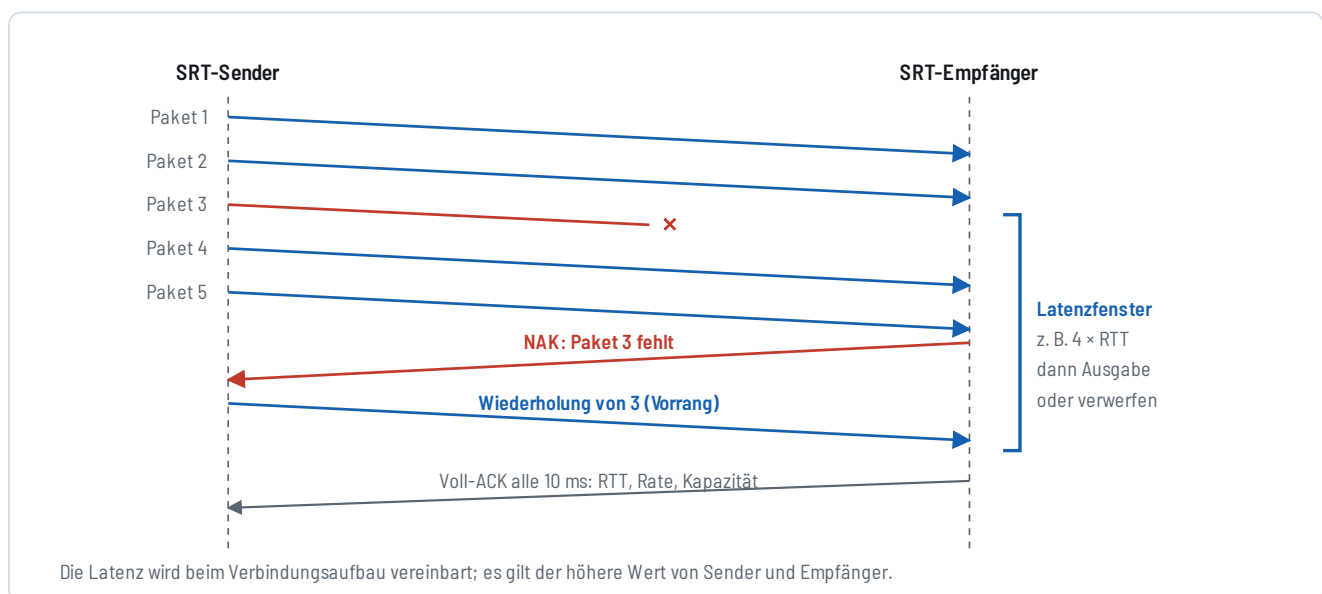


Abbildung 10.2 SRT stellt ein verlorenes Paket innerhalb des vereinbarten Latenzfensters wieder her.

Die **Latenz** wird in Millisekunden eingestellt und beim Verbindungsaufbau vereinbart; es gilt der höhere Wert beider Seiten. Eine übliche Regel ist das 3- bis 4-Fache der RTT, mindestens etwa 120 ms, auf verlustbehafteten Strecken mehr. Im Live-Modus drosselt SRT den Stream nicht; für die Bitrate bleibt die Ratensteuerung des Encoders zuständig.

Verschlüsselung

SRT verschlüsselt die Nutzlast mit **AES im Counter-Modus (AES-CTR)** mit 128-, 192- oder 256-Bit-Schlüsseln; neuere Versionen bieten auch AES-GCM. Der Counter-Modus erlaubt die Entschlüsselung ab jedem Paket und toleriert Verluste. Der Schlüssel wird aus einer auf beiden Seiten eingestellten Passphrase abgeleitet und regelmäßig erneuert. Der Header, einschließlich der Sequenznummer, bleibt unverschlüsselt.

FEC und Bündelung

Das Handout 2022 gab an, SRT habe keinen FEC-Mechanismus und keine Bündelung. Beides ist inzwischen hinzugekommen:

- Ein eingebauter **Paketfilter** bietet Zeilen- und Spalten-FEC ähnlich ST 2022-1, kombinierbar mit ARQ.
- **Verbindungsbündelung** (Socket-Gruppen, ab SRT 1.5) sendet einen Stream über mehrere Verbindungen, entweder im Modus *Broadcast* (jedes Paket auf jeder Verbindung, wie ST 2022-7) oder im Modus *Main/Backup*.

Prüfen Sie die SRT-Version Ihrer Geräte, bevor Sie sich auf diese Funktionen verlassen.

Einsatz und typische Anwendungen

SRT wird von einer sehr breiten Palette an Encodern, Decodern, Gateways, Cloud-Diensten und Software-Werkzeugen unterstützt. Typische Einsätze:

- Zuführung aus Studios, von Events und entfernten Kameras über das offene Internet.
- Primärverteilung an Partnersender und Betreiber.
- Einspeisung von Live-Kanälen in IPTV-Kopfstationen, wo ein Gateway SRT in UDP-Multicast wandelt ([Kapitel 12](#)).

EINE SRT-STRECKE EINRICHTEN

- ☐ Zuerst RTT und Paketverlust der Strecke messen
- ☐ Latenz $\geq 4 \times$ RTT (mehr auf verlustbehafteten oder Mobilfunkstrecken); gleicher oder höherer Wert am Empfänger
- ☐ Bandbreitenreserve von mindestens 25 % über der Stream-Rate für Wiederholungen
- ☐ Passphrase auf beiden Seiten (mindestens 10 Zeichen) und Schlüssellänge abgestimmt
- ☐ Festlegen, wer Caller und wer Listener ist; den UDP-Port des Listeners in der Firewall öffnen
- ☐ Wiederholungsrate und verworfene Pakete überwachen, nicht nur das Bild

RIST – Reliable Internet Stream Transport

RIST ist die Antwort der Rundfunkbranche auf proprietäre Transportprotokolle – eine offene Spezifikation auf Basis von RTP, gemeinsam von vielen Herstellern geschrieben, um Interoperabilität zu sichern.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel Hintergrund Simple Profile (TR-06-1, 2018) Bündelung
Main Profile (TR-06-2, 2020) Advanced Profile (TR-06-3) Marktakzeptanz

KERNPUNKTE

- RIST ist vom Video Services Forum (VSF) in drei Profilen spezifiziert. Simple baut auf RTP und RTCP auf; Main ergänzt Tunnel, Verschlüsselung und Authentifizierung.
- Die Verlustbehandlung nutzt NACKs und selektive Wiederholung; Bündelung über mehrere Verbindungen bringt Bandbreite oder Redundanz.
- Da nur das Protokoll genormt ist, kann das Verhalten in schlechten Netzen je nach Hersteller unterschiedlich ausfallen.

Hintergrund

Das **Reliable Internet Stream Transport (RIST)**-Protokoll wurde vom **Video Services Forum (VSF)** entwickelt, um einen offenen Standard für zuverlässiges Streaming über das Internet zwischen Produkten verschiedener Hersteller zu schaffen. Das VSF sah einen „Mangel an Kompatibilität zwischen Geräten“ wegen proprietärer Lösungen wie Zixi und, damals, SRT. RIST ist ein ALF-Protokoll, das sich stark an RTP anlehnt ([Kapitel 2](#)).

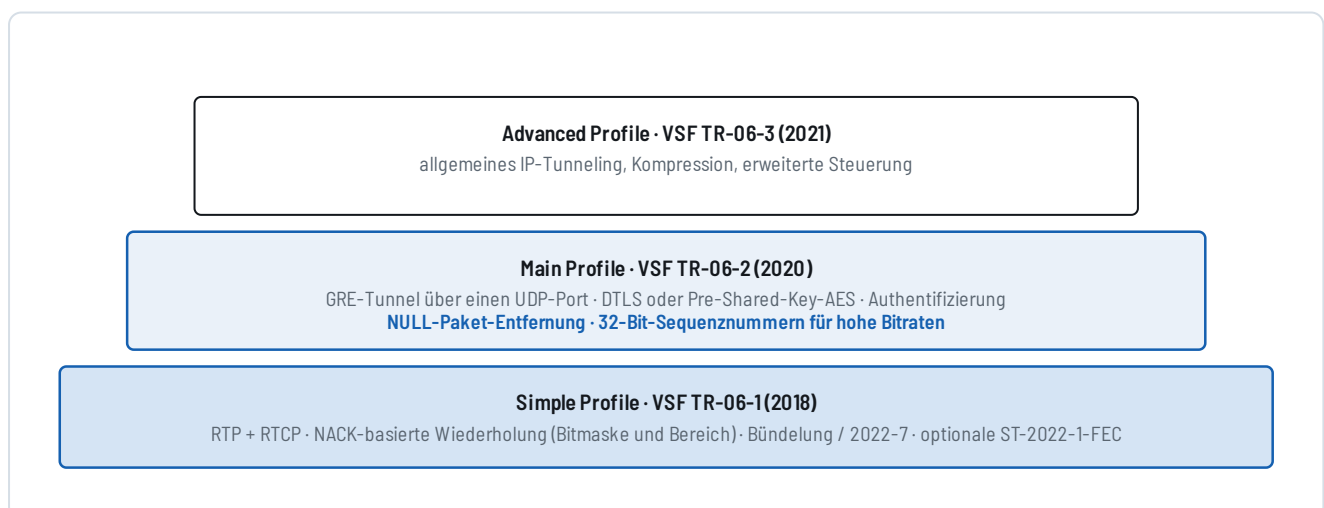


Abbildung 11.1 Die drei RIST-Profile bauen aufeinander auf.

Simple Profile (TR-06-1, 2018)

Das Simple Profile wurde im Oktober 2018 veröffentlicht. Es nutzt **RTP** für die Medien und **RTCP** für Steuernachrichten, vor allem zur Fehlerbehandlung.

- **NACK-basierte Wiederholung.** Erkennt der Empfänger einen Verlust, sendet er eine negative Quittung; anders als bei TCP gibt es keine positiven Quittungen. Der Sender wiederholt nur die verlorenen Pakete (*selektive Wiederholung*), um Bandbreite zu sparen.
- **Zwei NACK-Formate:** eine Bitmaske für einzelne Pakete und kurze Bursts bis 17 Pakete sowie ein bereichsbasiertes NACK für lange Bursts.
- Wie Verluste erkannt und Anfragen zeitlich gesteuert werden, bleibt dem Implementierer überlassen.

Wie bei jedem Wiederholungsverfahren braucht der Empfänger einen Puffer von einer oder mehreren Umlaufzeiten plus Umsortieren, und ein Paket kann mehrfach angefordert werden ([Kapitel 8](#)). RIST eignet sich daher für Strecken, auf denen keine extrem geringe Latenz gefordert ist oder die Umlaufzeit klein ist.

Bündelung

RIST unterstützt **Kanalbündelung** über mehrere Verbindungen wie Glasfaser, WLAN oder LTE:

- **Lastverteilung:** Ein RTP-Stream hoher Bitrate wird auf die Verbindungen aufgeteilt, um ihre Bandbreite zu addieren.
- **Redundanz:** Der Stream wird auf jede Verbindung dupliziert, wie bei ST 2022-7.

Der Empfänger stellt die Reihenfolge wieder her und entfernt Duplikate.

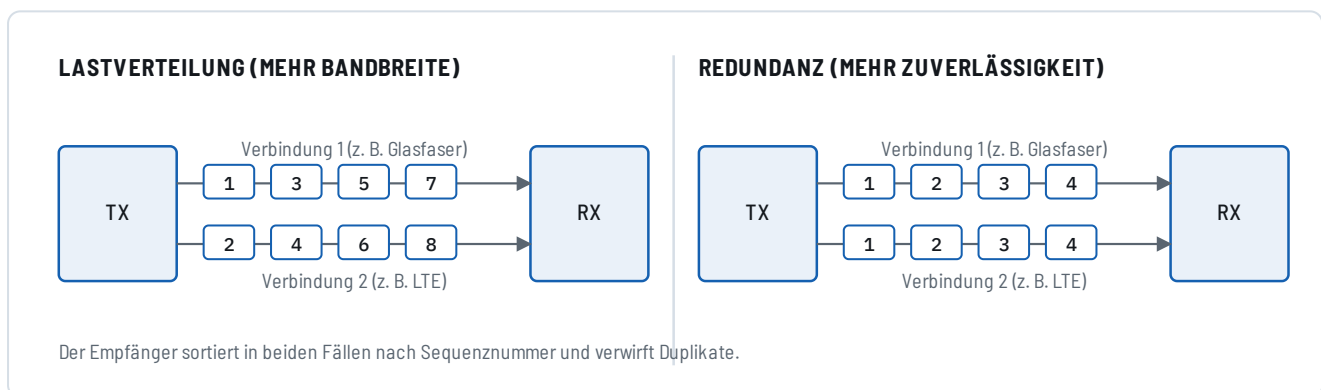


Abbildung 11.2 Lastverteilung und Redundanz über zwei Verbindungen.

Main Profile (TR-06-2, 2020)

Das im März 2020 veröffentlichte Main Profile ergänzt:

- **Tunnel und Multiplexing.** Der gesamte Verkehr zwischen zwei RIST-Geräten – mehrere Streams, RTCP und sogar andere Daten – läuft durch einen GRE-Tunnel über einen einzigen UDP-Port. Das vereinfacht Firewalls und ermöglicht die Verschlüsselung von allem.
- **Verschlüsselung** mit DTLS (RFC 6347) oder mit Pre-Shared Key (PSK) über AES.
- **Authentifizierung** mit Zertifikaten oder, für einfachere Fälle, Passwörtern.
- **NULL-Paket-Entfernung.** MPEG-2-TS-NUL-Pakete werden beim Sender entfernt und ihre Positionen in einer Bitmaske signalisiert, damit der Empfänger sie wieder einfügen kann. Das spart 3–5 % Bandbreite, wo NULL-Pakete vorkommen, etwa nach einem statistischen Multiplexer.
- **Hohe Bitrate / hohe Latenz.** Die Sequenznummer wird von 16 auf 32 Bit erweitert, damit sie auf schnellen, langen Strecken innerhalb des Puffers nicht überläuft.
- Optionale **SMPT-2022-1-FEC** als latenzarme Alternative zur Wiederholung.

Das Simple Profile hat weder Verschlüsselung noch Authentifizierung. Setzen Sie es nicht ein, wo diese gefordert sind.

Advanced Profile (TR-06-3)

Das dritte Profil kündigte das Handout als *Enhanced Profile* für 2021 an, mit intelligenter Bandbreitenoptimierung, gemeinsamer Sitzungsverwaltung, zentraler *Call-Home*-Steuerung vieler Zuspielungen und hybridem Internet-/Satellitenbetrieb. Das VSF veröffentlichte es 2021 als **Advanced Profile**; es erweitert RIST um allgemeines IP-Tunneling und weitere Funktionen. Den genauen Funktionsumfang entnehmen Sie den aktuellen VSF-Dokumenten.

Marktakzeptanz

Als das Handout entstand, kamen RIST-Geräte gerade erst auf den Markt. Heute ist RIST in vielen Encodern, Decodern und Gateways verfügbar, und die Open-Source-Bibliothek *libRIST* erleichtert die Implementierung. Mit seiner breiten Herstellerbasis ist RIST eine gute Wahl, wo herstellerübergreifende Interoperabilität, Multicast und Bündelung zählen. Hersteller können ihre Implementierungen weiterhin verbessern, etwa um Bitratenanpassung oder Umschaltlogik.

SRT, RIST und Zixi im Vergleich – und das Gateway zum Zuschauer

Kein einzelnes Protokoll deckt die ganze Kette ab. Zuführung, Verteilung und Auslieferung nutzen jeweils eigene, und Gateways übersetzen zwischen ihnen.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Im direkten Vergleich

Wo sie eingesetzt werden

KERNPUNKTE

- SRT und RIST sind offen und interoperabel; Zixi ist proprietär mit starkem Ökosystem; RTP mit FEC eignet sich für verwaltete Netze.
- Alle drei Internetprotokolle kombinieren ARQ, optionale FEC und Verschlüsselung; ihre Latenz bestimmt die Umlaufzeit.
- Gateways empfangen Zuführungsströme und wandeln sie in HLS/DASH für OTT-Zuschauer oder in UDP/RTP-Multicast für IPTV-Netze.

Im direkten Vergleich

	RTP + FEC	SRT	RIST	ZIXI
Spezifikation	IETF RFC 3550, SMPTE ST 2022-1/2	Open Source, IETF-Draft	VSF TR-06-1/-2/-3	proprietär
Transport	UDP	UDP	UDP (RTP)	UDP
Verlustbehandlung	FEC	ARQ (NAK); FEC optional	ARQ (NACK); FEC optional	FEC + ARQ
Verschlüsselung	– (SRTP separat)	AES 128/192/256	DTLS oder PSK-AES (Main)	AES, DTLS
Bündelung / zwei Wege	ST 2022-7	Socket-Gruppen (v1.5)	ja	ja
Multicast	ja	nein (Unicast)	ja	ja (private Netze)
Typisches Netz	verwaltet	Internet	Internet und verwaltet	Internet und verwaltet

Wo sie eingesetzt werden

RTP, Zixi, SRT und RIST werden vor allem **in Kopfstationen und für die Primärverteilung** eingesetzt – vom Studio oder Event zum Betreiber. An Smartphones und Fernseher werden sie nicht ausgeliefert. Vor dem Zuschauer wandelt ein **Gateway** sie:

- in **HLS und DASH** für die OTT-Auslieferung über CDNs ([Kapitel 3](#), [Kapitel 4](#)),

- in **UDP/RTP-Multicast** für IPTV-Netze in Hotels, Krankenhäusern und Wohnanlagen,
- in **SDI oder HDMI** über IP-Decoder für Monitoring und Produktion.

Das Gateway kann Hardware in einer Kopfstation oder Software in einem Rechenzentrum oder der Cloud sein – eine *virtualisierte Kopfstation*. Nur das Transportprotokoll zu wandeln geht schnell; muss sich auch der Inhalt ändern (Codec, Auflösung, Bitrate), transkodiert das Gateway zusätzlich.

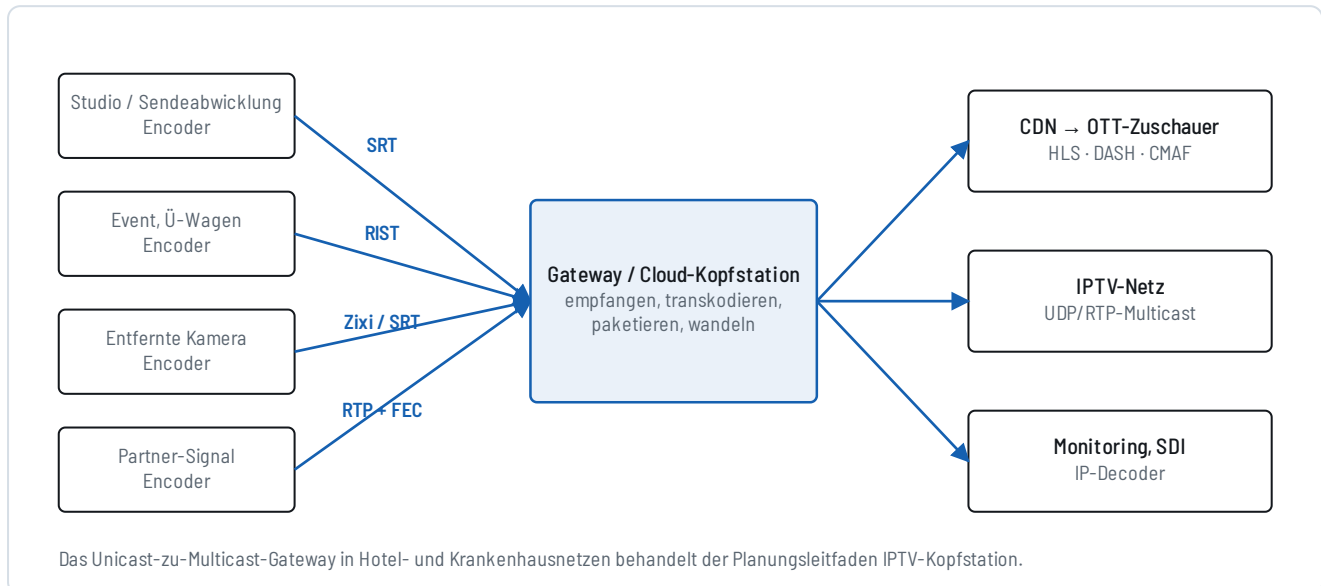


Abbildung 12.1 Ein Gateway wandelt Zuführungsströme für OTT-Zuschauer und IPTV-Netze.

UNICAST HINEIN, MULTICAST HINAUS

Bei IPTV in Hotellerie und Einrichtungen besteht die typische Aufgabe darin, einige SRT-, RTMP- oder HLS-Streams zu empfangen und neben den Satellitendiensten in das Multicast-Netz einzuspeisen. Der **Planungsleitfaden IPTV-Kopfstation** dieser Reihe beschreibt das im Kapitel über die Einbindung von Internet-Streams, mit den IP-zu-IP-Gateways BIG-1050X und BIG-1100X von BLANKOM.

EIN ZUFÜHRUNGSPROTOKOLL WÄHLEN

- ☐ Müssen Geräte mehrerer Hersteller zusammenarbeiten? Dann SRT oder RIST bevorzugen
- ☐ Gibt es einen Rückkanal? Wenn nicht, FEC nutzen (RTP + ST 2022-1 oder RIST/SRT nur mit FEC)
- ☐ Latenzbudget im Verhältnis zur Umlaufzeit: ARQ braucht $3-4 \times \text{RTT}$
- ☐ Verschlüsselung und Authentifizierung gefordert? Dann SRT oder RIST Main Profile, nicht RIST Simple oder reines RTP
- ☐ Zwei unabhängige Verbindungen vorhanden? Dann Bündelung oder ST 2022-7 für unterbrechungsfreien Schutz
- ☐ Was unterstützen die vorhandenen Encoder, Decoder und Cloud-Dienste bereits?

Von SDI zu IP im Sendezentrum

Produktionsstätten waren die letzte Bastion eigener Videoverkabelung. Steigende Auflösungen, Remote-Produktion und die Cloud bringen auch sie zu IP.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

SDI, das klassische Rückgrat

Warum jetzt IP

Die Bausteine

KERNPUNKTE

- SDI überträgt unkomprimiertes Video über Koax, Punkt zu Punkt. Es ist berechenbar und zuverlässig, und viel Kapital steckt darin.
- UHD und höhere Bildraten treiben SDI auf 12 Gbit/s und mehr, und SDI überbrückt weder große Entfernungen noch erreicht es die Cloud.
- IP muss das Timing und die Zuverlässigkeit von SDI erreichen. SMPTE ST 2022, ST 2110, PTP und ST 2022-7 leisten das.

SDI, das klassische Rückgrat

Video wird seit Mitte der 1990er-Jahre über IP an Zuschauer verteilt, doch in der Live-Produktion kam IP erst viel später an. Dort hat das **Serial Digital Interface (SDI)** über Koaxialkabel – SD-SDI, HD-SDI, 3G-SDI, 12G-SDI – digitales Video, Audio und Metadaten getragen. SDI ist Punkt-zu-Punkt, hat eine feste Latenz und ist äußerst berechenbar. Sender haben viel in SDI-Infrastruktur investiert, auch in teure Kreuzschienen, und bezweifeln, dass IP dieselbe Zuverlässigkeit garantieren kann.

Warum jetzt IP

Drei Entwicklungen haben das Bild verändert:

1. **Bandbreite.** SDI überträgt rohes, unkomprimiertes Video. Mit UHD- und 8K-Auflösungen und Bildraten von 50/60 und sogar 100/120 fps braucht ein einzelnes Signal 12, 24 oder 48 Gbit/s.
2. **Entfernung.** SDI eignet sich nicht, um Inhalte über große Entfernungen zu bringen, etwa von einem Veranstaltungsort ins Studio oder von einem Sender zu Betreibern.
3. **Die Cloud.** Produktion und Sendeabwicklung in Rechenzentren und Clouds sind nur über IP erreichbar.

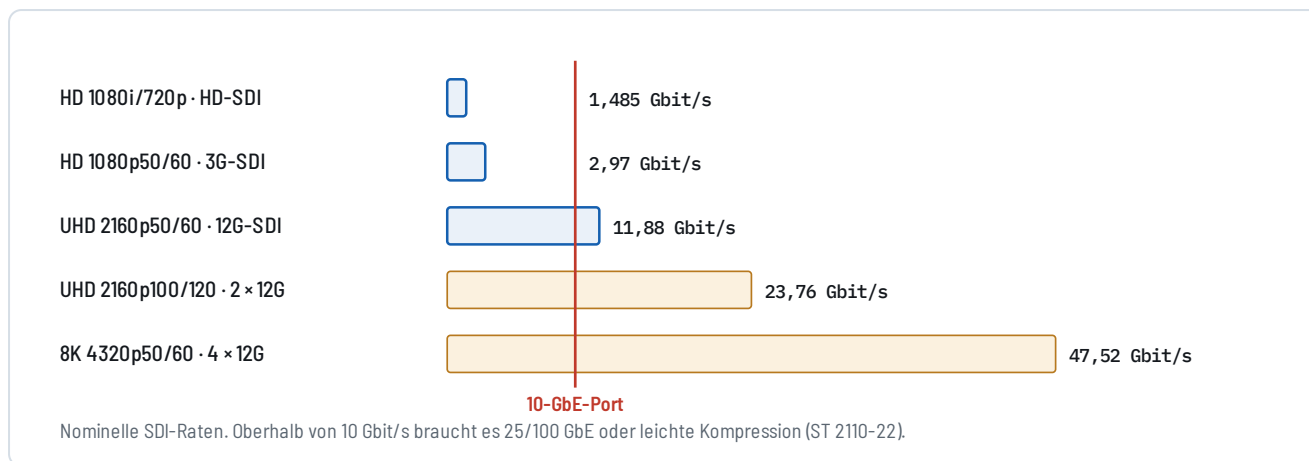


Abbildung 13.1 Unkomprimierte Videobitraten wachsen über einen 10-GbE-Port hinaus.

Ethernet-Switches mit 25-, 100- und 400-Gbit/s-Ports bieten heute die Kapazität, und Standard-IP-Hardware ersetzt spezielle SDI-Kreuzschienen. Was IP ergänzen muss, ist die Disziplin von SDI: präzises Timing, konstante Latenz und Schutz vor Paketverlust.

Die Bausteine

BEDARF	NORM	KAPITEL
Komprimierte Ströme zwischen Standorten	SMPTE ST 2022-1/2	Kapitel 14
SDI-Signale als Bündel über IP	SMPTE ST 2022-6	Kapitel 14
Unterbrechungsfreie Absicherung	SMPTE ST 2022-7	Kapitel 15
Getrennte Video-, Audio- und Datenströme	SMPTE ST 2110	Kapitel 16
Gemeinsamer Takt	PTP (IEEE 1588, SMPTE ST 2059)	Kapitel 16
Erkennung und Verbindungsverwaltung	AMWA NMOS	Kapitel 16

KORREKTUR GEGENÜBER DEM HANDOUT 2022

Das Handout verband den Wechsel zu IP mit CPUs, die „die Datenrate von SDI (400 Gbps)“ bewältigen. SDI-Raten liegen zwischen 1,5 und 12 Gbit/s je Verbindung; 400 Gbit/s ist eine moderne Ethernet-Portgeschwindigkeit. Entscheidend ist die Schaltkapazität der Netze, nicht die Rechenleistung.

SMPTE ST 2022

ST 2022 war der erste Schritt von eigenen Videoleitungen zu IP. Die ersten Teile sind der Standard für komprimierte Zuführung über verwaltete Netze; Teil 6 brachte SDI selbst auf IP.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel Komprimierte Ströme: ST 2022-1 bis -4

Warum die Produktion unkomprimiertes Video braucht SDI über IP: ST 2022-6 und -5

KERNPUNKTE

- ST 2022-1 und -2 (2007) übertragen MPEG-2-Transportströme konstanter Bitrate über RTP mit optionaler Zeilen-/Spalten-FEC. Sie sind in der Primärverteilung weit verbreitet.
- ST 2022-6 (2012) überträgt ein komplettes SDI-Signal – Video, Audio und Daten als ein Bündel – über RTP, mit FEC nach ST 2022-5.
- Unkomprimiertes Video braucht die Produktion für bildgenaues Schneiden und Grafikeinblendung; komprimierte Ströme leisten das nicht.

Komprimierte Ströme: ST 2022-1 bis -4

Die **Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE)** veröffentlichte die ersten Teile von ST 2022 im Jahr 2007:

- **ST 2022-2** überträgt **MPEG-2-Transportströme** konstanter Bitrate (CBR) **über IP**, in RTP gekapselt.
- **ST 2022-1** ergänzt optionale **FEC** mit der Zeilen- und Spaltenmatrix aus [Kapitel 8](#).
- **ST 2022-3** und **-4** erweitern das auf Ströme variabler Bitrate.

Diese Teile eignen sich für die **Primärverteilung** von Sendern zu Kabel-, Satelliten-, IPTV- und OTT-Betreibern. Das Video ist moderat komprimiert – mit JPEG 2000, MPEG-2, H.264/AVC oder HEVC – bei einigen bis einigen zehn Mbit/s. ST 2022-1/2 waren kommerziell sehr erfolgreich und sind weit verbreitet.

KOMPRIMIERT · ST 2022-1/2/3/4

Primärverteilung, einige bis einige zehn Mbit/s

IP · UDP · RTP
+ FEC-Ströme nach ST 2022-1



Nutzlast: 1-7 TS-Pakete à 188 Byte

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| 2022-1 | FEC für komprimierte Ströme |
| 2022-2 | CBR-MPEG-2-TS über IP |
| 2022-3/-4 | VBR-Transportströme |

UNKOMPRIMIERT · ST 2022-5/6/7

im Studio, 1,5-12 Gbit/s

IP · UDP · RTP · HBRMT
1376 Byte SDI-Daten je Paket

Video + Audio + Zusatzdaten als ein Bündel

- | | |
|---------------|-------------------------------|
| 2022-5 | FEC für hohe Bitraten |
| 2022-6 | SDI über IP |
| 2022-7 | nahtlose Zweiwege-Absicherung |

Abbildung 14.1 Die zwei Familien von SMPTE ST 2022.

Warum die Produktion unkomprimiertes Video braucht

Komprimierte Ströme sind für die Live-Produktion unpraktisch. Bildgenaues Umschalten, das Einfügen von Zwischensequenzen, Logos und Grafiken – all das geschieht an unkomprimierten Bildern. Jedes Dekodieren und Neukodieren würde außerdem Qualität und Latenz kosten.

SDI über IP: ST 2022-6 und -5

ST 2022-6 (2012) definiert die Übertragung von **SDI-Signalen über IP**: unkomprimiertes Video, Audio und Zusatzdaten wie Untertitel und Zeitinformationen als ein Bündel – das SDI-Signal wird einfach paketierte.

- Es nutzt RTP und einen Header für *High Bit Rate Media Transport* (HBRMT).
- Jedes Paket trägt **1376 Byte** SDI-Daten, damit es zusammen mit den RTP-, UDP- und IP-Headern in einen Standard-Ethernet-Rahmen passt.
- ST 2022-6 ermöglichte den Einsatz von IP-Routern und -Switches in Produktionsstätten.

Zwei Schutzmechanismen wurden definiert:

- **ST 2022-5**: FEC für Medien hoher Bitrate.
- **ST 2022-7**: nahtlose Absicherung über zwei Wege ([Kapitel 15](#)).

WO ST 2022-6 HEUTE STEHT

Weil ST 2022-6 Video, Audio und Daten gebündelt lässt, ist es in neuen Anlagen weitgehend von ST 2110 ([Kapitel 16](#)) abgelöst. Nutzen Sie es, wo vorhandene Geräte es verlangen, oder als Brücke von SDI.

Nahtlose Absicherung mit ST 2022-7

Der einfachste Weg, eine IP-Videostrecke gegen Paketverlust und sogar Netzausfall abzusichern, ist, sie zweimal zu senden. ST 2022-7 normt genau das.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Prinzip

Der Empfangspuffer

Stärken und Kosten

Wo es eingesetzt wird

KERNPUNKTE

- Der Sender überträgt identische RTP-Ströme über zwei unabhängige Netze. Der Empfänger nimmt jedes Paket von dem Weg, der es liefert.
- Keine Wiederholung, keine Quittungen, keine Umschaltsoftware – das Umschalten geschieht automatisch und unterbrechungsfrei.
- Der Preis sind doppelte Bandbreite und ein Empfangspuffer, der den Laufzeitunterschied der Wege abdeckt.

Prinzip

SMPTE ST 2022-7 (*Seamless protection switching of RTP datagrams*) dupliziert den Strom im Sender und schickt die Kopien über **zwei verschiedene Wege**, oft rotes und blaues Netz genannt. Gehen auf einem Weg Pakete verloren, rekonstruiert der Empfänger den Strom aus den Paketen des anderen. Da beide Kopien dieselben RTP-Sequenznummern tragen, kann der Empfänger sie Paket für Paket zusammenführen.

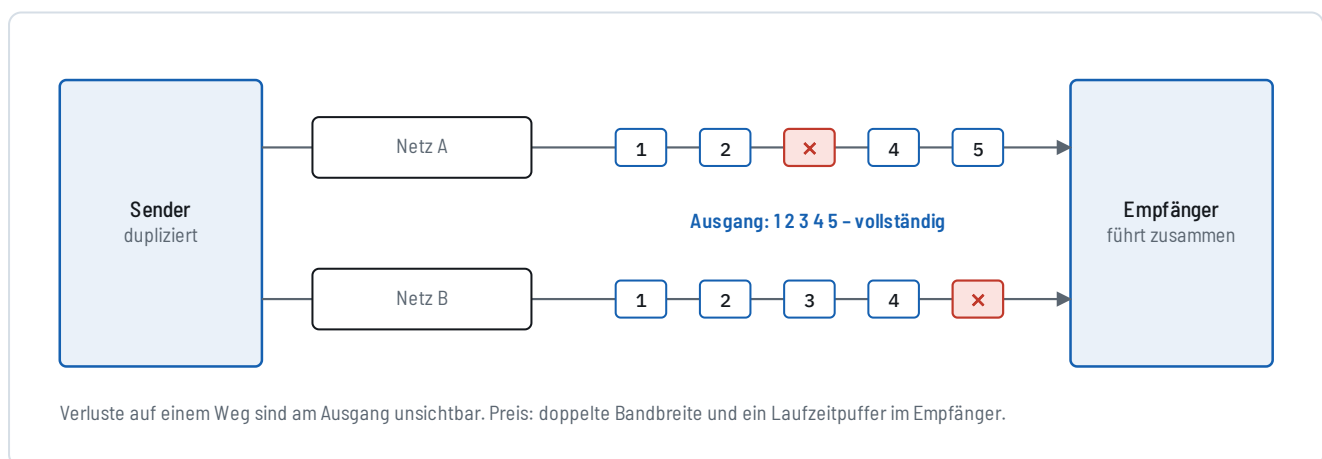


Abbildung 15.1 ST 2022-7: identische Pakete über zwei Netze, im Empfänger zusammengeführt.

Der Empfangspuffer

Die beiden Wege haben nie genau dieselbe Laufzeit, und jeder hat seinen eigenen Jitter. Der Empfänger braucht daher einen Puffer, der den **Laufzeitunterschied** (Skew) abdeckt. Die Norm definiert Empfängerklassen nach dem tolerierten Skew. Die Puffergröße ist ein Kompromiss zwischen Latenz und Ausfallsicherheit: Ein größerer Puffer toleriert unterschiedlichere Wege, verzögert aber stärker.

Stärken und Kosten

- **Stärken.** Keine Wiederholungen, keine Quittungen, keine komplexe FEC. Die Umschaltung ist automatisch, autonom und nahtlos – keine Überwachungssoftware muss einen Fehler erkennen und handeln. Selbst der Totalausfall eines Netzes bleibt am Ausgang unsichtbar.
- **Kosten.** Doppelte Bandbreite, zwei wirklich unabhängige Netze (getrennte Switches, Fasern und Stromversorgung) und mehr Empfängerports.

Wo es eingesetzt wird

ST 2022-7 schützt ST-2022-6- und ST-2110-Ströme in Sendezentren und zwischen ihnen, wo Bandbreite vorhanden ist. Es wird auch für komprimierte Zuführung über zwei verwaltete Netze genutzt, und ähnliche Zweiwege-Modi gibt es bei RIST, Zixi und SRT ([Kapitel 12](#)).

EIN 2022-7-SYSTEM PLANEN

- ☐ Zwei physisch getrennte Netze, einschließlich getrennter Switches und Stromeinspeisungen
- ☐ Jeder Sender und Empfänger mit zwei Netzwerkschnittstellen
- ☐ Skew zwischen den Wegen gemessen; Empfängerklasse und Puffer entsprechend gewählt
- ☐ Beide Wege überwacht – ein unbemerkter Ausfall eines Weges hebt den Schutz auf

SMPTE ST 2110, PTP und NMOS

ST 2110 entbündelt das SDI-Signal. Jede Essenz läuft als eigener Strom, und ein gemeinsamer Takt hält sie zusammen. Es ist der Standard für neue IP-Produktionsstätten.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Vom Bündel zu Essenzen

Die Teile von ST 2110

Takt mit PTP

Steuerung mit NMOS

Ein typisches Studio

KERNPUNKTE

- Video, Audio und Zusatzdaten sind getrennte RTP-Ströme (ST 2110-20/-22, -30/-31, -40), sodass jeder für sich geroutet und bearbeitet werden kann.
- Alle Geräte teilen einen Takt über das Precision Time Protocol (ST 2110-10, SMPTE ST 2059). Jeder Switch muss PTP unterstützen.
- Mit AMWA NMOS registrieren sich Geräte, werden gefunden und automatisch verbunden. ST 2022-7 sorgt für Absicherung.

Vom Bündel zu Essenzen

ST 2022-6 überträgt Audio, Video und Zusatzdaten als ein Bündel ([Kapitel 14](#)). Viele Arbeitsabläufe brauchen sie getrennt – zum Beispiel, um Audio und Untertitel einer Sprache durch eine andere zu ersetzen, ohne das Video anzufassen.

2015 veröffentlichte das Video Services Forum **TR-03**, das jedes Medium als eigenen Strom, als *Essenz*, in RTP behandelte. Damit war die Grundlage für **SMPTE ST 2110** gelegt, dessen erste Teile 2017 erschienen.

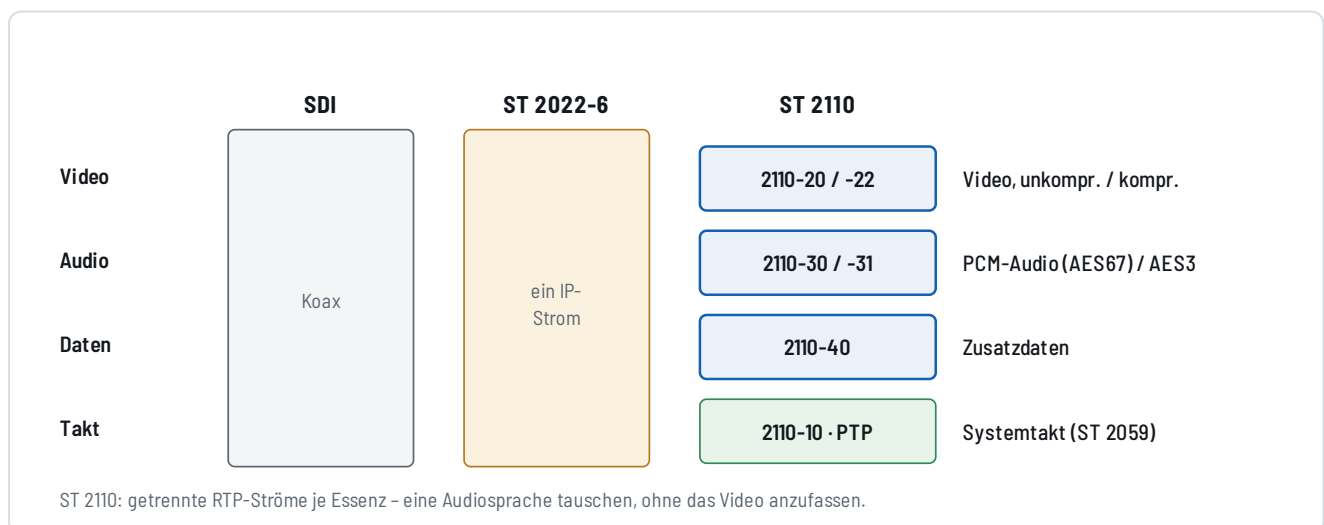


Abbildung 16.1 SDI und ST 2022-6 bündeln die Essenzen; ST 2110 trennt sie.

Grob betrachtet liegt der Hauptunterschied zwischen SDI und ST 2022-6 in der physikalischen Verbindung; der Unterschied zwischen ST 2022-6 und ST 2110 in der Entbündelung der Medien.

Die Teile von ST 2110

TEIL	INHALT
ST 2110-10	Systemtakt und Definitionen (PTP)
ST 2110-20	Unkomprimiertes aktives Video
ST 2110-21	Traffic Shaping und Übertragungstiming von Video
ST 2110-22	Komprimiertes Video konstanter Bitrate, z. B. JPEG XS (2019)
ST 2110-30	PCM-Audio (auf Basis von AES67)
ST 2110-31	Transparente AES3-Übertragung
ST 2110-40	Zusatzdaten (Untertitel, Timecode und mehr)

ST 2110-22 überträgt leicht komprimiertes Video mit Codecs wie JPEG XS oder TICO. JPEG XS komprimiert typisch etwa 10:1 bei einer Latenz deutlich unter einer Millisekunde, gegenüber einigen zehn Millisekunden bei JPEG 2000. Damit wird UHD über 10- und 25-GbE-Verbindungen möglich.

Zur Absicherung stützt sich ST 2110 auf **ST 2022-7** ([Kapitel 15](#)). ST 2110 und ST 2022-7 werden in Sendezentren und zwischen ihnen eingesetzt, wo Bandbreite nicht knapp ist.

Takt mit PTP

Getrennte Ströme müssen abstastgenau synchron bleiben. ST 2110-10 nutzt das **Precision Time Protocol (PTP, IEEE 1588)** im Rundfunkprofil SMPTE ST 2059. Eine **Grandmaster-Clock**, meist auf GNSS synchronisiert, verteilt die Zeit an jeden Sender und Empfänger. Die Media-Switches müssen mitwirken – als Boundary Clock oder Transparent Clock –, damit das Netz das Timing nicht verschlechtert.

Steuerung mit NMOS

Die **Networked Media Open Specifications (NMOS)** der Advanced Media Workflow Association (AMWA) legen fest, wie Geräte verwaltet werden:

- **IS-04** – Registrierung und Erkennung: Geräte melden sich und ihre Ströme an.
- **IS-05** – Verbindungsverwaltung: Ein Controller verbindet Sender mit Empfängern.

Weitere Spezifikationen decken Ereignisse, Audiokanal-Zuordnung, Sicherheit und mehr ab. NMOS verringert die manuelle Einrichtung erheblich.

Ein typisches Studio

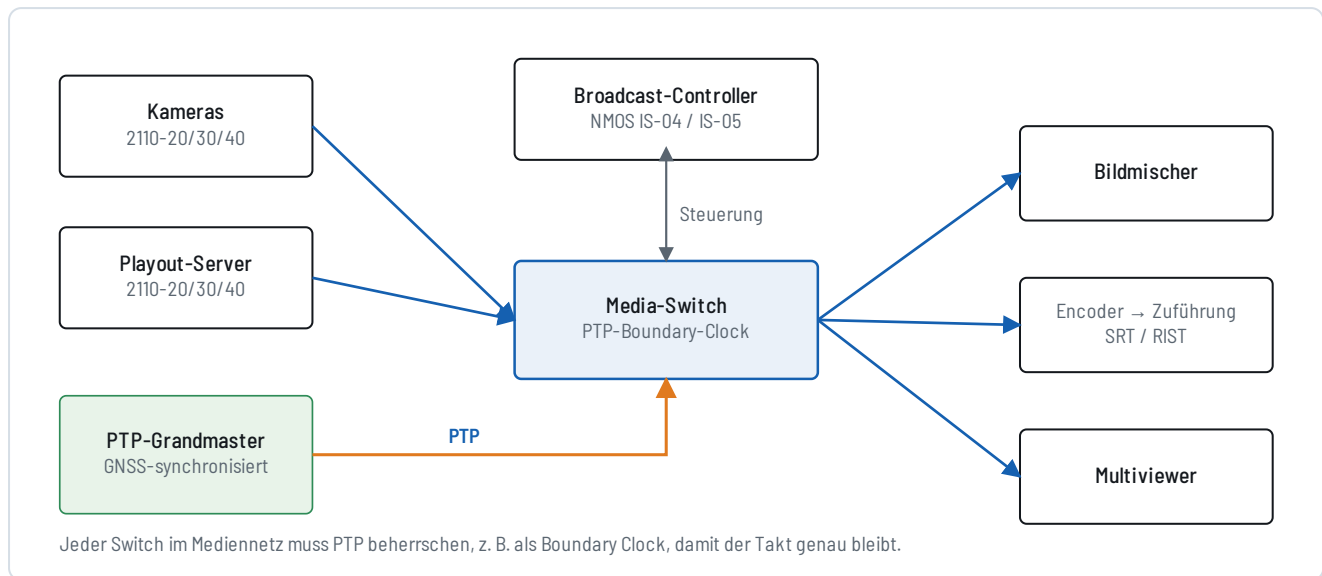


Abbildung 16.2 Ein typisches ST-2110-Studio mit PTP-Takt und NMOS-Steuerung.

Eine Master-Clock liefert mehreren Quellen – Kameras, einem Playout-Server – einen gemeinsamen Takt; jede sendet getrennte Video-, Audio- und Datenströme. Ein Broadcast-Controller verwaltet Quellen und Empfänger über NMOS. Der Playout-Server kann aufgezeichnete Inhalte in die Live-Produktion einspielen. Selbst die Netzwerk-Switches müssen PTP unterstützen und neu takten, damit das Timing über alle Knoten genau bleibt.

EINSATZ

2022 nannte das Handout ST 2110 „erst kürzlich entwickelt“. Heute ist es der etablierte Standard für neue IP-Produktionsstätten und Ü-Wagen, mit breiter herstellerübergreifender Interoperabilität, die regelmäßig bei JT-NM-Veranstaltungen getestet wird.

ROUTE, FLUTE und ATSC 3.0

Rundfunk und Multicast haben keinen Rückkanal, doch die Geräte der Zuschauer erwarten HTTP-Streaming. ROUTE verbindet beides.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel FLUTE ROUTE Einsatz

KERNPUNKTE

- ROUTE liefert Anwendungsobjekte – Dateien, DASH- oder HLS-Segmente – über eine Einwegstrecke aus, mit FEC für Zuverlässigkeit und Unterstützung geringer Latenz.
- Es baut auf FLUTE auf, dem Protokoll für zuverlässige Dateiübertragung über Multicast.
- Der Empfänger speichert die Objekte zwischen und stellt sie dem Player als lokaler HTTP-Server bereit. ROUTE ist Teil von ATSC 3.0 und DVB-mABR.

FLUTE

File Delivery over Unidirectional Transport (FLUTE, RFC 6726) überträgt Dateien zuverlässig über ein Multicast-Netz an potenziell riesige Empfängerzahlen – zum Beispiel ein großes Software-Update an viele Geräte gleichzeitig. Es nutzt IP-Multicast, läuft über UDP und ergänzt Zuverlässigkeit durch **FEC** sowie Staukontrolle über mehrere Multicast-Gruppen mit unterschiedlichen Raten.

ROUTE

Real-time Object delivery over Unidirectional Transport (ROUTE) erweitert FLUTE für Echtzeitmedien. Es ist in ATSC A/331 spezifiziert und wurde 2022 von der IETF als **RFC 9223** veröffentlicht (das Handout bezog sich noch auf den Entwurf von 2020).

- ROUTE liefert *Anwendungsobjekte* aus – Dateien oder DASH- und HLS-Segmente –, auch solche mit Echtzeitanforderungen.
- Es ergänzt die **Chunk-Auslieferung**, sodass CMAF-Chunks latenzarmer DASH- oder HLS-Streams gesendet werden können, sobald sie entstehen ([Kapitel 5](#)).
- Eine medienbewusste Paketierung lässt den Sender die Objektauslieferung optimieren.
- Für Sicherheit sorgen darunterliegende Protokolle wie IPsec.

Auf der Empfängerseite speichert ein ROUTE-Client die Objekte zwischen. Der Player ruft sie mit gewöhnlichen HTTP-Anfragen ab: **Der Empfänger wirkt als HTTP-Server** für die Anwendung. Für OTT-Streaming gebaute Player funktionieren daher unverändert.

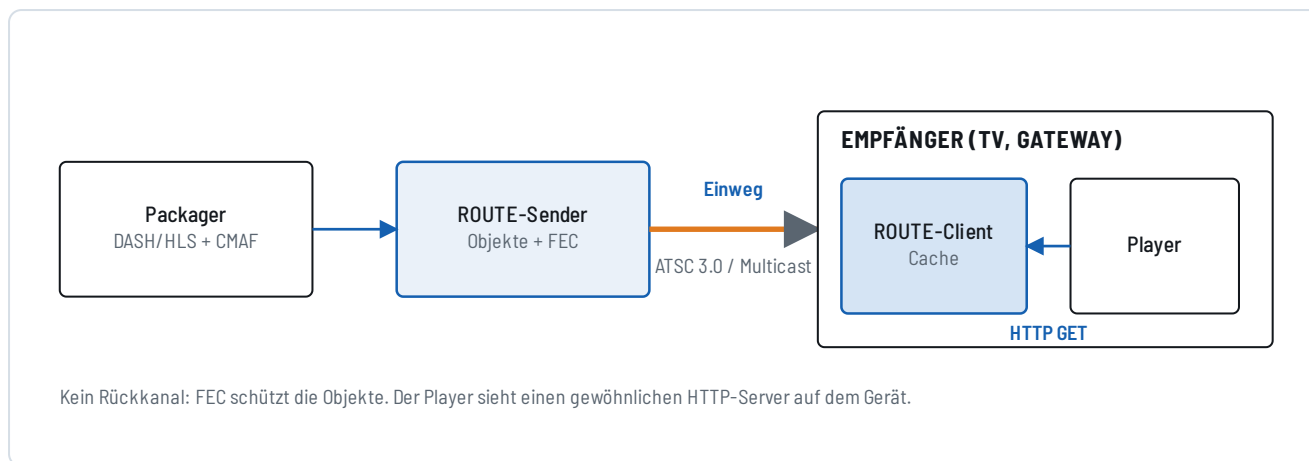


Abbildung 17.1 ROUTE: Einweg-Objektauslieferung mit lokalem HTTP-Server im Empfänger.

Einsatz

- **ATSC 3.0**, der terrestrische Rundfunkstandard der nächsten Generation in Nordamerika und Südkorea, nutzt ein Profil von ROUTE. Mit dem Ausbau von ATSC 3.0 werden ROUTE-fähige Fernseher und Gateways alltäglich.
- **DVB-mABR** (*adaptive media streaming over IP multicast*) spezifiziert ROUTE als eines seiner Auslieferungsprotokolle, für Multicast-ABR in Betreibernetzen.
- Durch seine Multicast- und Rundfunktauglichkeit ist ROUTE attraktiv für terrestrischen Rundfunk und für Multicast über verwaltete Netze.

UND BEI IPTV IN DER HOTELLERIE?

IPTV-Netze in Hotels und Krankenhäusern übertragen jeden TV-Dienst als UDP/RTP-Multicast-Transportstrom, den jede IPTV-Set-Top-Box und jeder Hospitality-Fernseher versteht. ROUTE und mABR sind wichtig, wo Inhalte per Multicast an OTT-artige Player gehen, werden aber für klassisches Hospitality-IPTV nicht gebraucht.

Das richtige Protokoll wählen

Die Anforderungen unterscheiden sich stark von Anwendung zu Anwendung, und ebenso das beste Protokoll. Dieses Kapitel fasst die Empfehlungen des Leitfadens zusammen.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel

Empfehlungen nach Anwendungsfall

Ende-zu-Ende-Systeme brauchen Gateways

KERNPUNKTE

- Zuschauer – DASH und HLS mit CMAF, für Live die Low-Latency-Varianten. Kopfstation und Studio – ST 2110. Primärverteilung – SRT oder RIST, auf verwalteten Netzen RTP mit FEC.
- IPTV in Hotellerie und Einrichtungen bleibt bei UDP/RTP-Multicast; Gateways binden SRT-, RTMP- oder HLS-Quellen ein.
- Ende-zu-Ende-Systeme kombinieren immer mehrere Protokolle und brauchen daher Gateways, die wandeln – mit oder ohne Transkodierung.

Empfehlungen nach Anwendungsfall

ANWENDUNG	ERSTE WAHL	HINWEISE
Im Studio	SMPTE ST 2110 + ST 2022-7	ST 2022-6 nur für vorhandene Geräte
Zuführung über das Internet	SRT · RIST	Zixi, wo das Ökosystem schon genutzt wird
Verwaltetes privates Netz	RTP + FEC (ST 2022-1/2)	ST 2022-7 bei zwei Wegen
IPTV in Hotel / Klinik	UDP/RTP-Multicast	Gateway wandelt SRT/HLS-Eingänge
OTT zu Smartphones und TVs	HLS + DASH with CMAF	Low-Latency-Varianten für Live
Rundfunk / mABR	ROUTE	ATSC 3.0, DVB-mABR

Abbildung 18.1 Protokolle der ersten Wahl nach Anwendungsfall.

ANWENDUNG	EMPFEHLUNG	HINWEISE
Auslieferung an Zuschauer (OTT)	DASH und HLS mit CMAF-Container und Byte-Range-Adressierung, um Speicher und Netzlast gering zu halten (Kapitel 4)	Für Live-Streams die Low-Latency-Varianten mit Chunked Encoding and Transfer nutzen (Kapitel 5). HTTP/3 über QUIC verbessert die Auslieferung in Mobilfunknetzen (Kapitel 6).
Terrestrischer Rundfunk, ATSC 3.0	ROUTE (Kapitel 17)	Von ATSC 3.0 vorgeschrieben; auch in DVB-mABR genutzt
Übertragung im Studio	SMPTE ST 2110 mit ST 2022-7 (Kapitel 16 , Kapitel 15)	Wer noch SDI nutzt, geht direkt zu ST 2110. ST 2022-6 nur für vorhandene Geräte.
Primärverteilung an Partnersender und Betreiber	RIST oder SRT (Kapitel 10 , Kapitel 11)	Zixi, wo sein Ökosystem vorhanden ist (Kapitel 9). RTP ist auf verwalteten Netzen eine Option, geschützt mit FEC (ST 2022-1) und Verschlüsselung.
IPTV in Hotellerie und Einrichtungen	UDP/RTP-Multicast	Satelliten- und terrestrische Dienste aus der Kopfstation; Internetquellen über ein Unicast-zu-Multicast-Gateway (Kapitel 12)
Zuspielung zu Streaming-Plattformen	RTMP(S), wo gefordert; SRT, wo unterstützt (Kapitel 7)	

AKTUALISIERT SEIT 2022

Das Handout empfahl RIST, „auch wenn die Unterstützung noch begrenzt ist, weil es so neu ist“, und für den sofortigen Einsatz SRT oder Zixi. Heute sind SRT und RIST breit verfügbar; wählen Sie nach den Geräten auf beiden Seiten und den benötigten Funktionen ([Kapitel 12](#)).

Ende-zu-Ende-Systeme brauchen Gateways

Ein vollständiges System – Kopfstation, Primärverteilung und Auslieferung an Zuschauer – nutzt immer mehrere Protokolle. Irgendwo muss das Transportprotokoll gewandelt werden, mit oder ohne Transkodierung des Inhalts. Das ist die Aufgabe von **Gateway**-Produkten, in Hardware oder Software.

BEVOR SIE ENTSCHEIDEN

- ☐ Woher kommt das Signal, und in welchem Format (SDI, SRT, RTMP, HLS, Satellit)?
- ☐ Wohin muss es: Studio, Betreiber, OTT-Zuschauer, ein IPTV-Netz?
- ☐ Latenzbudget je Stufe und Umlaufzeit jeder Strecke
- ☐ Verwaltetes Netz oder offenes Internet? Rückkanal vorhanden?
- ☐ Anforderungen an Verschlüsselung, Authentifizierung und DRM
- ☐ Redundanz: zweiter Weg, zweiter Encoder, ST 2022-7
- ☐ Welche Protokolle unterstützen die vorhandenen Encoder, Decoder, Gateways und Player?

Bevor Sie endgültig entscheiden, senden Sie uns Ihre Anforderungen. Unsere Ingenieure analysieren Ihren Anwendungsfall und antworten schriftlich mit einem Vorschlag.

Streaming in Hardware – FPGA-IP-Cores

Encoder, Gateways und Empfänger in Kopfstationen verarbeiten Dutzende Ströme in Echtzeit. Einen großen Teil davon erledigt spezielle Logik in FPGAs, aufgebaut aus wiederverwendbaren IP-Cores.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel Warum Hardware Netzschicht Streaming-Schicht Stream-Ankündigungen: SAP/SDP
IP über DVB: ULE (RFC 4326)

KERNPUNKTE

- Ein FPGA-Streaming-Design besteht aus einem UDP/IP-Stack mit eigenem Ethernet-MAC, einer MDIO-Schnittstelle für den PHY sowie RTP-Sende- und -Empfangscores.
- Die Empfangsseite muss stoßweise UDP/RTP-Ströme entjittern und am DVB-SPI-Ausgang die PCR-Genauigkeit nach TR 101 290 (± 500 ns) wiederherstellen.
- SAP/SDP kündigt Multicast-Ströme im LAN an; ULE (RFC 4326) trägt IP-Pakete in DVB-Transportströmen.

Warum Hardware

Ein Software-Streamer auf einer Universal-CPU ist flexibel, doch ein Kopfstationsgerät, das Dutzende Transportströme mit exaktem Timing sendet oder empfängt, profitiert von spezieller Logik. FPGA- und SoC-Hersteller sowie Drittanbieter bieten **IP-Cores** – fertige Funktionsblöcke – für die Netz- und Streaming-Funktionen an. Das Handout 2022 enthielt eine Übersicht solcher Cores eines Drittanbieters; dieses Kapitel fasst die typischen Bausteine und ihre Merkmale zusammen.

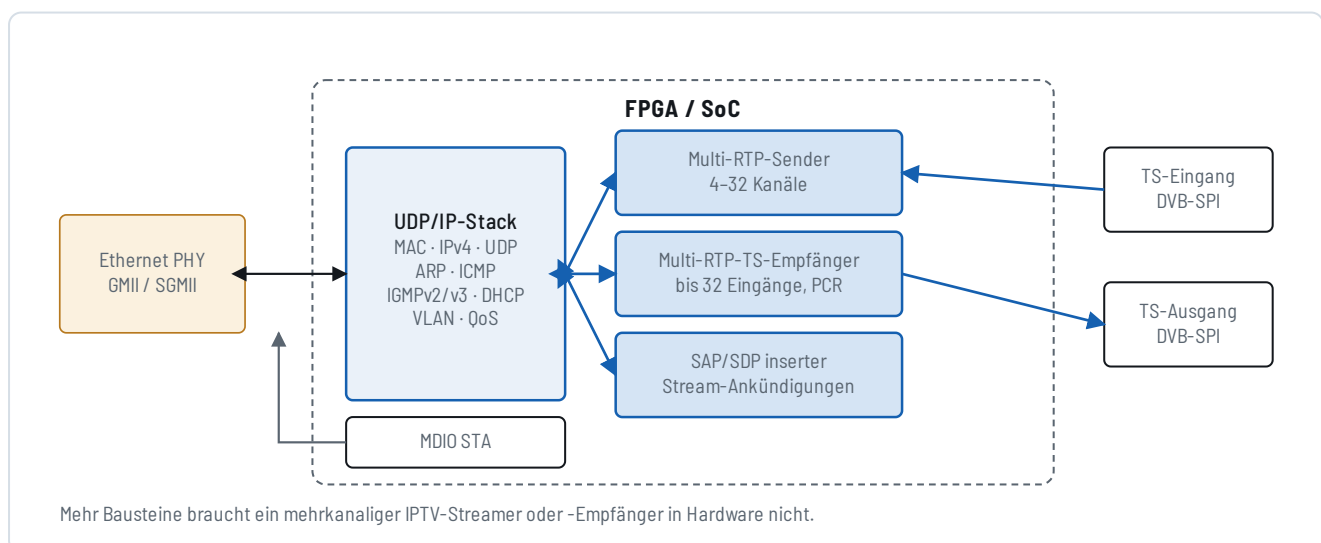


Abbildung 19.1 Ein IPTV-Streamer oder -Empfänger aus FPGA-IP-Cores.

Netzschicht

UDP/IP-Stack

- Sendet und empfängt UDP-Pakete in einem Ethernet-Netz, mit eigenem Ethernet-MAC (Ethernet-II-Rahmen).
- PHY-Schnittstellen GMII, RGMII oder SGMII; 10/100/1000 Mbit/s.
- Protokolle: IPv4, UDP, ARP, ICMP, IGMPv2/v3, DHCP-Client, VLAN-Tagging (IEEE 802.1Q).
- Empfang von bis zu 32 Multicast-Gruppen; Punkt-zu-Punkt-UDP-Sendekanäle.
- Jumbo-Frames bis 9 kB und Raw-Frames.
- Je Sendekanal: DiffServ-Markierung (QoS) und programmierbare IP-Time-to-Live.

MDIO-Management-Schnittstelle (STA)

- Begleit-Core zum UDP/IP-Stack für die Steuerung des Ethernet-PHY.
- Liest und schreibt die PHY-Register nach IEEE 802.3 Clause 22; bis zu 32 Geräte mit je 32 Registern.
- Arbeitet mit jedem MDIO-Gerät nach Clause 22.

Streaming-Schicht

CORE	FUNKTION
RTP-Sender	Sendet RTP-Pakete (RTPv2) über ein geroutetes Netz, z. B. IPTV-konforme Ströme. Option: 2D-FEC nach SMPTE ST 2022-1 für MPEG-TS (Nutzlasttyp 33).
Multi-RTP-Sender	Sendet 4 bis 32 unabhängige MPEG-TS-RTP-Kanäle mit 1 bis 7 TS-Paketen je UDP/RTP-Paket.
RTP-Empfänger	Empfängt einen RTP-Strom mit MPEG-TS-Nutzlast; gleicht den 90-kHz-Zeitstempeltakt aus (± 100 ppm) und sortiert Pakete nach Verlust oder Vertauschung. Nimmt auch reines UDP an.
Multi-RTP-TS-Empfänger	Bis zu 32 UDP- oder RTP-Eingänge, Typ automatisch erkannt; beliebige Packung von 1 bis 7 TS-Paketen. Erzeugt DVB-SPI-Ausgänge aus stoßweisen oder jitterbehafteten Strömen (siehe unten).

Der **Multi-RTP-TS-Empfänger** zeigt, was Entjittern bedeutet:

- Bei CBR-Eingängen stellt er die **PCR-Genauigkeit nach ETSI TR 101 290 (± 500 ns)** mit programmierbarer Latenz wieder her.
- Ein Bypass-Modus verarbeitet VBR-Ströme.
- Bitratenschwankungen bis 32 kbit/s folgt er ohne Unterbrechung am Ausgang; darüber startet die PCR-Berechnung neu.

Zusammen bilden diese Cores vollständige **IPTV-Sender** (UDP/IP-Stack + MDIO + Multi-RTP-Sender), die MPEG-TS über Ethernet senden, und **IPTV-Empfänger** (UDP/IP-Stack + MDIO + Multi-RTP-TS-Empfänger), die einen oder mehrere CBR-Transportströme an DVB-SPI ausgeben.

Stream-Ankündigungen: SAP/SDP

Ein **SAP/SDP-Insertter** sendet periodisch Pakete des Session Announcement Protocol (SAP, RFC 2974) mit Inhalten des Session Description Protocol (SDP), zum Beispiel an die Multicast-Adresse 239.255.255.255 auf UDP-Port 9875. Empfänger, die SAP/SDP unterstützen, erfahren daraus alles, was sie zum Beitritt zu den Multicast-Strömen im Netz brauchen. Der Core erzeugt den SAP-Header, kapselt von der CPU geschriebene SDP-Beschreibungen und verwaltet bis zu 128 Kanäle.

IP über DVB: ULE (RFC 4326)

Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE) trägt IP-Pakete in MPEG-2-Transportströmen, für Daten über DVB-S-, DVB-C- oder DVB-T-Strecken.

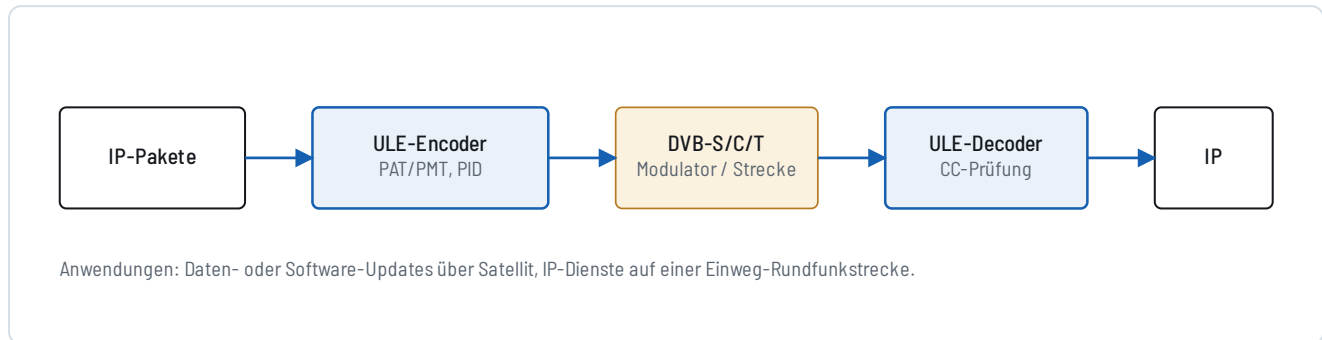


Abbildung 19.2 IP über DVB mit Unidirectional Lightweight Encapsulation.

- Der **Encoder** fügt IP-Pakete in einen Nutzer-Transportstrom ein, mit oder ohne Auffüllen, gibt 188- oder 204-Byte-CBR-Pakete aus (mit RS-204-Kodierung), erzeugt PAT und PMT mit konfigurierbaren PIDs und PSI-Wiederholung und hat eine einstellbare Ausgangsrate.
- Der **Decoder** extrahiert IP-Pakete, analysiert PAT und PMT automatisch, um die Nutzlast zu finden, und meldet Alarme bei Continuity-Counter- und Längenfehlern.

QUELLE

Die Merkmalslisten in diesem Kapitel fassen Datenblätter von IP-Cores Dritter zusammen, die im Handout 2022 wiedergegeben waren. Sie beschreiben typische Fähigkeiten, keine BLANKOM-Produkte.

Glossar der Abkürzungen

Streaming verbindet den Wortschatz von Rundfunk, IT und Web. Dies sind die Abkürzungen dieses Leitfadens.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

KERNPUNKTE

- Die Kapitelverweise zeigen, wo der Begriff erklärt wird.
- Protokollnamen sind oft Abkürzungen; QUIC ist keine mehr – es ist schlicht der Name.
- Begriffe zu Satellit, DVB und Multicast enthält das Glossar des Planungsleitfadens IPTV-Kopfstation.

BEGRIFF	BEDEUTUNG
ABR	Adaptive Bitrate (Kapitel 3)
AES	Advanced Encryption Standard
ALF	Application Layer Framing (Kapitel 1)
AMWA	Advanced Media Workflow Association (Kapitel 16)
ARQ	Automatic Repeat Request, automatische Wiederholung (Kapitel 8)
ATSC	Advanced Television Systems Committee (Kapitel 17)
B2B	Business to Business
CBR / VBR	Konstante / variable Bitrate
CDN	Content Delivery Network (Kapitel 3)
CENC	Common Encryption (Kapitel 4)
CMAF	Common Media Application Format (Kapitel 4)
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (Kapitel 4)
DRM	Digitale Rechteverwaltung
DTLS	Datagram Transport Layer Security
DVB-SPI	Synchrone parallele DVB-Schnittstelle (Kapitel 19)
FEC	Vorwärtsfehlerkorrektur (Kapitel 8)
FLUTE	File Delivery over Unidirectional Transport (Kapitel 17)
fMP4	Fragmentiertes MP4
FPGA	Field Programmable Gate Array (Kapitel 19)
GNSS	Globales Satellitennavigationssystem
GRE	Generic Routing Encapsulation (Kapitel 11)
HBRMT	High Bit Rate Media Transport (Kapitel 14)
HDS	HTTP Dynamic Streaming (Adobe) (Kapitel 4)
HLS / LL-HLS	HTTP Live Streaming / Low-Latency-HLS (Kapitel 4 , Kapitel 5)
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
MDIO	Management Data Input/Output (Kapitel 19)
mABR	Multicast Adaptive Bitrate (Kapitel 17)
MMT	MPEG Media Transport
MPD	Media Presentation Description (DASH-Manifest)
MVPD	Multichannel Video Programming Distributor
NACK / NAK	Negative Quittung (Kapitel 8)

BEGRIFF	BEDEUTUNG
NMOS	Networked Media Open Specifications (Kapitel 16)
OTT	Over the Top: Auslieferung über das offene Internet
PCR	Program Clock Reference (Kapitel 19)
PSK	Pre-Shared Key (Kapitel 11)
PTP	Precision Time Protocol, IEEE 1588 (Kapitel 16)
QUIC	Name des Protokolls, keine Abkürzung mehr (Kapitel 6)
RIST	Reliable Internet Stream Transport (Kapitel 11)
ROUTE	Real-time Object delivery over Unidirectional Transport (Kapitel 17)
RTCP	RTP Control Protocol (Kapitel 2)
RTMP(S)	Real-Time Messaging Protocol (über TLS) (Kapitel 7)
RTP	Real-time Transport Protocol (Kapitel 2)
RTSP	Real Time Streaming Protocol
RTT	Umlaufzeit (Round-Trip Time)
SAP / SDP	Session Announcement / Description Protocol (Kapitel 19)
SDI	Serial Digital Interface (Kapitel 13)
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
SRT	Secure Reliable Transport (Kapitel 10)
TCP	Transmission Control Protocol
TLS	Transport Layer Security
TS	MPEG-2-Transportstrom
UDP	User Datagram Protocol
UDT	UDP-based Data Transfer Protocol (Kapitel 10)
ULE	Unidirectional Lightweight Encapsulation, RFC 4326 (Kapitel 19)
VSF	Video Services Forum (Kapitel 11)

Quellen und Normen

Dieser Leitfaden schreibt das Handout von 2022 neu und bringt es auf den aktuellen Stand. Dies sind seine Quellen und die heutigen Fassungen der beschriebenen Normen.

IRENIS / BLANKOM · Technischer Leitfaden · Ralf Riedel, Direktor Technischer Vertrieb & Engineering, IRENIS GmbH

In diesem Kapitel Quellen des Handouts von 2022 Grundlagen HTTP-Streaming und QUIC
Zuführungsprotokolle Sendezentrum Rundfunk- und Multicast-Auslieferung Umsetzung

KERNPUNKTE

- Die Protokollkapitel beruhen auf dem ATEME-Whitepaper „Video over IP Protocols“, hier in eigenen Worten neu geschrieben und auf 2026 aktualisiert.
- Normen sind in ihrer aktuellen Fassung genannt; mehrere waren zur Entstehungszeit des Handouts noch Entwürfe.
- Prüfen Sie vor der Spezifikation von Geräten stets die neueste Ausgabe einer Norm.

Quellen des Handouts von 2022

- ATEME: *Video over IP Protocols*, Whitepaper, etwa 2021. Grundlage der Protokollkapitel 1 bis 18; deren Aufbau und Empfehlungen sind hier zusammengefasst und aktualisiert.
- Datenblätter von FPGA-IP-Cores eines Drittanbieters (UDP/IP-Stack, MDIO, RTP-Sender und -Empfänger, SAP/SDP, ULE). Grundlage von [Kapitel 19](#).

Grundlagen

- [ALF] Clark, D. D.; Tennenhouse, D. L.: *Architectural considerations for a new generation of protocols*. ACM SIGCOMM Computer Communication Review 20 (4), September 1990.
- RFC 768 – User Datagram Protocol, 1980.
- RFC 3550 – RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, 2003 (löst RFC 1889 von 1996 ab).
- RFC 2250 – RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video, 1998.
- RFC 7826 – Real-Time Streaming Protocol 2.0, 2016.

HTTP-Streaming und QUIC

- RFC 9110 – HTTP Semantics, 2022 (löst RFC 2616 und RFC 2068 ab).
- RFC 8216 – HTTP Live Streaming, 2017; HLS zweite Ausgabe mit Low-Latency-HLS (Apple).
- ISO/IEC 23009-1 – Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH), Teil 1, erste Ausgabe 2012, aktuelle Fassung.
- ISO/IEC 23000-19 – Common Media Application Format (CMAF), 2018.
- RFC 9000 – QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport, 2021; RFC 9001 (TLS für QUIC), RFC 9002 (Verlusterkennung).

- RFC 9114 – HTTP/3, 2022. RFC 9369 – QUIC Version 2, 2023.

Zuführungsprotokolle

- The SRT Protocol, IETF-Internet-Draft draft-sharabayko-srt (erstmals 2020); SRT-Open-Source-Projekt und SRT Alliance.
- VSF TR-06-1 – RIST Simple Profile, Oktober 2018.
- VSF TR-06-2 – RIST Main Profile, März 2020.
- VSF TR-06-3 – RIST Advanced Profile, 2021.
- RFC 6347 – Datagram Transport Layer Security 1.2, 2012; RFC 9147 – DTLS 1.3, 2022.

Sendezentrum

- SMPTE ST 2022-1 – Forward error correction for real-time video/audio transport over IP networks, 2007.
- SMPTE ST 2022-2 – Unidirectional transport of constant bit rate MPEG-2 transport streams on IP networks, 2007.
- SMPTE ST 2022-5 – FEC for high bit rate media signals over IP networks (HBRMT), 2012.
- SMPTE ST 2022-6 – Transport of high bit rate media signals over IP networks (HBRMT), 2012.
- SMPTE ST 2022-7 – Seamless protection switching of RTP datagrams, aktuelle Fassung 2019.
- VSF TR-03 – Transport of uncompressed elementary stream media over IP, November 2015.
- SMPTE-ST-2110-Reihe (-10, -20, -21, -22, -30, -31, -40), ab 2017.
- SMPTE ST 2059-1/-2 – PTP-Profil für den Rundfunk; IEEE 1588 – Precision Time Protocol.
- AMWA NMOS IS-04 und IS-05.

Rundfunk- und Multicast-Auslieferung

- RFC 6726 – FLUTE, 2012 (löst RFC 3926 ab).
- RFC 9223 – ROUTE, 2022; ATSC A/331 – Signaling, Delivery, Synchronization and Error Protection.
- DVB A176 – Adaptive media streaming over IP multicast (DVB-mABR).

Umsetzung

- RFC 4326 – Unidirectional Lightweight Encapsulation (ULE) for transmission of IP datagrams over an MPEG-2 transport stream, 2005.
- RFC 2974 – Session Announcement Protocol; RFC 8866 – SDP, 2021.
- IEEE 802.3, Clause 22 – MDIO.
- ETSI TR 101 290 – Measurement guidelines for DVB systems.

Weitere Fragen?

Bitte wenden Sie sich an unser internationales Team von IRENIS – BLANKOM. Da wir Kunden in allen Zeitzone**n** betreuen, bevorzugen wir schriftliche Anfragen: Nennen Sie uns Produkte, Stückzahlen und Anwendung, und unsere Ingenieure antworten mit einer technischen Bewertung und einem Angebot.

Angebot anfragen

[irenis-blankom.com/request-a-quote/](https://www.irenis-blankom.com/request-a-quote/)

Schreiben Sie uns

info@irenis-blankom.com

contact@blankom.de

www.irenis-blankom.com

www.blankom.de

IRENIS GmbH

Hauptstraße 29

31171 Nordstemmen

Deutschland

E-Mail: info@irenis-blankom.com · contact@blankom.de · Web: www.irenis-blankom.com · www.blankom.de

© 2022–2026 BLANKOM, IRENIS GmbH. Alle Rechte vorbehalten.