## 12

## 12 Medien in digitalen Netzwerken

Ralf Steinmetz, Ralf Ackermann

Mediendaten werden über digitale Netzwerke in der Regel entweder innerhalb interaktiver Sitzungen mit sofortiger Medienwiedergabe beim Empfänger oder zum Zwecke einer nachfolgenden, zeitlich versetzten Bearbeitung oder Wiedergabe übertragen.

Generell kann eine Abstraktion benutzt werden, die **Dienste** (services) wie in Bild 12.1 gezeigt aus der Kombination von Medienübertragung und Steuerungsoperationen realisiert.

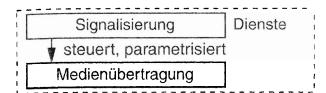


Bild 12.1 Diensterbringung in Kombination von Signalisierung und Medienübertragung

Ein **Dienst** ist definiert als ein sinnvoller Satz an Fähigkeiten und Funktionen, der durch ein existierendes oder gedachtes System an alle Entitäten, die diese nutzen wollen, bereitgestellt wird.

Steuerungsaspekte betreffen:

- die Adressierung von Kommunikationsendpunkten
- die Entscheidung, ob der Medienversand im Rahmen eines von einem Server ausgelösten Versands (*Push*) oder durch Retrieval von einem Klienten (*Pull*) erfolgt.

Für den Transport ist wie in Bild 12.2 gezeigt sowohl eine direkte Interaktion zwischen **Quelle** und **Senke** als auch der Einsatz von Zwischensystemen mit speziellen Funktionen wie gezielte Weiterleitung an einzelne oder mehrere Ziele, Zwischenspeicherung und Modifikation möglich.

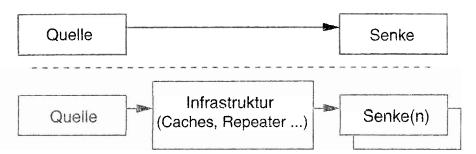


Bild 12.2 Direkte und indirekte Interaktion zwischen Medien-Quelle und -Senke

Für interaktive Anwendungsszenarien gelten insbesondere im Fall einer bidirektionalen Kommunikation (z. B. Telefonie und telefonieähnliche Anwendungen wie Multimediakonferenzen) Echtzeitanforderungen. Auch im Falle einer nur unidirektionalen Übertragung wie z.B. beim Zugriff auf live aufgenommene oder vorab aufgezeichnete Audio- oder Videodaten (Anwendungsszenarien z.B. Web-Radio, Video on Demand) bestehen (allerdings weniger strikte) Echtzeitanforderungen, die sich aus der geforderten zeitnahen Reaktion auf Steuerungsoperationen (z.B. Starten, temporäres Unterbrechen der Medienwiedergabe) ergeben.

Der Prozess der Encodierung und Decodierung der Mediendaten wird in den Kapiteln 2 bis 4 erläutert. Nachfolgend sind die Basismechanismen der Übertragung von Daten im TCP/IP-basierten Internet nach dem OSI/ISO-Schichtenmodell, spezifische Protokolle für eine fehlerfreie Medienübertragung sowie die notwendige Signalisierung innerhalb von Sessions beschrieben.

#### 12.1 Digitale Netzwerke

# 12.1.1 Übertragung von Daten in Netzwerken nach OSI/ISO-Schichtenmodell

Von der ISO (International Standardization Organization) wurde mit dem OSI-Schichtenmodell (OSI: Open Systems Interconnection) eine Beschreibungsmethodik für die Übertragung von Daten in Rechnernetzen standardisiert. Die Schichten dieses Modells sind in Bild 12.3 aufgezeigt.

Die Bitübertragungsschicht (physical layer) abstrahiert die physikalischen Eigenschaften des Datenbertragungsmediums. Dazu erfolgt je nach Medium eine Codierung von binären Werten z. B. in Stromimpulse gewisser Spannung oder Funkwellen gewisser Frequenz.

- Die Sicherungsschicht (data link layer) ist für die fehlerfreie Übertragung der Daten verantwortlich und regelt dabei den Zugriff auf das Medium. Dazu wird der Datenstrom in Blöcke aufgeteilt und mit Sequenznummern und Prüfsummen versehen. Die Übertragung kann dadurch bestätigt und wenn nötig wiederholt werden.
- Die Netzwerkschicht (network layer) erlaubt die Adressierung individueller Endsysteme und ist für die Weiterleitung der Daten vom Sender zum jeweiligen Empfänger verantwortlich. Die Weiterleitung der Daten durch das Kommunikationsnetz erfolgt auf dieser Schicht durch Wegfindung (routing) zwischen den Netzknoten.
- Die Transportschicht (transport layer) ermöglicht die Adressierung von individuellen Instanzen auf Endsystemen und ist für die netzunabhängige Kommunikation zwischen Sender und Empfänger verantwortlich. Wesent-

- Die Sitzungsschicht (session layer) ist für die Kontrolle der Kommunikation auf Sitzungsebene sowie die Steuerung der logischen Verbindungen verantwortlich. Dazu stellt die Sitzungsschicht Dienste für einen organisierten und synchronisierten Datenaustausch zur Verfügung, die ein Wiederaufsetzen nach einem Verbindungsausfall ermöglichen.
- Die **Darstellungsschicht** (*presentation layer*) dient einem semantisch korrekten Austausch zwischen den unterschiedlichen verbundenen Systemen. Dazu werden die Daten in eine systemunabhängige Repräsentation konvertiert, die auf allen Systemen gleich interpretierbar ist. Auch Datenkompression und Verschlüsselung können als Aufgabe der Darstellungsschicht betrachtet werden.

In der Anwendungsschicht (application layer) werden Spezifika individueller Anwendungen und Dienste behandelt. Sie stellt den Anwendungen eine Vielzahl verschiedener Funktionalitäten zur Verfügung.

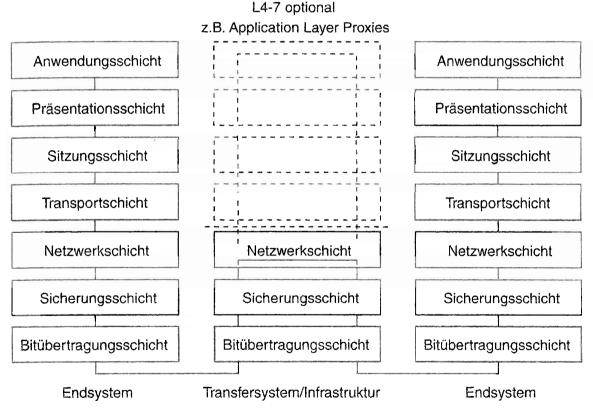


Bild 12.3 ISO/OSI-Schichtenmodell

Zur Beschreibung von Internet-Diensten wird in der Regel ein fünfschichtiges Modell verwendet, bei dem die Schichten 5 bis 7 des ISO/OSI-Modells zu einem als Applikationsschicht bezeichneten Layer zusammengefasst werden.

Innerhalb des Modells existiert ein vertikaler **Daten-** und **Kontrollfluss** zwischen jeweils benachbarten Schichten sowie eine horizontale Beziehung zwischen den jeweils korrespondierenden Schichten. Wie in Bild 12.3 gezeigt,

kommen in während der Übertragung durchlaufenen Netzwerksystemen nicht zwingend Funktionen aller Schichten zum Einsatz.

In den heute verbreiteten Netzen kommt auf Netzwerk- und Transportschicht zum größtem Teil die **TCP/IP-Protokollsuite** zum Einsatz. Das **IP-**Protokoll (Internet Protocol) regelt dabei die Aufgabe der Wegeleitung von Datenpaketen auf der Netzwerkschicht. Auf Transportschicht kommen das **TCP** (Transmission Control Protocol) und **UDP** (User Datagram Protocol) zum Einsatz.

4-Bit- 4-Bit- Version Header-Län	8-Bit-Type-of-Service ge (TOS)	-Service 16-Bit-Gesamt-Paketlänge				
16-Bit-	dentifikation	3-Bit- Flags	13-Bit-Fragment-Offset			
8-Bit-Time-to-Live	8-Bit-Time-to-Live 8-Bit-Protokoll-ID 16-Bit-Header-Checksumme					
32-Bit-IP-Quelladresse						
32-Bit-!P-Zieladresse						
Optionen (falls vorhanden)						
Nutzdaten						

Bild 12.4 IP-(Version 4-)Header

Bild 12.4 zeigt die Struktur des IP-Headers in der heute am weitesten verbreiteten Protokollversion IPv4. Daneben ist bereits eine neue Version IPv6 standardisiert, deren Verwendung zur Zeit jedoch noch sehr eingeschränkt ist.

Mithilfe der 32 bit langen IP-Adressen, die zum Routing dienen, können Endsysteme sowohl mittels **Unicast** (für Adressen der Klassen A, B und C) als auch mittels **Multicast** (Adressen der Klasse D) angesprochen werden. Für den Multicastversand, bei dem Daten mittels nur einer Zieladresse im Netz an Systeme mit unterschiedlichsten Lokationen weitergeleitet werden müssen, kommen ergänzend zu den standardmässig verwendeten Routing-Verfahren und -Protokollen spezielle Multicast-Routing-Protokolle zum Einsatz. Für weitere Details zum Netzwerkprotokoll IP wird auf /12.14/, /12.19/ und /12.18/ verwiesen.

Für die Ubertragung von Mediendaten spielen insbesondere die Charakteristika der Transportprotokolle, in diesem Fall TCP und UDP auf Transportschicht, sowie die Protokolle der Anwendungsschicht zur Medienübertragung und zur Signalisierung eine zentrale Rolle.

### 12.1.2 Transportprotokolle

Das **TCP-Protokoll** implementiert Mechanismen zur Fehlersicherung sowie zur Flusskontrolle.

Ein TCP-Protokollkopf ist in Bild 12.5 gezeigt.

16-Bit-Quell-Port						16-Bit-Ziel-Port		
32-Bit-Sequenznummer								
32-Bit-Acknowledgement-Nummer								
<b>4-Bit-</b> Header-Länge	6-Bit- reserviert	U R G	A C K	P S H	s	S Y N	J	16-Віt- Fenstergröße
16-Bit-TCP-Checksumme						16-Bit-Urgent-Pointer		
Optionen (falls vorhanden)								
Daten (falls vorhanden)								

Bild 12.5 Protokoll-Header eines TCP-Paketes

Das **TCP-Protokoll** arbeitet **verbindungsorientiert**. Innerhalb einer TCP-Sitzung wird zunächst eine Verbindung aufgebaut. Diese kann nachfolgend zum bidirektionalen Datenversand genutzt werden, bevor die Verbindung wieder abgebaut wird.

Die Flusskontrolle basiert auf einem Sliding-Window-Mechanismus mit vom Protokoll dynamisch angepasster Fenstergröße. Dieses erlaubt es dem Sender, eine im Sendeverlauf entsprechend der festgestellten Übertragungseigenschaften des Netzes flexible Anzahl von Paketen zu versenden, ohne dass deren Empfang jeweils einzeln durch ein Acknowledge des Empfängers beantwortet werden muss.

Bei Ausbleiben einer Bestätigung nach einem ebenfalls variablen Timeout werden Daten erneut versandt. Zusätzlich wird die Fenstergröße des Sliding-Window-Algorithmus verkleinert. Duplikate und eine Umordnung von Paketen während des Versands werden über Sequenznummern erkannt und behandelt. Auf dieser Basis erfolgt eine Anpassung an sich verschlechternde Übertragungsverhältnisse, bei der der Sender seine Senderate verringert und damit nicht zusätzlich zur Überlastung beiträgt.

Der Beginn einer Datenübertragung mit zunächst geringer Senderate (Slow-Start-Algorithmus) und der Retransmission-Mechanismus des TCP-Protokolls machen dieses für die Übertragung von Multimedia- und Echtzeitdaten ungeeignet, da diese Daten innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne empfangen und genutzt werden müssen. Die Nutzung von TCP beschränkt sich daher in der Regel im Umfeld von Multimedia-Übertragungen auf den nicht unter Echtzeitbedingungen notwendigen, jedoch verlustsensitiven Transport von Signalisierungsdaten.

Für den Transport von Mediendaten kommt in der Regel das ohne Retransmission- und Flussteuerungsmechanismen arbeitende UDP-Protokoll zum Einsatz. Ein UDP-Protokoll-Header ist in Bild 12.6 gezeigt.

16-Bit-Quell-Port	16-Bit-Ziel-Port					
16-Bit-UDP-Länge	16-Bit-UDP-Checksumme					
Nutzdaten						

Bild 12.6 UDP Header

Das UDP-Protokoll beschränkt sich auf eine prüfsummenbasierte Erkennung von Übertragungsfehlern. Deren Behandlung muss jedoch durch Protokolle der höheren Schichten erfolgen. Der Versand von Daten erfolgt verbindungslos und in jeweils voneinander unabhängigen Paketen ohne eine Sitzungssemantik.

#### 12.2 Multicastmechanismen

Für die Übertragung von Mediendaten an eine Vielzahl gleichzeitiger Empfänger spielt neben der Nutzung einer Vielzahl paralleler individueller Unicast-Verbindungen der Multicast eine wichtige Rolle.

Multicast-Übertragungen können sowohl auf Netzwerkebene als IP-Multicast als auch auf Anwendungsebene als so genannter Application Layer Multicast realisiert werden.

IP-Multicast setzt eine entsprechende Unterstützung im durchlaufenen Netzwerk voraus. Dabei kommen zur Anzeige der Zugehörigkeit zu einer Multicast-Gruppe das Internet Group Management Protocol (IGMP) und zwischen den Routern geeignete Multicast Routing Protokolle wie z.B. PIM (*Protocol Independent Multicast*), DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*) oder MOSPF (*Multicast Open Shortest Path First*) zum Einsatz, deren Details in /12.6/ beschrieben werden. Im Internet wurde Multicast durch Kopplung von multicast-fähigen Teilnetzen über geeignete Tunnel innerhalb des MBone-Overlay-Netzwerkes realisiert.

Application Layer Multicast verwendet geeignete Zwischensysteme, die durch sie empfangene Daten an eine Reihe weiterer Empfänger weiterleiten. Dabei kommen geeignete Signalisierungsprotokolle für die Koordination zwischen den beteiligten Systemen zum Einsatz. Vorteil eines solchen Vorgehens ist die erhöhte Flexibilität durch eine Unabhängigkeit von der für IP-Multicast notwendigen Unterstützung durch die Routingmechanismen des Netzwerks.

## 12.3 Echtzeitanforderungen

Bild 12.7 zeigt ein typisches Szenario für die Übertragung von Audiodaten über ein digitales Netzwerk.

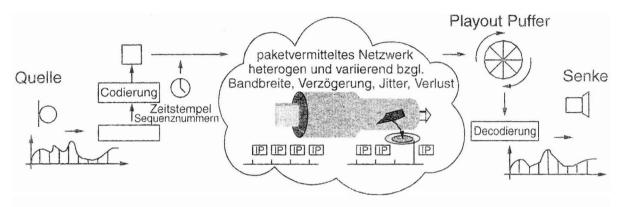


Bild 12.7 Mechanismen der Übertragung von Multimedia-Daten

In paketbasierten Netzwerken kann es aufgrund der Zwischenspeicherung von Paketen in Routern, dem Überlauf der dort verwendeten Warteschlangen sowie der Überlastung bzw. fehlerhaften Arbeitsweise von Ubertragungsstrecken zu variablen und heterogenen Übertragungseigenschaften kommen. Diese manifestieren sich in einer variablen Verzögerung (delay) zwischen dem Absenden eines Datenpakets bis zu seinem Eintreffen beim Empfänger, einer Schwankung dieser Verzögerung (jitter) sowie der möglichen Verfälschung und dem Verlust von Paketen (loss). Weiterhin können Pakete aufgrund der in paketbasierten Netzen möglichen variablen Wegewahl oder Mehrfachübertragung in einer von der Reihenfolge des Versands abweichenden Reihenfolge oder auch dupliziert beim Empfänger ankommen.

Durch geeignete Mechanismen können diese Effekte erkannt und geeignet kompensiert werden. Das im Abschnitt 12.5 beschriebene Real-time Transport Protocol (RTP) stellt zusammen mit dem Real-time Control Mechanismen wie Sequenznummern, Informationen über die Übertragungscharakteristiken und Zeitstempel zur Verfügung.

### 12.4 Dienstgütemechanismen

Für eine Übertragung und Wiedergabe von Multimediadaten in hoher bzw. zumindest entsprechend der Nutzeranforderungen ausreichenden Qualität ist bei Übertragung über paketbasierte Netze der Einsatz von Quality-of-Service-Mechanismen möglich und vorteilhaft.

Quality of Service (QoS) ist nach /12.13/, /12.20/ das wohldefinierte und spezifizierbare Verhalten eines Systems hinsichtlich bestimmter quantitativ erfassbarer Parameter. Voraussetzung zur Erfüllung von QoS-Anforderungen

ist deren Spezifikation. Diese erfolgt in der Regel durch Angabe von den Charakter der Datenströme beschreibenden **Traffic Specifications** (**TSpec**) und einer Festlegung von erlaubten Bereichen für Durchsatz, Paketverlust, Verzögerung und Jitter.

**Dienstgüte** ist das wohldefinierte und kontrollierbare Verhalten eines Systems in Bezug auf quantitative Parameter

#### 12.4.1 IETF-IntServ Framework-Reservierungen

Von der IETF (Internet Engineering Task Force) wurde zur Erfüllung von QoS-Anforderungen das Integrated Services-(IntServ-)Framework /12.9/ spezifiziert, das auf expliziten Reservierungen von Ressourcen entlang eines Übertragungspfades und deren nachfolgender garantierter Bereitstellung basiert. Dabei kommt das Resource Reservation Protocol (RSVP) /12.1/ zum Einsatz. Die Komponenten des RSVP-Frameworks und deren Zusammenwirken sind in Bild 12.8 gezeigt. RSVP arbeitet empfängerorientiert. Ein potenzieller Empfänger beantwortet PATH-Nachrichten, die eine Spezifikation der vom Sender angebotenen Daten enthalten, mit RESV-Reservierungsnachrichten, die die eigentlichen Reservierungen auslösen. Diese Reservierungen führen zu einem Soft State in den betroffenen Knoten und verfallen nach einer gewissen Zeit, wenn keine zyklische Auffrischung der Reservierung erfolgt.

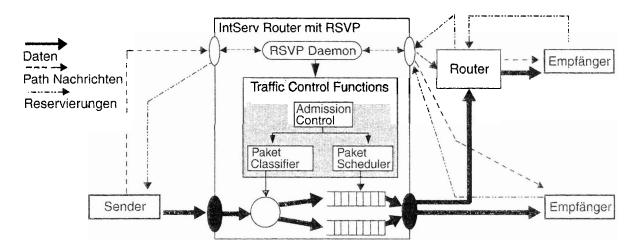


Bild 12.8 Zusammenwirken von RSVP-Komponenten

Nach einer Paketklassifizierung auf Basis einer Analyse von Absender- und Zieladresse sowie Ports und erweiterten Attributen der Payload erfolgt eine Weiterleitung entsprechend der von der IETF spezifizierten Dienstgüteklassen:

Controlled Load Service (CLS) – entspricht auch bei starker Auslastung dem Verhalten eines Best Effort Networks bei schwacher Auslastung

12

■ Guaranteed Service (GS) – bietet definierte, harte Garantien für Ende-zu-Ende-Verzögerung und Paketverluste.

Durch Einsatz von speziellen Filterbeschreibungen und der Aggregation von Router bzw. Übertragungswege parallel durchlaufenden Datenströmen (→ Bild 12.9) ist eine effiziente Unterstützung auch von Multicast-Datenströmen möglich.

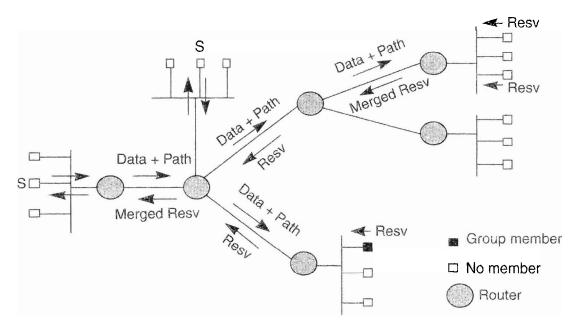


Bild 12.9 Behandlung aggregierbarer Reservierungen für Datenströme durch RSVP

### 12.4.2 IETF-DiffServ-Framework-Dienstgüteklassen

Der Aufwand für das Aufrechterhalten der Reservierungen und eine als nicht ausreichend für einen Einsatz für sehr viele Network-Flows eingeschätzte **Skalierung** bilden Kritikpunkte am IETF-IntServ-Ansatz, die zur Entwicklung und Nutzung des **Differentiated-Service-Ansatzes** (**DiffServ**) führten. Beim DiffServ-Ansatz werden Datenströme unterschiedlichen Dienstgüteklassen zugeordnet, die innerhalb des Networks individuell behandelt werden. Bild 12.10 zeigt die dabei involvierten Komponenten und die Beziehungen zwischen diesen.

Die Kennzeichnung nach **Paket-Klassifizierung**, die nur einmalig und bevorzugt an der Peripherie einer DiffServ-Domain stattfinden muss, erfolgt unter Nutzung des im IP-Paket-Header bereits initial zur Klassifizierung von Daten vorgesehenen **Type-of-Service-(TOS-)**Feldes. In den oberen 6 bit dieses Feldes können prinzipiell 64 unterschiedliche Werte spezifiziert werden.

Für die Weiterleitung von mittels DiffServ Codepoints (DSCP) identifizierten, auch aggregierbaren Datenströmen sind unterschiedliche Per Hop

Behaviours (PHB) definiert. Bisher wurden standardisiert und hinsichtlich ihrer Realisierung durch adäquate Weiterleitungsstrategien beschrieben

- Expedited Forwarding (EF) wird verwendet, um eine Premiumdienstklasse mit niedrigem Verlust, niedriger Verzögerung, niedrigen Schwankungen und garantierter Bandbreite zu realisieren.
- Assured Forwarding (AF) spezifiziert vier unabhängige Weiterleitungsklassen. Innerhalb jeder Klasse können Pakete mit drei verschiedenen Stufen an Wegwerfpriorität markiert werden.
- Class Selector (CS) besteht aus acht Klassen und ist hauptsächlich zur Rückwärtskompabilität zum IPv4-Prioritäts-Bit definiert worden.
- **Default PHB** entspricht traditioneller **Best-Effort**-Weiterleitung.

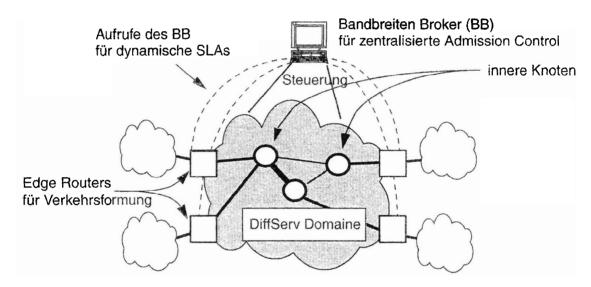


Bild 12.10 Individuelle Behandlung von Datenströmen mit DiffServ

Die Erfüllung der in Service Level Agreements (SLA) spezifizierten Dienstgüteanforderungen kann durch einen entsprechenden Netzwerkanbieter sowohl durch Overprovisioning als auch durch statistische Dienstgütemechanismen und ein durch Protokolle wie Multiprototocol Label Switching (MPLS) unterstütztes Traffic Engineering sichergestellt werden. Beim Traffic Engineering wird die Nutzung geeigneter Übertragungswege und -systeme nach Monitoring von deren aktueller Auslastung gezielt gesteuert.

#### 12.5 Medienübertragung

#### 12.5.1 Realtime-Transport-Protokoll RTP - Protokoll-Spezifika

Für den Transport von verzögerungssensitiven Mediendaten in interaktiven Anwendungen mit Echtzeitanforderungen wird praktisch durchgängig das Real-time Transport Protocol (RTP) /12.16/ angewandt. Dessen Zusammenwirken mit anderen Protokollen ist in Bild 12.11 gezeigt.

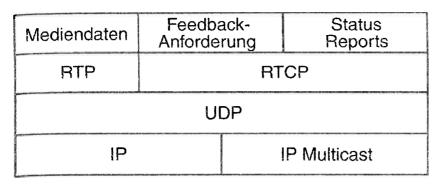


Bild 12.11 Zusammenwirken der Protokolle unterschiedlicher Schichten bei der Medienübertragung

Bild 12.12 und Bild 12.13 zeigen die Rolle des Protokolls im Medienübertragungsweg. Es ist für die Paketierung, die eindeutige Kennzeichnung des Payload-Formats und das Multiplexing mehrerer möglicher Medienströme verantwortlich und dient ferner auch dem Einfügen von Sequenznummern und Zeitstempeln.

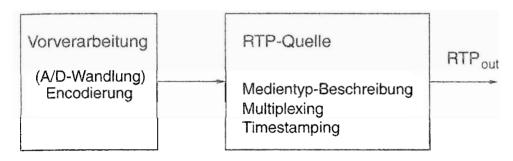


Bild 12.12 RTP-Quelle

Mithilfe dieser zusätzlichen Informationen sind eine Wiederherstellung der korrekten Ordnung der Pakete, eine Fehlererkennung und -behandlung sowie ein Ausgleich des Jitters möglich.

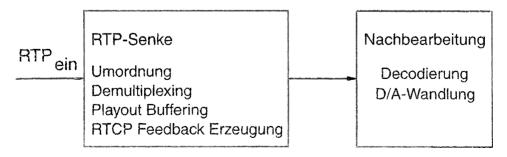


Bild 12.13 RTP-Senke

Das RTP-Protokoll setzt das Konzept des Application Level Framing (ALF) um. Dazu bietet es ein allgemeines und universelles Framework und überlässt die Behandlung von Besonderheiten spezieller transportierter Nutzdaten der jeweiligen Anwendung. /12.15/ spezifiziert RTP Audio Video Profiles (AVP) und definiert die speziellen Mechanismen für den Transport von Audio- und

Video-Daten als RTP-Nutzdaten. RTP-Daten werden dabei in UDP-Paketen transportiert.

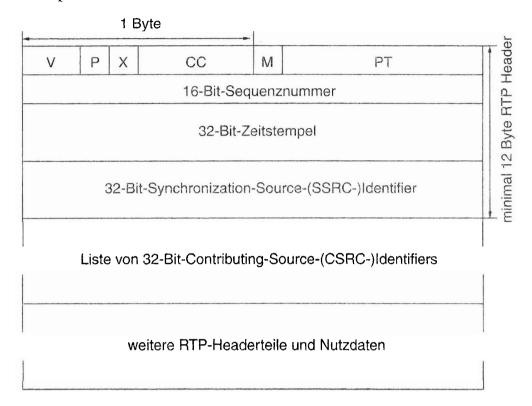


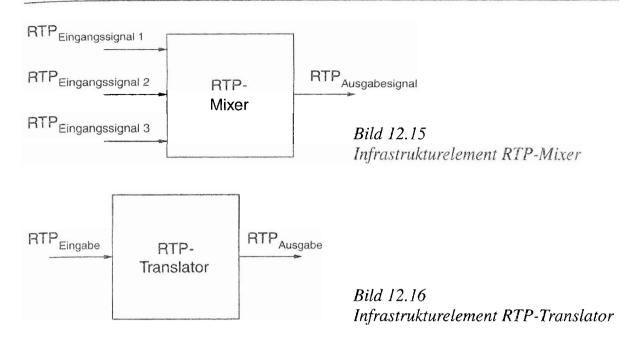
Bild 12.14 Struktur eines RTP-Pakets

Das Real-time Transport Protocol (RTP) stellt Mechanismen für einen Ende-zu-Ende-Transport von multimedialen Daten zur Verfügung. Es bietet dabei keine Dienstgüte-Garantien. Das Real-time Transport Control Protocol (RTCP) erlaubt ein Ende-zu-Ende-Monitoring der Datenübertragung.

#### 12.5.2 RTP – Infrastrukturkomponenten (Translator, Mixer)

Sobald Mediendaten nach einem Sampling und einer Quantifizierung in einer digitalen Repräsentation vorliegen, können sie übertragen werden. Das RTP-Protokollframework unterstützt den Transport von Mediendaten über Übertragungswege unterschiedlicher Leistungsfähigkeit und Eigenschaften. RTP-Translatoren führen eine Veränderung der Übertragungseigenschaften durch Umcodierung bei Beibehaltung der Source durch. Eine Synchronization Source bezeichnet eine zusätzliche Mediendatenquelle. RTP-Mixer verknüpfen mehrere RTP-Datenströme unter Einführung einer neuen Source, wobei jedoch die Informationen der beitragenden Sender durch Contributing Sources beibehalten werden.

Sehr umfangreiche Mechanismen zur Sicherstellung eines möglichst robusten Medienversands in hoher Qualität, welche insbesondere für verzögerungs- und



verlustsensitive Audiodaten notwendig sind, sind in /12.17/, /12.12/ beschrieben.

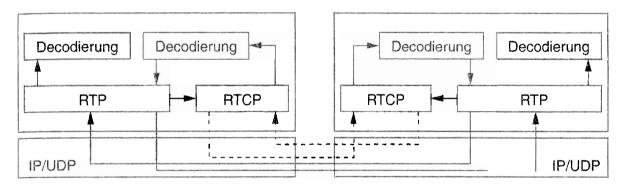


Bild 12.17 RTCP-Feedback-Mechanismus zur Anpassung an variable Übertragungsverhältnisse

Bild 12.17 zeigt die Nutzung der durch das RTP/RTCP zur Verfügung gestellten Feedback-Mechanismen zur Anpassung der Senderate und der Codierung der versandten Mediendaten durch den Sender. Das RTCP (Real time Transport Control Protocol) stellt dabei Berichte (sender/receiver reports) zur Verfügung, die Information zur aktuellen Sitzung enthalten. Diese Informationen können vom Sender verwendet werden, um die Sendecharakteristiken anzupassen.

Das Gesamtvolumen der versandten Mediendaten ergibt sich aus der Summe von Nutzdaten und dem aus RTP-Header, UDP-Header und IP-Header gebildeten Overhead. Eine Verbesserung des Verhältnisses aus Nutzdaten und Overhead durch Erhöhung des Nutzdatenanteils ist nur bedingt möglich, da sich dadurch die Paketierungsrate verringert und die Paketierungsverzögerung erhöht.

Eine Kompensation von Jitter und Paketverlust ist durch Einsatz eines Playout-Puffer-Mechanismus möglich. Dabei werden Laufzeitschwankungen innerhalb der Grenzen der Playout-Buffergröße kompensiert. Ein Paketverlust kann durch Interpolation fehlender Samples ausgeglichen werden. Alternativ sind der Versand von redundanten Daten und eine Vorwärtsfehlerkontrolle (Forward Error Control, FEC) möglich. Eine Absicherung gegen in der Regel in Bursts auftretende Fehler bietet der Einsatz eines Layered Encodings mit individueller Übertragung der unterschiedlichen Übertragungslayer sowie einem Interleaving von Mediendaten unter Änderung ihrer Originalabfolge. Dieses Interleaving ist allerdings mit dem Nachteil des Einfügens einer zusätzlichen Verzögerung verbunden.

Das RTP-Protokoll erlaubt mit seiner Erweiterung Secure RTP (SRTP) die Übertragung von durch kryptografische Mechanismen verschlüsselten oder authentifizierten und vor unerkannter Verfälschung geschützten Mediendaten. Der Schlüsselaustausch oder dessen interaktive Aushandlung ist sowohl durch externe Signalisierungsmechanismen als auch durch Inband-Übertragung von Signalisierungsdaten möglich.

Die Art der übertragenen Mediendaten wird durch den Inhalt des Payload-Type-Feldes angezeigt. In Verbindung mit standardisierten Audio-Video-Profiles (AVP), welche benutzt werden, um Art und Parameter von Codecs zu spezifizieren, ist eine Selbstbeschreibung der übertragenen Daten möglich. Entsprechende Payload-Types erlauben auch den kompakten Transport von in symbolischer Form spezifizierten Mediendaten, wie z. B. DTMF-Signaltönen spezifizierter Dauer, sowie den Transport von Signalisierungsdaten des RTCP-Steuerungsprotokolls, welches dem RTP-Protokoll zugeordnet ist.

Für Anwendungen ohne Echtzeitanforderungen, wie z.B. das Retrieval von Medieninhalten zum Zwecke ihrer Abspeicherung oder einer Darstellung mit relevantem zeitlichen Versatz, ist auch der Einsatz des TCP-Protokolls möglich.

## 12.6 Signalisierung und Sitzungssteuerung

Voraussetzung eines uni- oder bidirektionalen Versands von Mediendaten unter Nutzung des verbindungslosen UDP-Protokolls ist die Kenntnis des korrespondierenden Medienempfangspunktes des Empfängers durch den jeweiligen Sender.

Der Aufbau einer entsprechenden Session ist unter Nutzung eines Rendezvouskonzeptes oder durch gezielte Benachrichtigung und nachfolgenden Informationsaustausch möglich. Ein Rendezvouskonzept wird insbesondere für Konferenzanwendungen im Multicast-MBone benutzt, während Telefon-

und ähnliche interaktive Anwendungen ein Benachrichtigungskonzept nutzen. Für dieses existieren neben proprietären Protokollen die standardisierten Signalisierungsansätze der H.323 Suite der ITU und des Session Initiation Protocols (SIP) der IETF. Zur Steuerung des Retrievals von Mediendaten wird neben herstellereigenen Ansätzen bevorzugt das Realtime Streaming Protocol (RTSP) benutzt, das neben dem Transport der Medienendpunktparameter auch Steuerungsfunktionen zum Starten, temporären Stoppen und Beenden einer Session, wie sie von Videorecordern bekannt sind, zur Verfügung stellt.

#### 12.6.1 Protokolle im MBone/Multicast Umfeld (SDP, SAP)

Ein MBone-Netzwerk stellt einen Multicast-Backbone für den Transport von Daten zwischen Multicast-Anwendungen zur Verfügung. Dabei formen Multicast-Router ein Overlay-Netzwerk oberhalb der exisitierenden Unicast-Topologie. Die Multicast-Datagramme, die zwischen den MBone-Routern ausgetauscht werden, werden dabei in IP-Paketen getunnelt.

Multimedia-Sessions werden vom Anbieter an die potenziellen Teilnehmer in Form von SDP-Sitzungsbeschreibungen mit dem Session Announcement Protocol (SAP) /12.5/ versendet oder in einem Verzeichnis namens Session-Directory hinterlegt. Der Vorteil der Verwendung einer Multicast-Baumstruktur zur Verteilung der Medien liegt in der Reduktion der zu übertragenden Pakete, da die jeweils nächsten Router die Pakete duplizieren und in die anhängenden Äste senden, bis schließlich die Knoten, d. h. die Empfänger erreicht sind.

### 12.6.2 Das Sitzungssignalisierungsprotokoll SIP

Signalisierungsmechanismen sind für die Adressierung eines Kommunikationspartners, für seine Lokalisierung, den Aufbau von Sessions und den Austausch von Endpunktparametern sowie Mediencharakteristika wie genutzter Codec und Datenrate der übertragenen Mediendaten verantwortlich. Zusätzlich gestatten sie die Aktivierung oder Anzeige zusätzlicher Operationen innerhalb einer Session sowie deren Beendigung.

Obwohl das Real-time Transport Protocol (RTP) /12.16/ Mechanismen zur Selbstbeschreibung der übertragenen Daten einschließt, werden Änderungen der Art der übertragenen Mediendaten und ihrer Parameter in der Regel durch explizite Signalisierung und Neuaushandlung eines Übertragungskanals realisiert.

Neben dem von der IETF entwickelten und standardisierten SIP-Framework, das in generischer Art zur Sitzungssignalisierung benutzt werden kann, existiert insbesondere im Bereich der IP-Telefonie und des Multimedia-Confe-

rencing auch noch der eher abgeschlossene Signalisierungsansatz der ITU innerhalb der H.323 Protokollfamilie /12.7/. Die Standardisierung des SIP-Protokolls begann mit dem RFC 2543 im März 1999. Mittlerweile existiert der überarbeitete und erweiterte Standard als RFC 3261 /12.11/. Der Kernstandard definiert ein Anwendungsschichtprotokoll für den endgerätebasierten Aufbau sowie die Modifikation und Beendigung von Multimediasitzungen. Darüber hinaus werden die Syntax und Semantik von ASCII-codierten Nachrichten, die für das Transaktionsmodell notwendig sind, definiert. Obwohl das Protokoll zunächst für die Anwendung im **IP-Telefonie**-Umfeld entwickelt wurde, ist es nicht auf diesen Anwendungsbereich beschränkt und kann zum Aufbau und zur Kontrolle beliebiger Medienverbindungen zur Übertragung von Audio, Video oder auch von diskreten Daten genutzt werden.

Das Session Initiation Protocol (SIP) ist ein Anwendungsschichtprotokoll, das Methoden zum Aufbau, zur Modifikation und zum Abbau von Multimedia-Sessions bereitstellt.

Die Arbeitsweise des SIP-Protokolls ist ähnlich zu der des HTTP-Protokolls. Transaktionen werden durch Requests eingeleitet, die durch einen Methoden-Header klassifiziert sind und durch Responses beantwortet werden. Der Kernstandard definiert die sechs Basismethoden REGISTER, INVITE, ACK, CANCEL, BYE sowie OPTIONS, deren Semantik in Tabelle 12.1 erläutert wird.

Methode	Semantik
REGISTER	Registrierung der Adresse, unter der Systeme erreichbar sind, mit speziellen Infrastruktur-Servern (Registrars)
INVITE	Alarmierung von Kommunikationspartnern unter Mitteilung von Medien- und Medien-Endpunkt-Parametern sowie Modifikation von Medienparametern während laufender Sitzungen
ACK	abschließende Nachricht in Interaktionen zum 3-Wege-Sitzungs- aufbau
CANCEL	Abbruch von vorherigen Anfragen
BYE	Beendigung von Sitzungen
OPTIONS	Abfrage der Fähigkeiten eines Kommunikationspartners

Tabelle 12.1 SIP-Basismethoden und deren Semantik

Anfragen werden dabei durch korrespondierende Antworten beantwortet. Diese sind in einer der **HTTP-Signalisierung ähnlichen Art** durch numerische Identifikatoren, die die Fortdauer einer Transaktion, Erfolg oder Fehlersituationen anzeigen, gekennzeichnet.

Zur Weiterleitung von SIP-Nachrichten können als Proxies bezeichnete Infrastrukturelemente benutzt werden, die eine Weiterleitung von Nachrichten

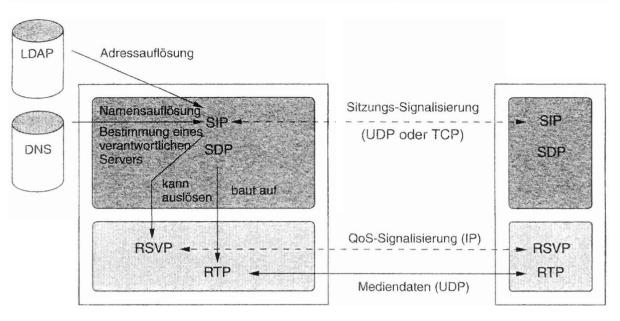


Bild 12.18 SIP-Elemente und deren Interaktion

auf Anwendungsebene (application-layer routing) realisieren. Das Ziel eines SIP-Requests wird von der in der ersten Zeile einer SIP-Nachricht angegebenen SIP-Request URI spezifiziert. SIP benutzt SIP-URLs im Format sip:user@domain zur Kennzeichnung von Quelle und Ziel einer Nachricht in einem symbolischen Format. Die Abbildung dieser symbolischen Adressen in aktuell erreichbare Adressen ist unter Einsatz von speziellen als Registrar bezeichneten Infrastruktursystemen möglich, bei denen sich Endsysteme mit der Adresse ihrer aktuellen Erreichbarkeit anmelden. Mit diesem Mechanismus wird eine Teilnehmer- und Systemmobilität ermöglicht.

Der SIP-Standard folgt einem horizontalen Integrationsansatz und bedient sich anderer Internet-Protokolle und -Standards wie zum Beispiel RTP für den Medientransport und SDP zur Medienbeschreibung. Dieses wurde ursprünglich zur Sitzungsbeschreibung von mittels eines **Rendezvouskonzepts** aufgebauten lose gekoppelten Mehrteilnehmer-Konferenzen im Multicast MBone benutzt.

Signalisierungsnachrichten in SIP bestehen aus einem Nachrichtenkopfteil mit den Steuerungsinformationen sowie einem Nachrichtenkörper, wie dies in Tabelle 12.2 anhand einer INVITE-Nachricht gezeigt ist. Zur Beschreibung der Mediencharakteristiken wird das Session Description Protocol (SDP) /12.4/ verwendet. Es handelt sich dabei im engeren Sinne nicht um ein Protokoll, sondern um eine strukturierte Beschreibung von Medien durch Angabe der verwendbaren Codecs. Jede SDP-Beschreibung besteht aus einer Folge von durch Schlüsselworten eingeleiteten Informationszeilen und kann im Nachrichtenkörper einer SIP-Nachricht transportiert werden.

Der Aufbau von Multimedia-Übertragungen in Sitzungen, deren Beendigung sowie der Transport von Medienendpunkt-Parametern sind die primären

Funktionen des Session Initiation Protocols. Durch die mögliche Einführung weiterer Methoden, aber insbesondere durch die sehr flexible Nutzung eines Event/Notification-Frameworks /12.10/ mit den Methoden SUBSCRIBE und NOTIFY ist eine sehr effiziente und generische Form der Sitzungssignalisierung gegeben. Neben den Basisfunktionen wurden von der IETF eine Reihe zusätzlicher Funktionen wie die Integration mit QoS-Mechanismen /12.2/, Sicherheit und die Interaktion mit Firewalls /12.8/ sowie das Instant Messaging /12.3/ realisiert.

Tabelle 12.2 SIP-INVITE-Nachricht mit SDP-Medienbeschreibung

	γ······
Nachrichteninhalt	Bedeutung
INVITE sip:0049126@130.83.139.45:22400 SIP/2.0	Methoden-Statuszeile
Via: SIP/2.0/UDP 130.83.139.206	Via-Kopfzeile
To: <sip:0049126@130.83.139.45></sip:0049126@130.83.139.45>	Empfängerspezifikation
From: <sip:0049127@130.83.139.45>;tag=1c16296</sip:0049127@130.83.139.45>	Sensorspezifikation
Call-ID: call-1036074256-8@130.83.139.206	Sitzungsidentifizierer
CSeq: 1 INVITE	Sequenznummer
Contact: <sip:0049127@130.83.139.206></sip:0049127@130.83.139.206>	Kontaktidentifikation
Content-Type: application/sdp	Inhaltstyp
Content-Length: 310	Inhaltslänge
– Beginn des Nachrichtenkörpers nach	Leerzeile –
v=0	Protokollversion
o=Pingtel 5 5 IN IP4 130.83.139.206	Initiator der Sitzung
s=phone-call	Name der Sitzung
c=IP4 130.83.139.206	Adresse des Endpunktes
t=0 0	Zeitpunkt der Sitzung
m=audio 8766 RTP/AVP 96 97 0 8 18 98	Medienbeschreibung
a=rtpmap:96 eg711u/8000/1	_
a=rtpmap:97 eg711a/8000/1	Attribute
a=rtpmap:0 pcmu/8000/1	der
a=rtpmap:8 pcma/8000/1	Medienbeschreibung
a=rtpmap:18 g729/8000/1	
a=fmtp:18 annexb=no	
a=rtpmap:98 telephone-event/8000/1	

#### 12.7 P2P-Mechanismen

Medieninhalte werden zunehmend auch verteilt und repliziert in verteilten Peer-to-Peer-Netzen abgespeichert. Diese erlauben unter Einsatz effizienter Lokalisations und Verteilungsmechanismen wie der Verwendung von Distributed Hashtables (DHT) die Gewährleistung einer guten Verfügbarkeit von Inhalten bei effizienter Nutzung der vorhandenen Speicher- und Übertragungsressourcen.

Zwischen Medienendpunkten oder deren Proxies innerhalb von Multimedia-Sessions besteht in der Regel stets eine direkte Ende-zu-Ende-Beziehung. Für die Signalisierung ist dies nicht zwingend der Fall, hier kommen in vielen Fällen, wie im linken Teil von Bild 12.19 gezeigt, hierarchisch aufgebaute Infrastrukturen zum Einsatz.

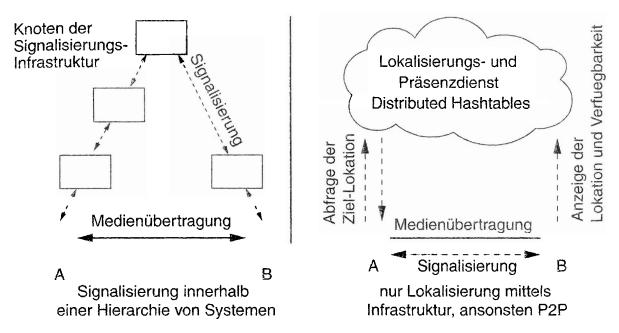


Bild 12.19 Rolle von Peer-to-Peer-(P2P-)Mechanismen

Die rechte Seite der Abbildung zeigt jedoch, dass diese in ihren Kernfunktionen wie der Bestimmung der aktuellen Endpunktadresse zunehmend von Peer-to-Peer-Mechanismen ergänzt oder abgelöst werden können.