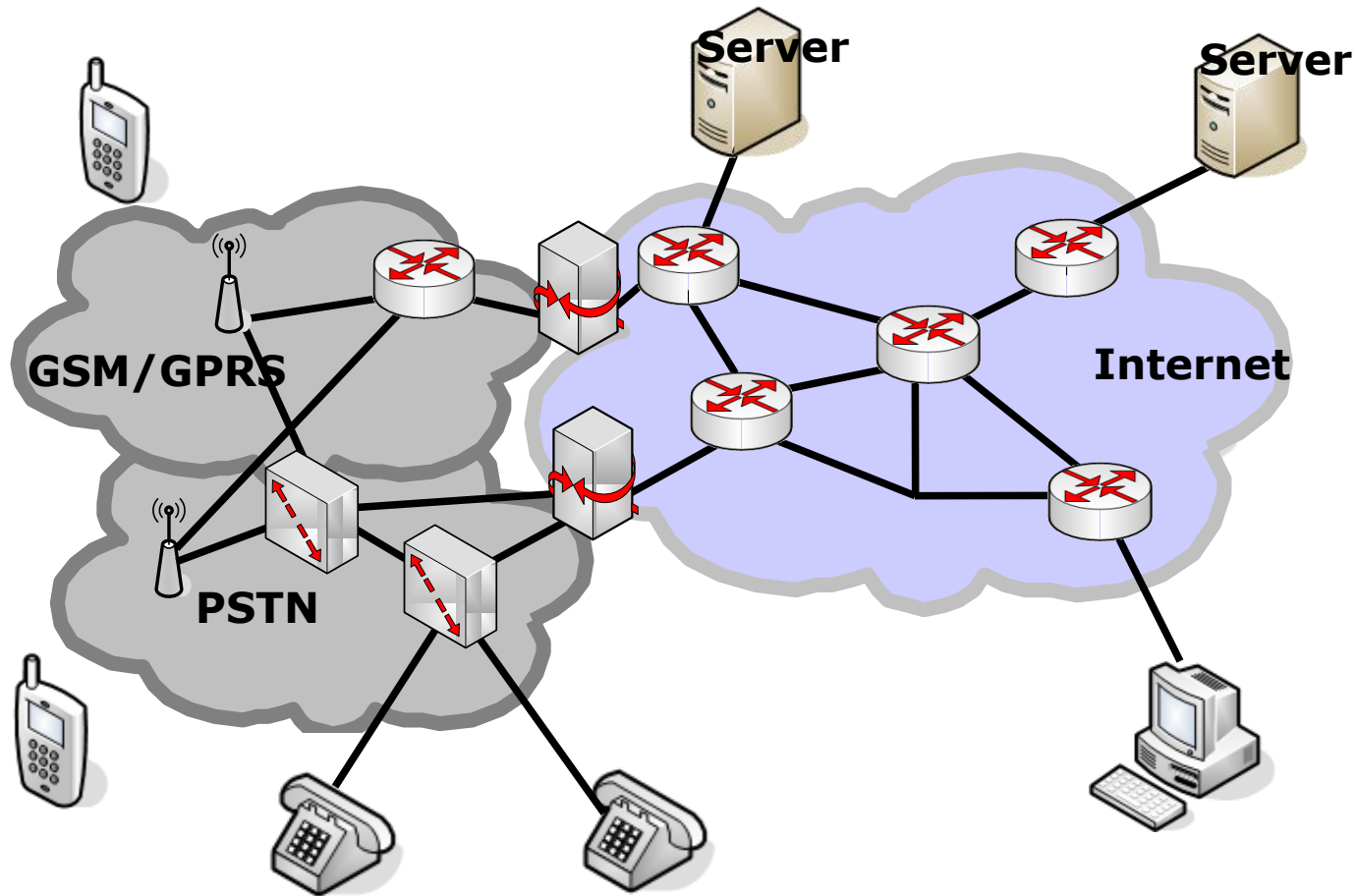

Rechnernetze und Telekommunikation

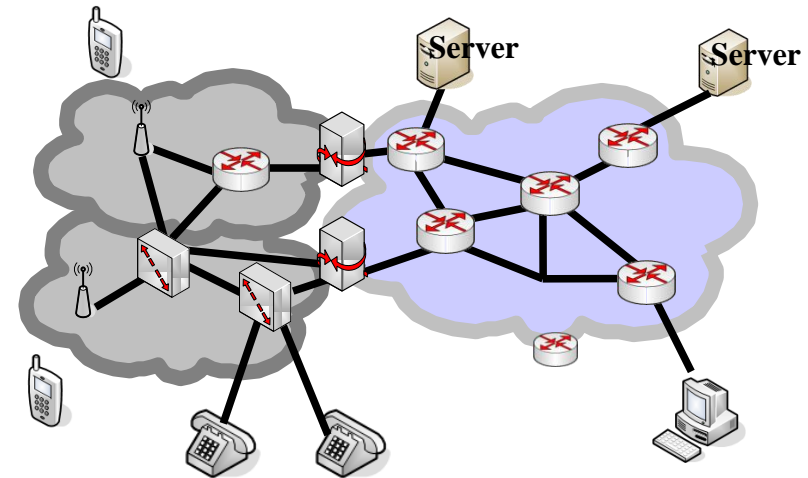
NGNs und VoIP

Previous Generation Networks (1)



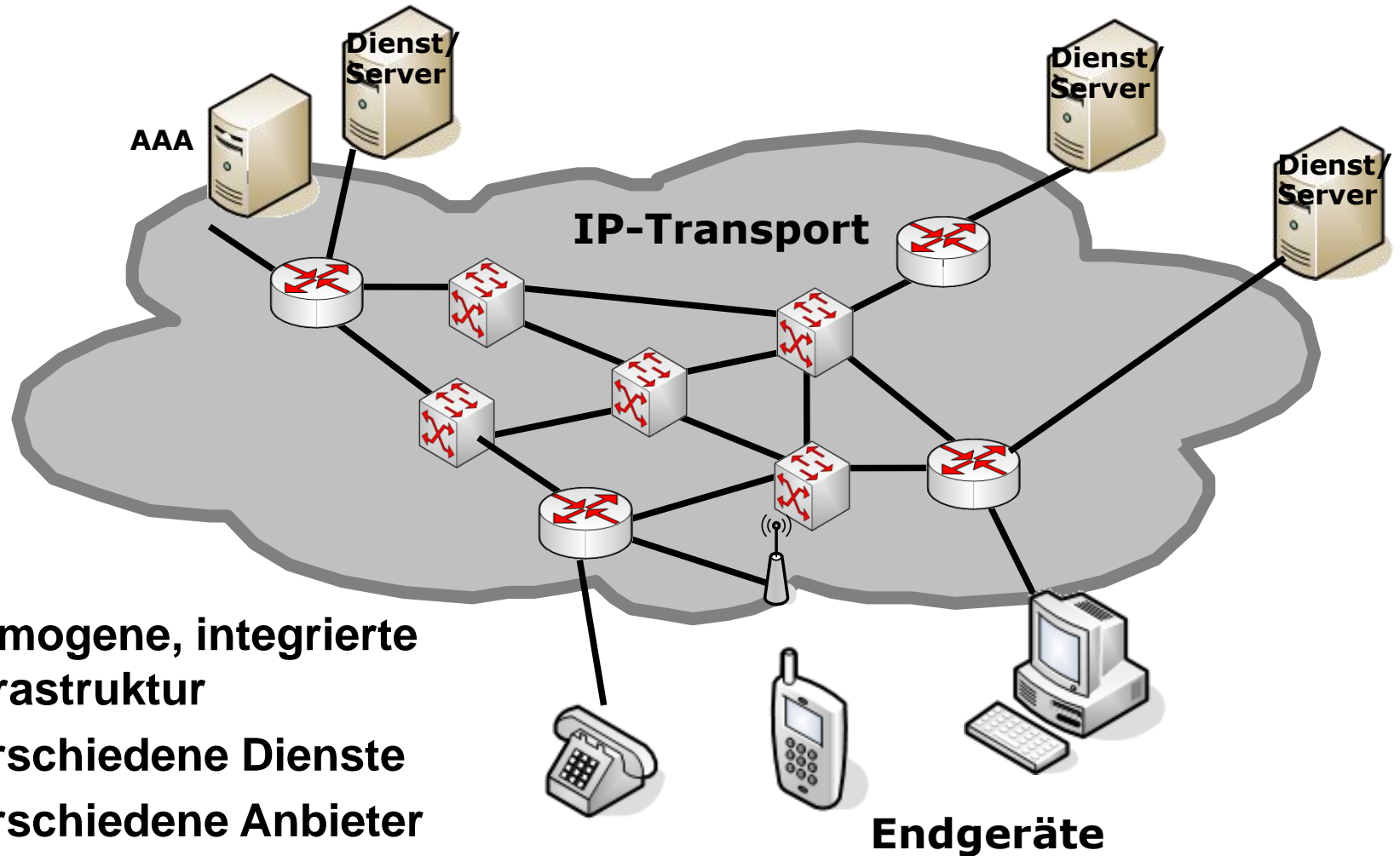
Previous Generation Networks (2)

- ◆ Dienste und Infrastrukturen sind eins und sind in einer Hand
- ◆ Infrastrukturen sind heterogen
 - Verschiedene Technologien
 - Leitungs- und paketvermittelt
 - Verbunden über Gateways



- ◆ Ein Netz der nächsten Generation (NGN) nach ITU-Def.
 - ist ein paketvermittelndes Telekommunikationsnetz
 - das Telekommunikationsdienste bereitstellt
 - viele breitbandige, dienstgüteklassenfähige Transporttechnologien nutzt
 - bei dem dienstbezogene Funktionen unabhängig von der genutzten Transporttechnologien sind
 - bietet den Nutzern uneingeschränkten Zugang zu Netzen, zu konkurrierenden Dienst Anbietern und/oder Diensten ihrer Wahl
 - “Netzneutralität”
 - unterstützt die allgemeine Mobilität, durch allgegenwärtige Bereitstellung von Diensten
 - Geräte und Nutzermobilität
 - erfüllt alle regulatorischen Anforderungen
 - z. B. Notfallkommunikation, Sicherheit, Lawful Interception usw.

Next Generation Networks



- ◆ Homogene, integrierte Infrastruktur
- ◆ Verschiedene Dienste
- ◆ Verschiedene Anbieter

Prinzipien und Architektur des NGN

◆ Dienstunabhängiges Core-Network

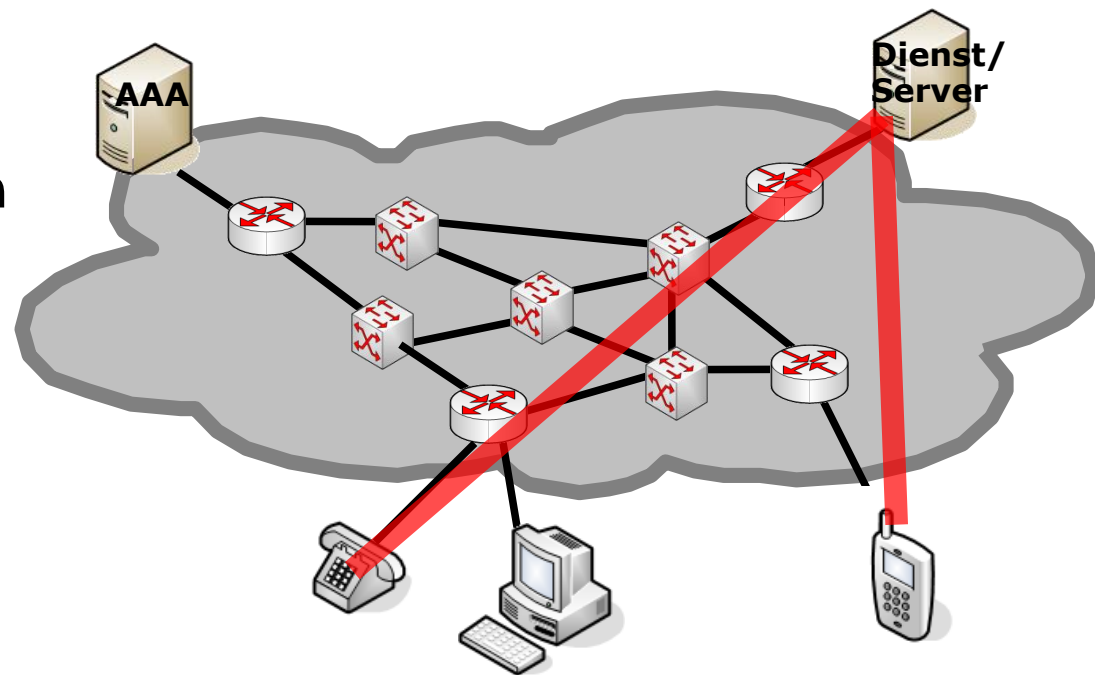
- Paketvermittelt
- Mit durchgängiger QoS
- Multicast-fähig

◆ Dienste in den Endpunkten realisiert

- Services sind nur Software auf Terminals und Servern

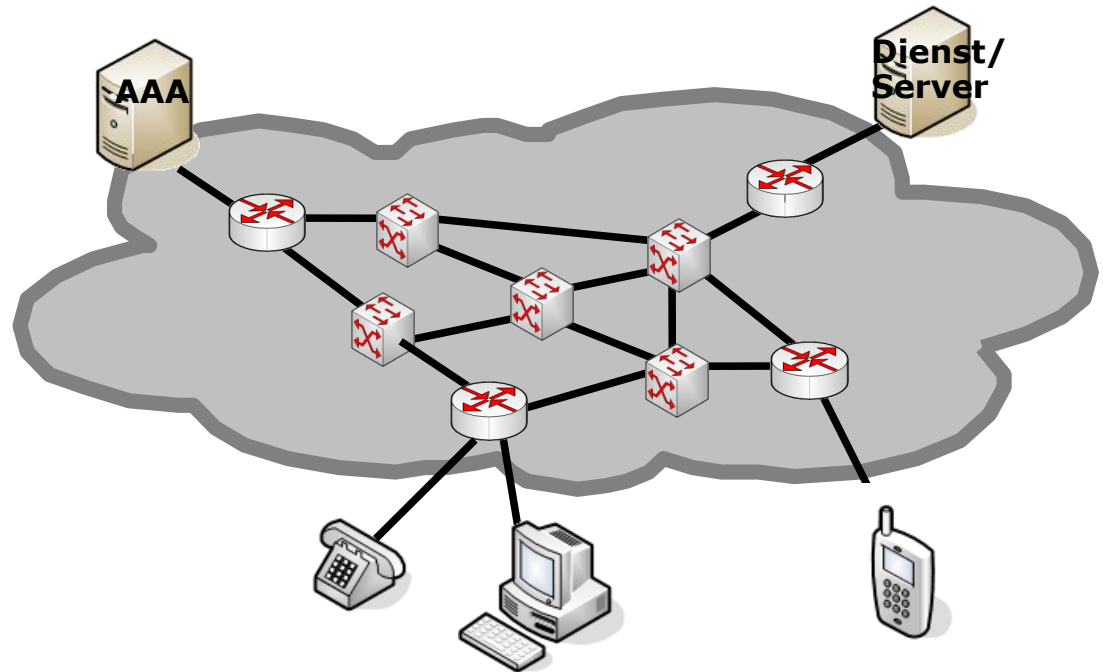
◆ AAA-Server

- zur zentralen Authentifizierung



NGN – Wozu eigentlich?

- ◆ **Netzneutralität bringt**
 - Konkurrenz der Dienstanbieter und
 - Innovationsfähigkeit
- ◆ **Mobilität der**
 - Nutzer und
 - Endgeräte
- ◆ **Konvergenz der**
 - Dienste und
 - Endgeräte

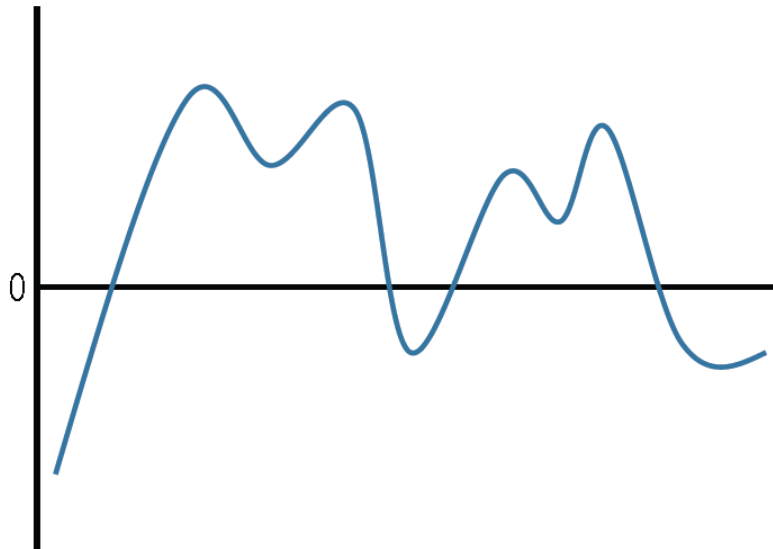


Was ist VoIP ?

- ◆ VoIP ist die Übertragung von Sprache über IP (oder generell: Paket-vermittelte Netze wie z.B. das Internet).
- ◆ VoIP hat alle Features, die es zuvor im POTS (Plain Old telephone service) gab
- ◆ Spezielle Anforderungen:
 - **Security**
 - Abhörsicherheit
 - Authentifizierung
 - Kein SPIT (spam over internet telephony)!
 - **Kompatibilität**
 - Notrufe
 - **Verfügbarkeit**
 - Endgeräte und Server (wie im POTS!)
 - Mobile Clients

Analoge und digitale Signale

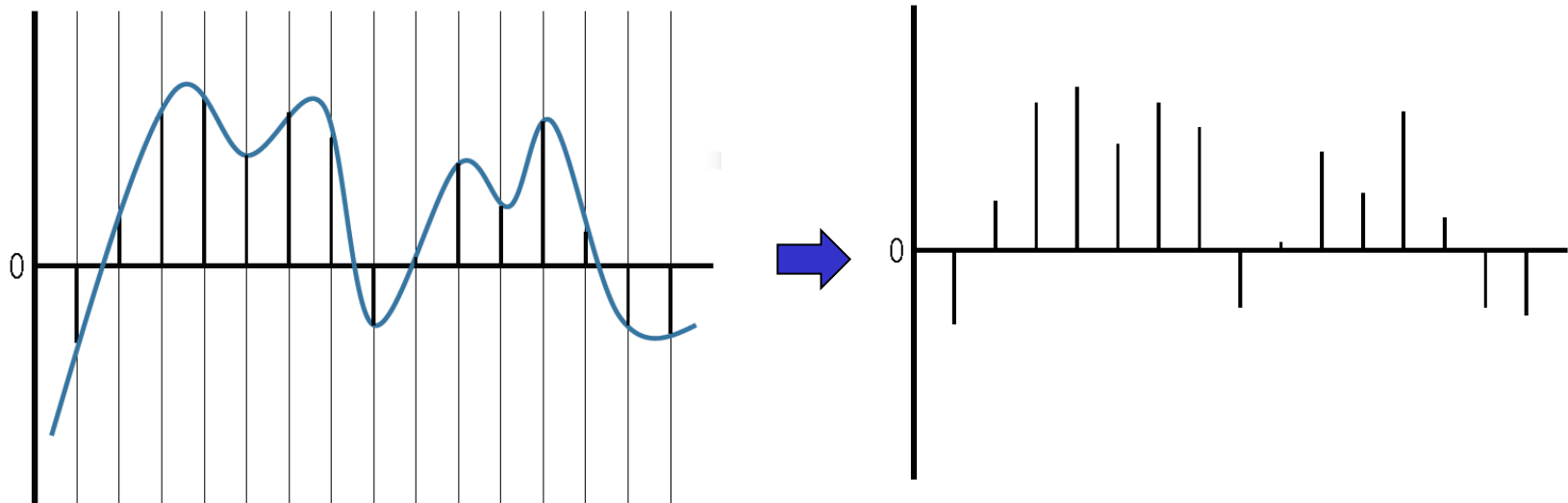
- Der zeitlich veränderliche Verlauf einer physikalischen Größe heißt **Signal**.
- Ein Signal heißt **analog** oder **kontinuierlich**, wenn es kontinuierliche Werte entsprechend einem Intervall aus der Menge der reellen Zahlen annehmen kann (unendlich viele Werte).
- Ein Signal heißt **digital**, wenn es nur endlich viele Werte annehmen kann.



Rasterung/Abtastung (1)

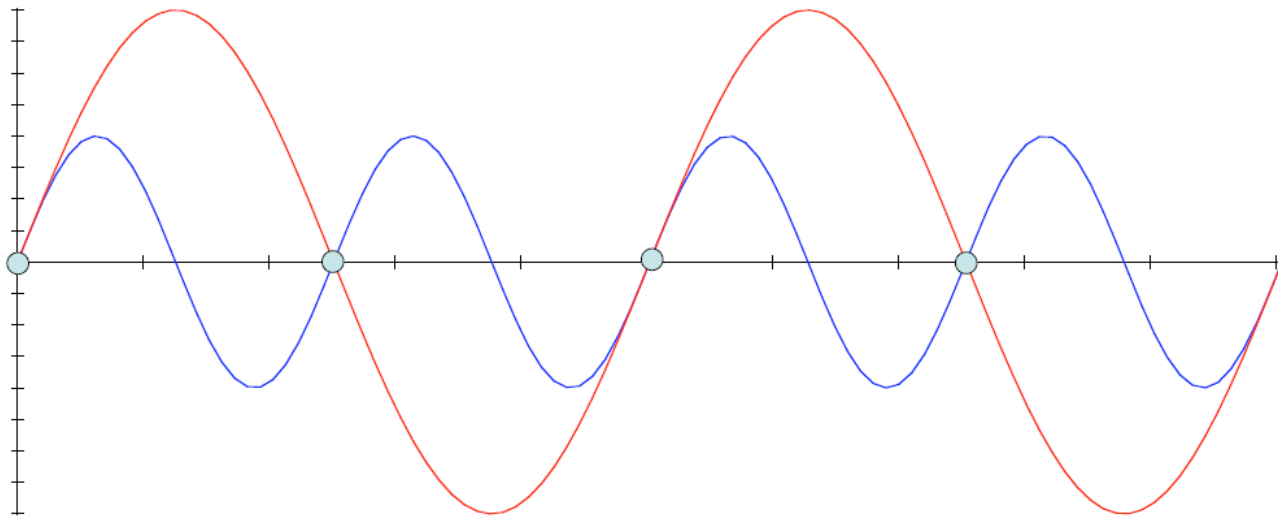
- ***Rasterung oder Abtastung***

- der Wert eines (analogen oder digitalen) Signals wird nur zu einzelnen Zeitpunkten (z.B. mit festem Intervall) oder einzelnen Ortspunkten bestimmt.
- Die Größe wird dadurch *diskretisiert*.
 - Es wird ein vertikales Raster über das Signal gelegt



Rasterung/Abtastung (2)

- **Nyquist-Shannon-Abtasttheorem** (H. Nyquist, C.E. Shannon):
 - Ein kontinuierliches Signal mit einer Minimalfrequenz von 0 Hz und einer Maximalfrequenz von f_{\max} Hz muss mit mindestens einer Frequenz $f_a > 2 * f_{\max}$ Hz abgetastet werden, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust wieder rekonstruieren kann.



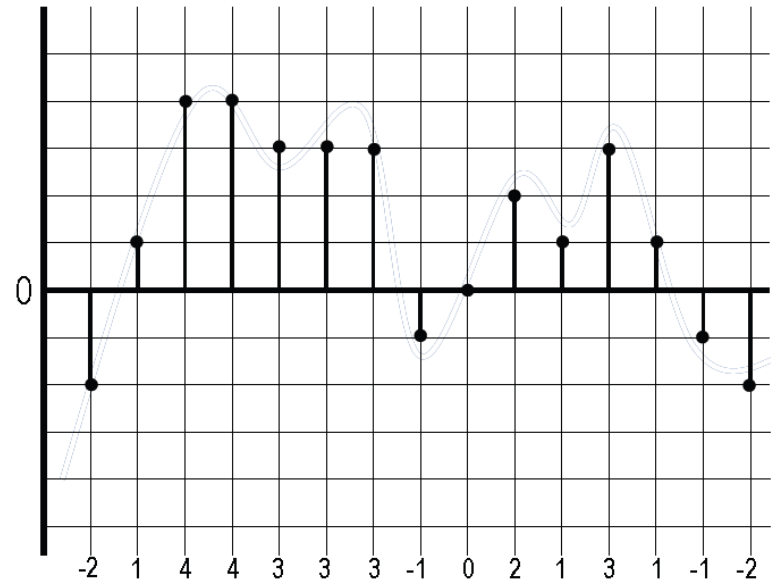
Quantisierung

- **Abbildung eines analogen Signals in ein digitales Signal.**
 - Es wird ein horizontales Raster über das Signal gelegt
 - Ein Wert wird durch den nächsten Rasterpunkt dargestellt
 - Die Auflösung ist die Anzahl der Bits

$$\text{Genauigkeit: } \frac{1}{2^{\text{Auflösung}}} * 100$$

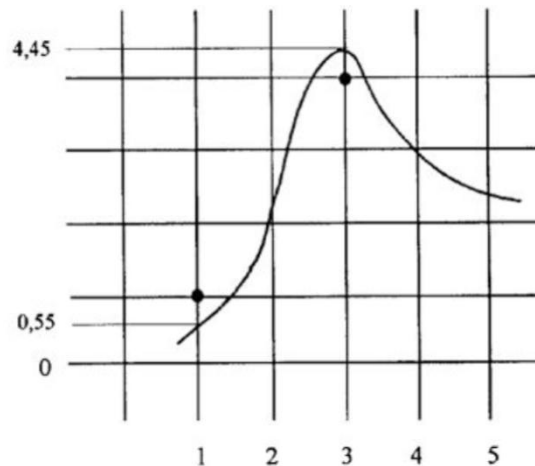
◆ Auflösung Werte Genauigkeit

◆	8	256	0,4%
◆	10	1024	0,097%
◆	16	65536	0,0015%



Quantisierungsfehler

- **Quantisierungsrauschen**
 - Da nur diskrete Werte möglich sind, müssen abweichenden analogen Messwerte gerundet werden
 - Der dabei auftretende Fehler wird als Quantisierungsfehler bezeichnet und stellt ein Störsignal (Rauschen) dar, das das ursprüngliche Signal überlagert



- Quantisierungsrauschen wird als **Signal-Rausch-Verhältnis (SNR, signal to noise ratio)** quantitativ angegeben

Datenraten

- **Beispiel:**

- **Audio-CD: Stereo. Abtastung 44.1 kHz. Auflösung 16 Bit**

44100 Samples/s 16 Bit Auflösung Stereo 2 Kanäle

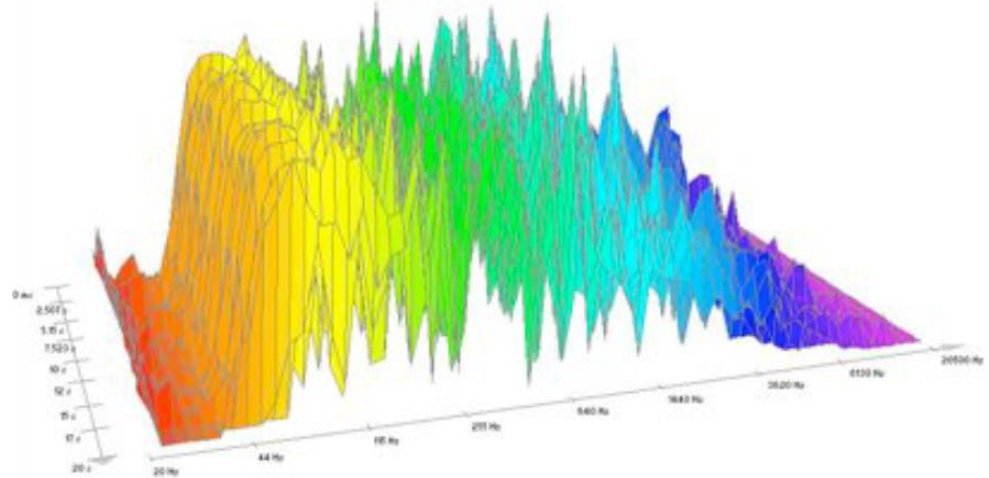
$$44.100 * 16 * 2 = 1.411.200 \text{ Bit} = 176400 \text{ Byte}$$

-

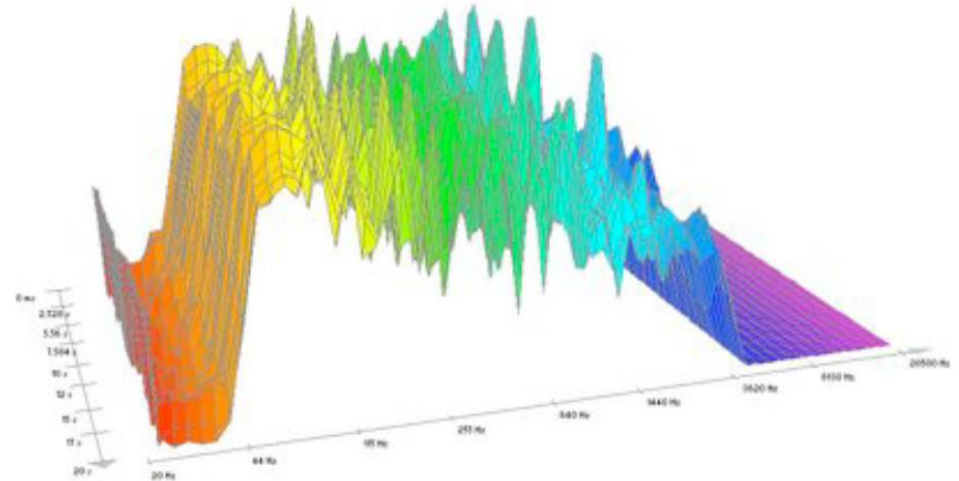
Abtastrate	44,1 kHz		22 kHz		11 kHz	
Auflösung	mono	stereo	mono	stereo	mono	stereo
16 bit	88,2	176,4	44	88	22	44
12 bit	66,15	132,3	33	66	16,5	33
8 bit	44,1	88,2	22	44	11	22

Vergleich unterschiedlicher Digitalisierungsparameter

- 44.1 kHz, 16 Bit

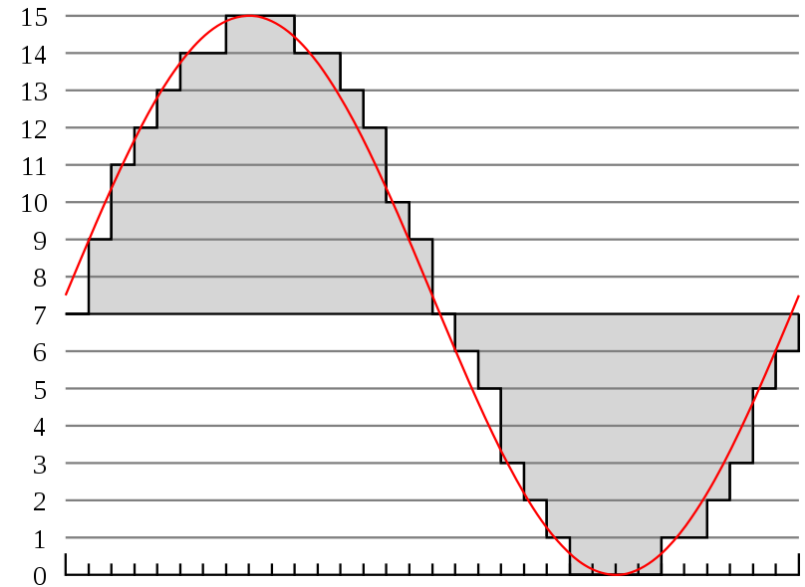


- 8 kHz, 8 Bit
 - Dynamikverlust
 - Verlust hoher Frequenzen (> 4 kHz)



Pulse-Code-Modulation

- Die Kombination aus Abtastung und Quantelung wird auch als *Pulse-Code-Modulation (PCM)* bezeichnet
 - Bsp: 4-Bit:
- Zwei Klassen von Verfahren
 - **Lineare PCM (lineare Quantisierung)**
 - gleichverteilte Quantisierungsstufen
 - **Nicht-lineare oder dynamische PCM**
 - nicht-gleichmäßige Aufteilung der Quantisierungsstufen
 - Kleine Schritte bei kleiner Amplitude, große bei großer Amplitude -> bessere SNR



Nicht-lineare PCM (μ -Law)

- **G.711 als VoIP-Sprachcodec nutzt nicht-lineare PCM mit 8 Bit Auflösung**
 - Das μ -Law-Verfahren nutzt die folgende Funktion, um das Signal x zu verzerren, bevor es linear in 1/256 quantisiert wird ($\mu = 255$):

- $$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad -1 \leq x \leq 1.$$

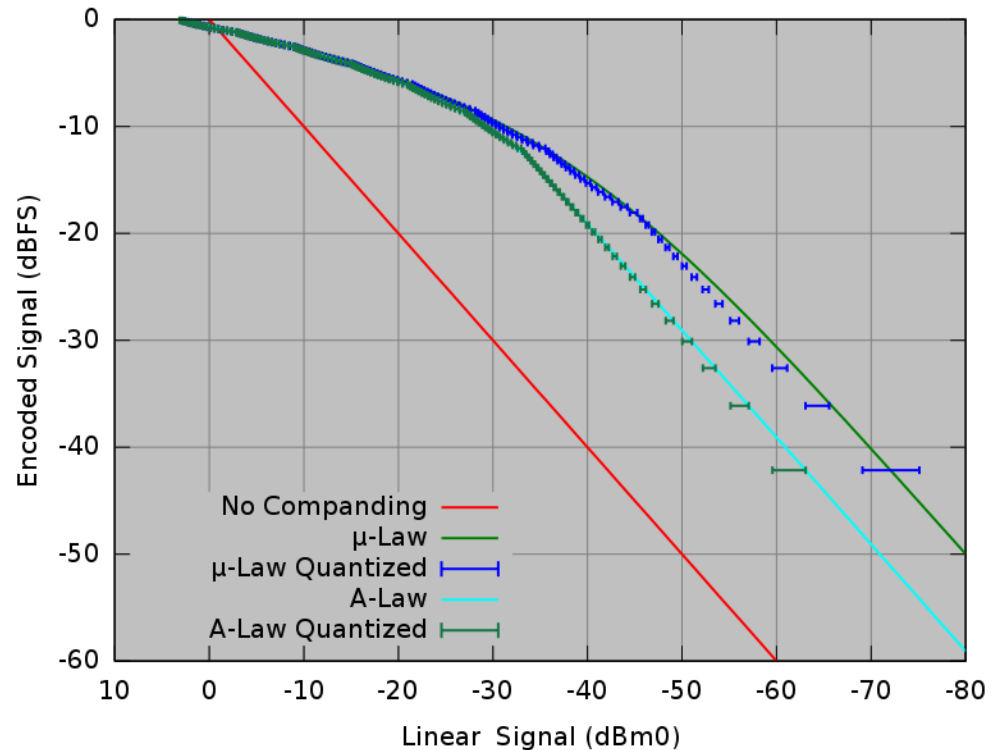
- $F(x)$ verstärkt für $x > 0$ kleine Signalwerte stärker als große Werte
- Die Umkehrfunktion bei der Dekodierung ist:

$$F^{-1}(y) = \text{sgn}(y) (1/\mu) ((1 + \mu)^{|y|} - 1) \quad -1 \leq y \leq 1$$

- μ -law wird in Amerika und Japan bei der Telefonie verwendet

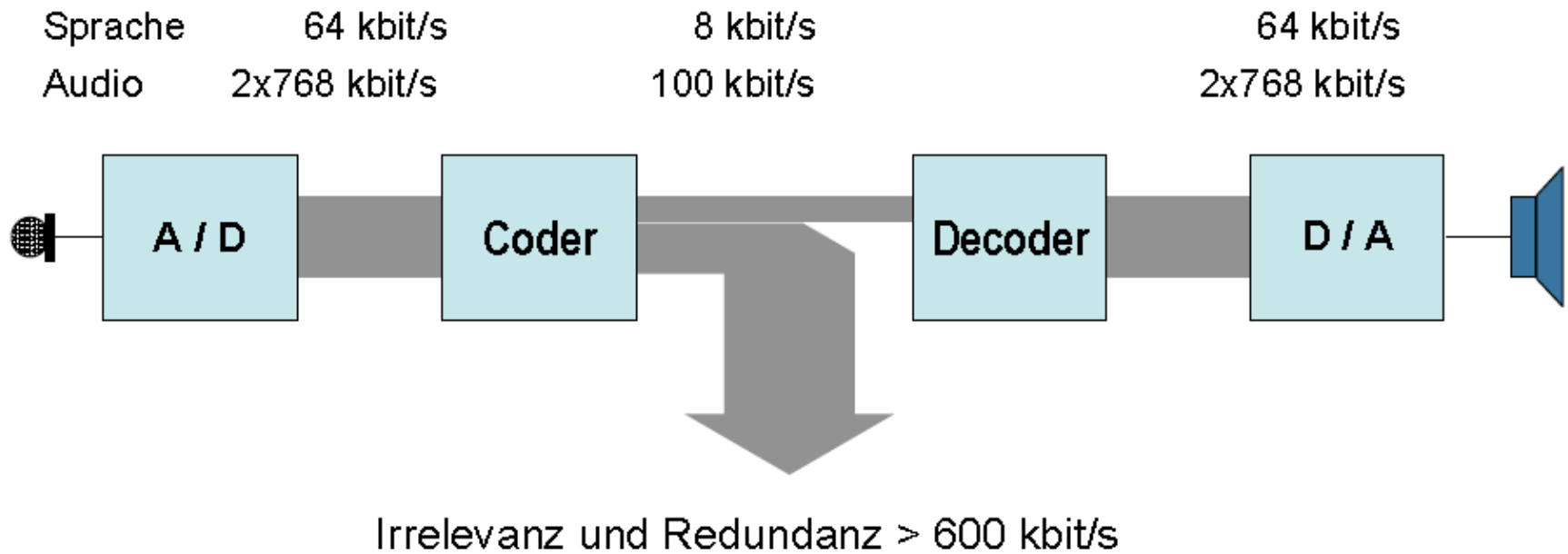
Nicht-lineare PCM (A-Law)

- A-Law ist ein alternatives Verfahren, das in Europa und dem Rest der Welt verwendet wird
 - Telefongespräch zwischen Europa und USA müssen konvertiert werden!
 - A-law nutzt eine etwas andere Kurve zur Verzerrung
- μ -Law:
 - Etwas bessere Dynamik
- A-Law:
 - Etwas weniger proport. Verzerrung im kleineren Bereich



Audio- und Sprach-Kompression (1)

- Prinzip:



Audio- und Sprach-Kompression (2)

- **Redundanz**

- Ausnutzen statistischer Eigenschaften des Quellsignals (Korrelation zwischen Samples) bei der Kodierung
- geringe Kompression aber reversibler Prozess

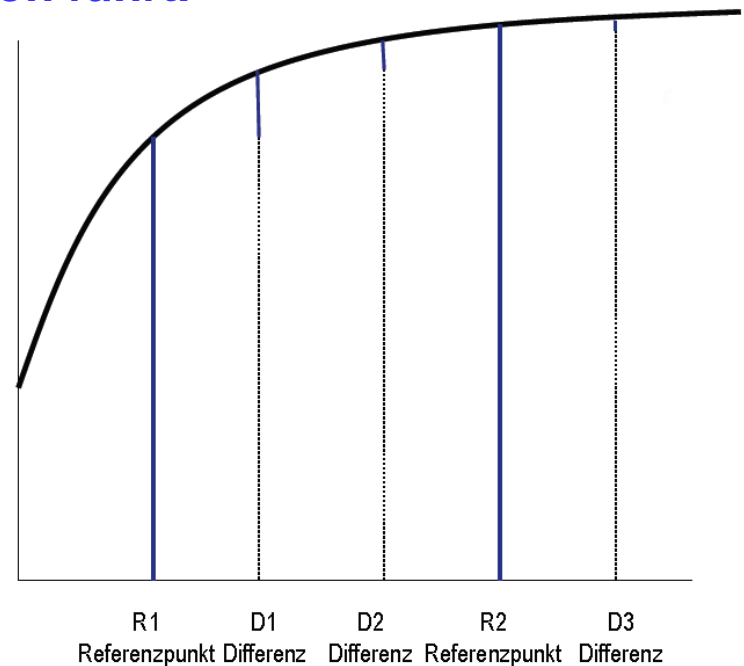
- **Irrelevanz**

- Ausnutzen des eingeschränkten Auflösungsvermögen des Gehörs hinsichtlich
 - Amplitude, Zeit und Frequenz
 - durch Quantisierung und Filterung
- keine Verschlechterung der Klangqualität
- hohe Kompression aber irreversibler Prozess

- **Kodierung erfolgt ohne Kenntnis des zu kodierenden Signals**
 - keine Ausnutzung sprachspezifischer Eigenschaften
 - **Kodierte Daten: Repräsentation der ursprünglichen Sprache als Signalform der Amplitude über die Zeit**
 - **Reproduziertes Signal ist nur eine Approximation des ursprünglichen Signals**
- **Gängige Verfahren:**
 - **PCM (Pulse Code Modulation), s.o.**
 - **DPCM (Differential Pulse Code Modulation)**
 - **ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)**

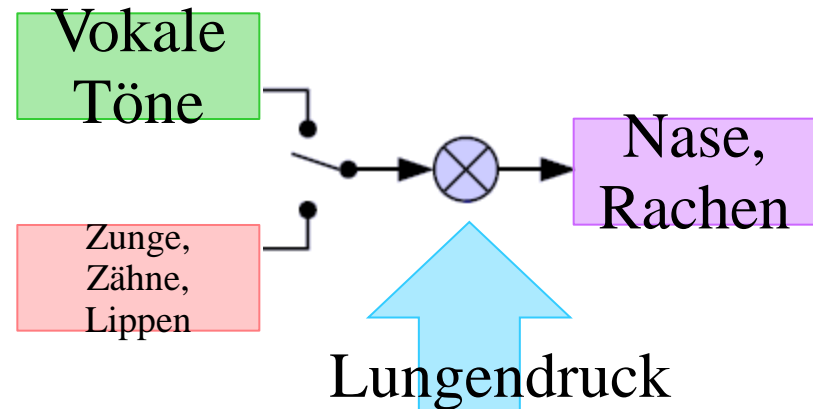
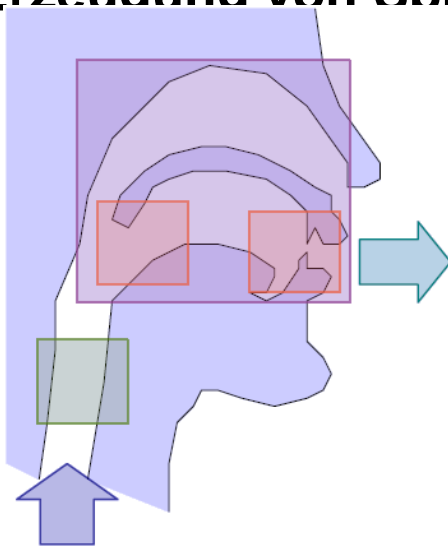
DPCM - Differential Pulse Code Modulation

- **Verfahren**
 - Erweiterung der PCM
 - Es werden Differenzwerte aufeinanderfolgender Abtastwerte gebildet, was bei Signalfolgen mit hoher Autokorrelation, typisch für digitale Audiosignale, zu einer Datenreduktion führt.
- **Beispiel:**
 - Es müssen nur noch die blauen Größen kodiert werden
 - Weniger Bit!



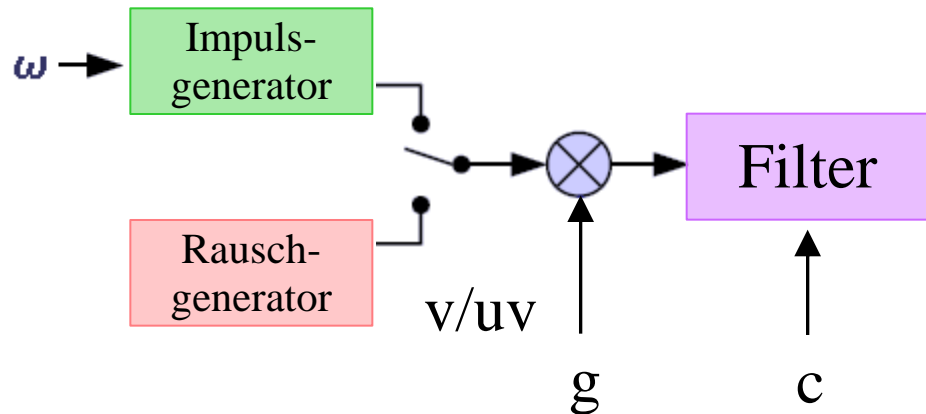
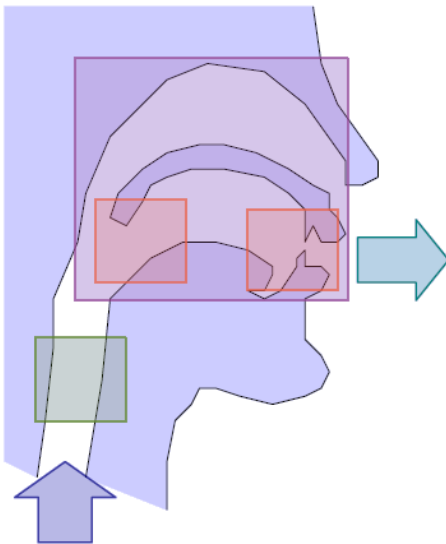
Vocoder

- Sprache wird analysiert, in Parameter übersetzt
- Diese Parameter werden übertragen und wieder synthetisiert
 - Hohe Kompression
 - Nicht verlustfrei
 - Eher unnatürlicher/unpersönlicher Klang
- Erzeugung von Sprache



Sprachsynthese

- **Parameter:**
 - ω : Grundfrequenz
 - u/uv: Schalter voiced/unvoiced
 - g: Verstärkung
 - C: Filterkoeffizienten

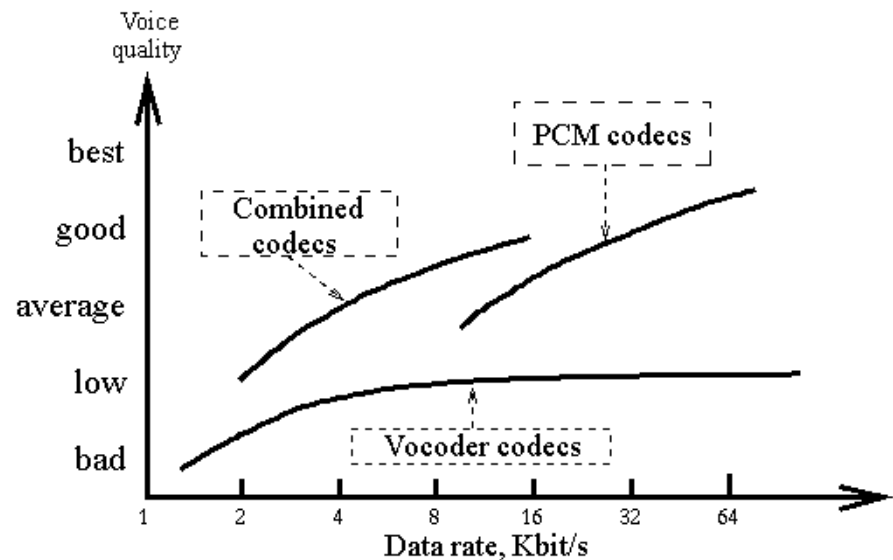


Hybride Codecs

- **Verfahren**
 - Verwenden Vocoder und überträgt die Parameter
 - Nutzt den Vocoder-Output auch als Basis der Vorhersage für die DPCM beim Sender
 - Überträgt zusätzlich dann die Differenz zu den Vocoder-Parametern

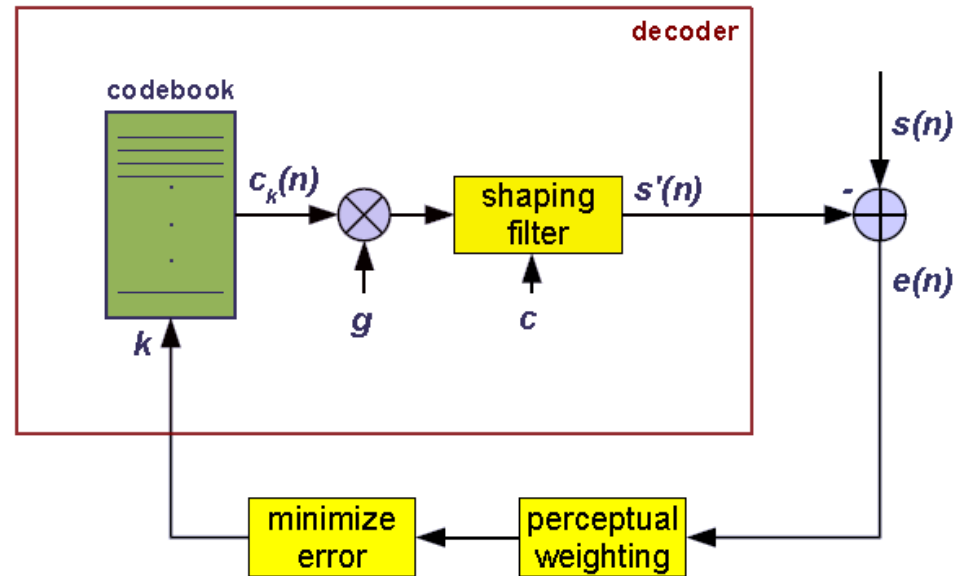
- **Vergleich von Sprachcodierern**

- **Qualität/Bandbreite**



CELP (Code Excited Linear Prediction)

- Verfahren
 - Nutzt ein festes Codebook von Vokal/Rausch-Kombinationen (*Excites*) mit Index k
 - Adaptiert k , g und c bis das Ergebnis sich physiologisch gewichtet so „anhört“ wie das Eingangssignal
 - Überträgt dann k , g , c und e
- Anwendung:
 - Im Mobilfunk G.723, G.729



Standards für Sprachkodierer

All numbers for single channel, full-duplex	Complexity (MPS)	Coder Type	Bitrate (kbit/s)	Voice Quality (MOS)	Frame Size (ms)	Codec Delay (ms)	
ITU-T G.711	0.2	Compressed PCM	64	4.3	0.125	0.25	Waveform
ITU-T G.723.1	18	MPC-MLQ & ACELP	6.3, 5.3	3.5, 4.0	30	67.5	Vocoder
ITU-T G.726 ITU-T G.727	8.3	ADPCM	16, 24, 32, 40	2.0, 3.2, 4.0, 4.2	0.125	0.25	Waveform
ITU-T G.728	12.4	LD-CELP	16	4.0	0.625	1.25	Vocoder
ITU-T G.729A/B	8.8	CS-ACELP	8	4.0	10	25	Vocoder
ITU-T G.729D	15.4 (est.)	CS-ACELP	6.4	3-4	10	25	Vocoder
ITU-T G.729E	23 (est.)	CS-ACELP	11.8	4.0	10	25	Vocoder
ETSI GSM-HR	15.0	VSELP	5.6	3.5	20	44.4	Vocoder
ETSI GSM-EFR	18.0	ASELP	13	4.0	20	20	Vocoder
ETSI GSM-AMR	15.0	VSELP	5.6	3-4	20	20	Vocoder

MOS - Mean Opinion Score

- ◆ **Verfahren zur subjektiven Beurteilung der Qualität von Sprach- und Bildübertragungen**
 - 5-Stufige Skala
 - POTS: 4,2, GSM: 3,7, schlechtes GSM: 3
 - Anforderung VoIP (ideal): 4,5

Wert	Quality	Bedeutung
5	excellent	Es ist keine Anstrengung nötig, um die Sprache zu verstehen.
4	good	Durch aufmerksames Hören kann die Sprache ohne Anstrengung wahrgenommen werden.
3	fair	Die Sprache kann mit leichter Anstrengung wahrgenommen werden.
2	poor	Es bedarf großer Konzentration und Anstrengung, um die übermittelte Sprache zu verstehen.
1	bad	Trotz großer Anstrengung kann man sich nicht verständigen.

Echounterdrückung

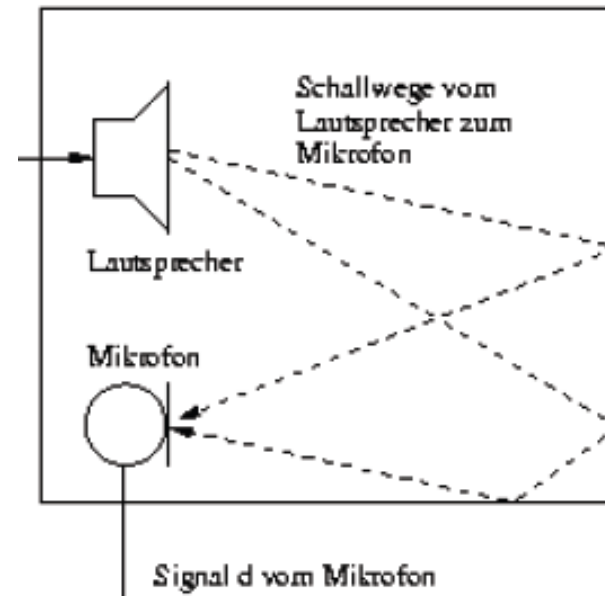
- **Problem:**
 - Wie verhindert man, dass das Signal des Lautsprechers vom Mikrofon aufgenommen und zurück übertragen wird -> Echo
- **Früher**
 - Durch Konstruktion und Dämpfung des Hörer(-knochens)



- **Heute meist nicht möglich**
 - Form der Telefone und insb. beim Freisprechen(!)

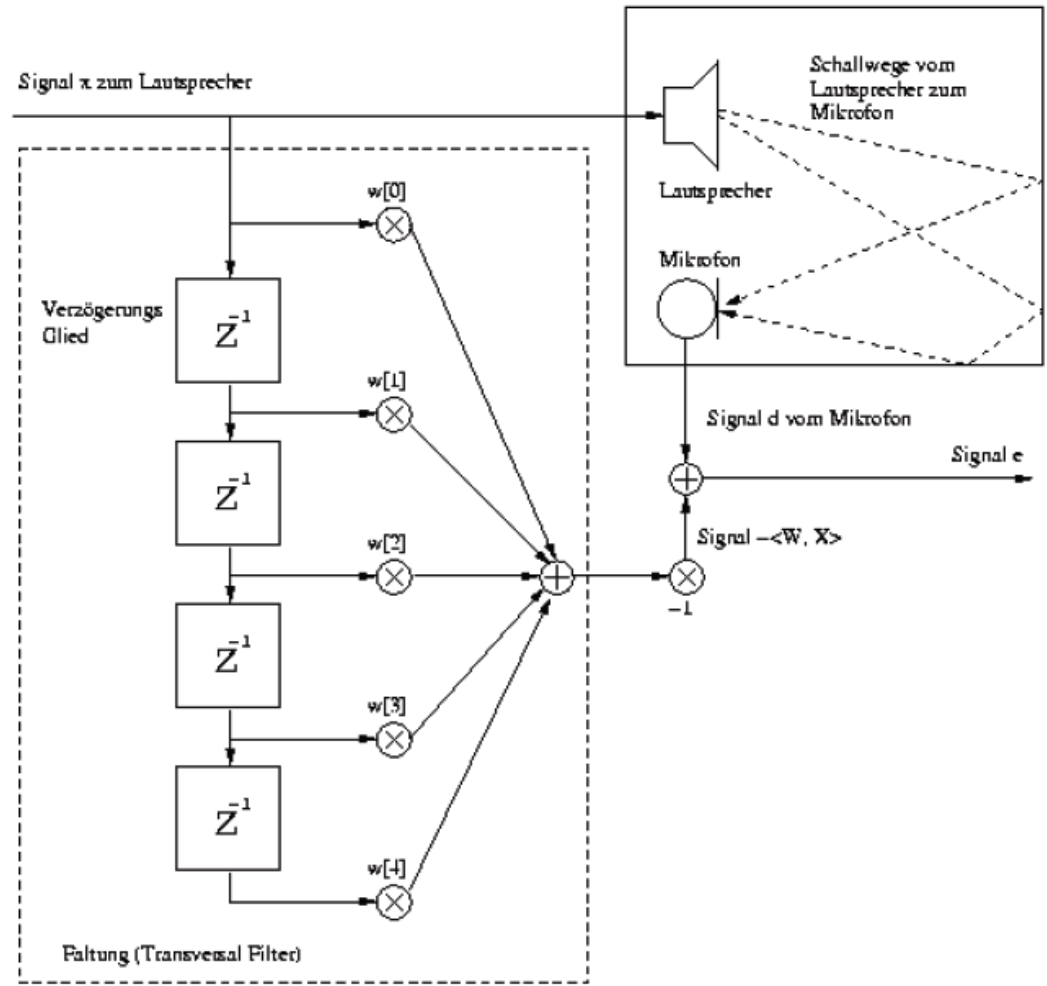
Algorithmische Echounterdrückung (1)

- **Idee:**
 - Vom Mikrofonsignal das Lautsprechersignal abgezogen
- **Problem:**
 - Das Signal gelangt auf verschiedenen Wegen vom Lautsprecher zum Mikro
 - Unterschiedliche Verzögerung
 - Unterschiedliche Dämpfung
 - Typische Verzögerung $< 100\text{ms}$



Algorithmische Echounterdrückung (2)

- **Idee:** Die verschiedenen Wege müssen nachgebildet werden
- **Realisierung**
 - Verzögerung mit „Tapped-Delay-Line“
 - Ein Verzögerungsglied (Tap) pro Sample
 - 8kHz, 100ms -> 800 Taps
 - Vektor X
 - Koeffizienten w_i drücken Dämpfung aus
 - sog. „Faltung“:
 - $e = d - \langle X, W \rangle$



Meistbenutzte VoIP Codecs

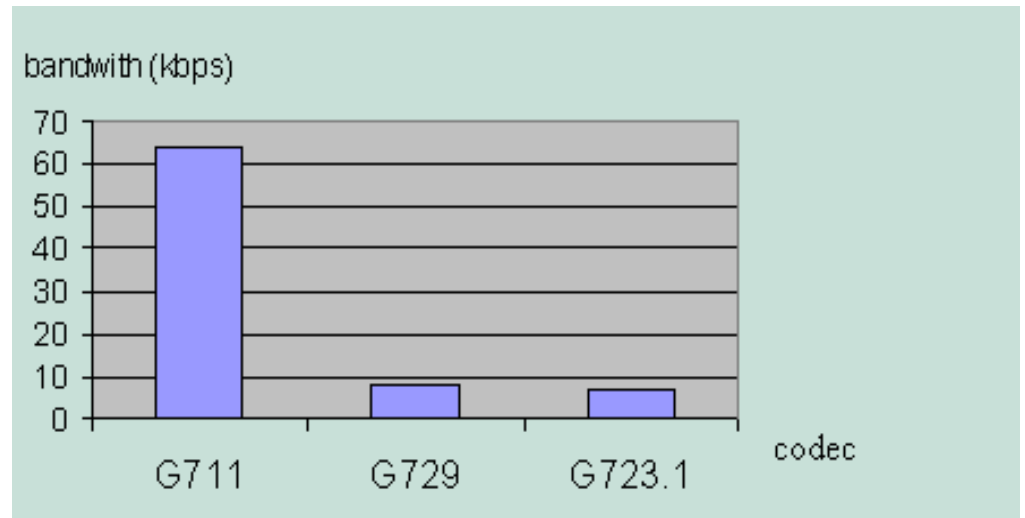
◆ Codecs

G711 -> 64 kbps

G729 -> 8 kbps

G723.1 -> 6.4 kbps

◆ Alle beinhalten Echo-Unterdrückung



VoIP Protokolle

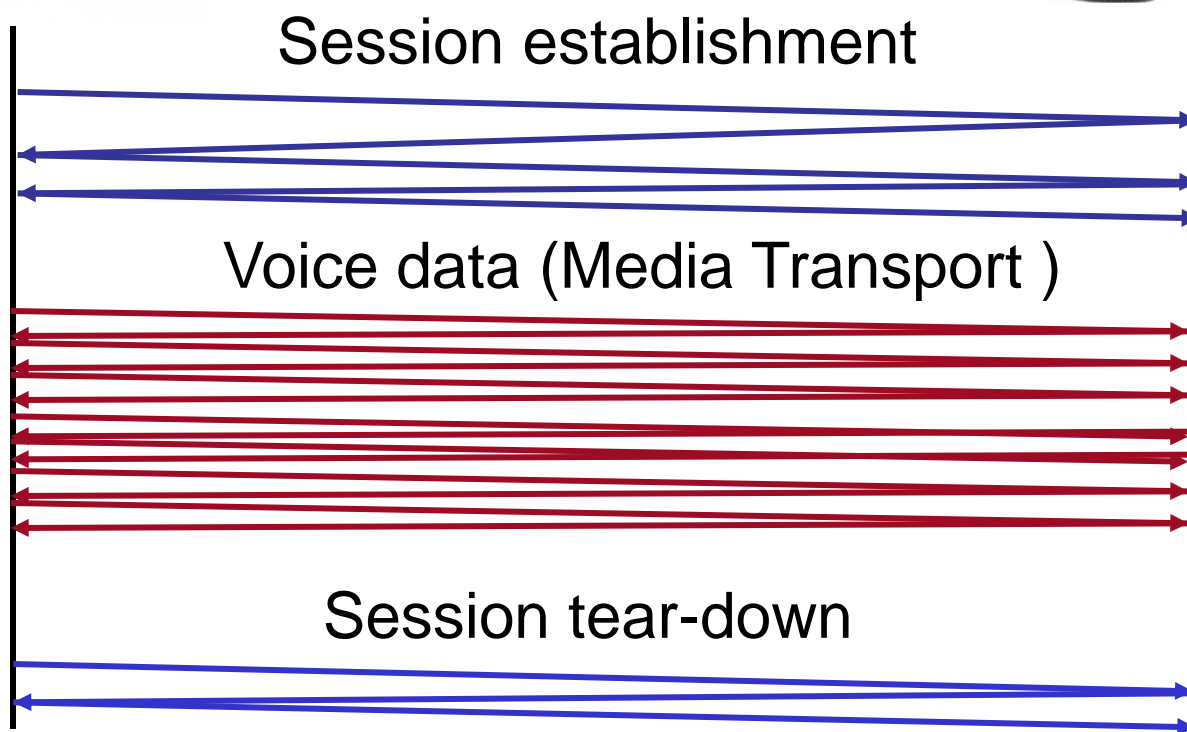
- ◆ **Signalisierungs-Protokolle um Anwesenheit von Nutzer zu erkennen, sie zu finden, Anrufe auf-, um- und abzubauen**
 - ITU-T H.323 umbrella standard
 - IETF SIP
 - Angelehnt an HTTP und SMTP
- ◆ **Media Transport Protokolle und die Audio/Video-Ströme in Paketform zu übertragen**
 - RTP (Real Time Protocol) wird von allen offenen Standards genutzt
- ◆ **Weitere Protokolle für**
 - Gateway Location
 - QoS
 - Interdomain AAA (Authentication, Authorization and Accounting)
 - etc.

Signalisierungsprotokolle

Prinzipiell: Anrufen mit VoIP



Endpunkte müssen die
die IP-Adresse des
Gegenübers finden



Media Transport Protokolle - RTP

- ◆ Definiert in RFC 1889
- ◆ Für Video und Audio-Streaming
- ◆ RTP kann als Sublayer des Transport Layers gesehen werden
- ◆ Üblicherweise auf UDP
 - 8-Byte Header
 - klein = schnell
 - Kein Setup-Overhead wie z.B. in TCP
 - Kein Verbindungsaufbau
 - Aufgabe z.B. des Signalisierungs-Protokolls

RTP Paket Header

- ♦ **Payload type (7 bits)**
 - the type of audio/video encoding
- ♦ **Sequence number (16 bits)**
- ♦ **Time stamp (32 bits)**
 - Zur Jitter Entfernung
 - abgeleitet von der Sampling Clock des Senders
- ♦ **Synchronization Source Identifier (SSRC) (32 bits): Quelle des RTP Stroms**
 - Random Stream-Number
 - Nicht IP-Adress des Senders



RTP Header

RTP: Beispiel im Wireshark

The image shows a Wireshark network traffic capture. The top menu bar includes File, Edit, View, Go, Capture, Analyze, Statistics, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons for file operations, navigation, and analysis. The main display area is divided into three panes. The top pane is a packet list table with columns: No., Time, Source, Destination, Protocol, and Info. The bottom pane shows the details of the selected packet (No. 10), including Ethernet II, Internet Protocol, User Datagram Protocol, and Real-Time Transport Protocol. The bottom pane also displays the raw packet data in hexadecimal and ASCII.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
7	0.374303	80.131.245.242	217.10.79.9	ICMP	[ICMP Echo (ping)] Seq=0 Len=0
8	11.097953	217.10.79.9	80.131.245.242	SIP/SDP	Status: 200 OK, with session description
9	11.143631	80.131.245.242	217.10.79.9	SIP	Request: ACK sip:8006489@82.83.167.231:5060
10	11.147533	80.131.245.242	217.10.79.9	RTP	Payload type=ITU-T G.723, SSRC=3945704391, Seq=18960, Time=3600952048
11	11.153584	80.131.245.242	217.10.79.9	RTP	Payload type=ITU-T G.723, SSRC=3945704391, Seq=18961, Time=3600952288
12	11.183547	80.131.245.242	217.10.79.9	RTP	Payload type=ITU-T G.723, SSRC=3945704391, Seq=18962, Time=3600952528
13	11.213549	80.131.245.242	217.10.79.9	RTP	Payload type=ITU-T G.723, SSRC=3945704391, Seq=18963, Time=3600952768
14	11.243628	80.131.245.242	217.10.79.9	RTP	Payload type=ITU-T G.723, SSRC=3945704391, Seq=18964, Time=3600953008

Details of packet 10:

- Ethernet II, Src: avt-profile-1 (5004), Dst: 40718 (40718)
- Internet Protocol, Src Addr: 80.131.245.242 (80.131.245.242), Dst Addr: 217.10.79.9 (217.10.79.9)
- User Datagram Protocol, Src Port: avt-profile-1 (5004), Dst Port: 40718 (40718)
- Real-Time Transport Protocol

Raw packet data (hex):

```
0000 00 04 02 00 00 00 00 00 00 00 00 00 08 00 .....  
0010 45 30 00 3c 56 c5 00 00 f9 11 fc 31 50 83 f5 f2 E0.<V...1P...  
0020 d9 0a 4f 09 13 8c 9f 0e 00 28 00 00 80 04 4a 10 ..0.....(.J...  
0030 d6 a2 2a f0 eb 2e ab c7 89 e2 c2 5d 62 01 00 07 ..*.....]b...  
0040 00 08 26 e1 00 e0 2e e7 8f c4 7f 0e ...&.....
```

RTCP (RTP Control Protocol)

- ◆ RTCP Pakete werden periodisch zwischen Sender and Empfänger ausgetauscht
- ◆ Zur Ermittlung der Statistik:
 - Anzahl der gesendeten Pakete
 - Anzahl der verlorenen Pakete
 - Jitter
- ◆ RTP und RTCP Pakete laufen über unterschiedliche Ports

QoS-Anforderungen an VoIP

◆ Bandbreite

- Anhängig vom Codec
- Vergleich
 - PSTN: 1.5 Mbps mit 64kpbs pro Kanal: 24 simultane Anrufe
 - VoIP: 1 Mbps mit G.729 codec (8kpbs) 128 simultane Anrufe

◆ Latenz

- RTT von 150-250 ms möglich, besser kleiner

◆ Jitter

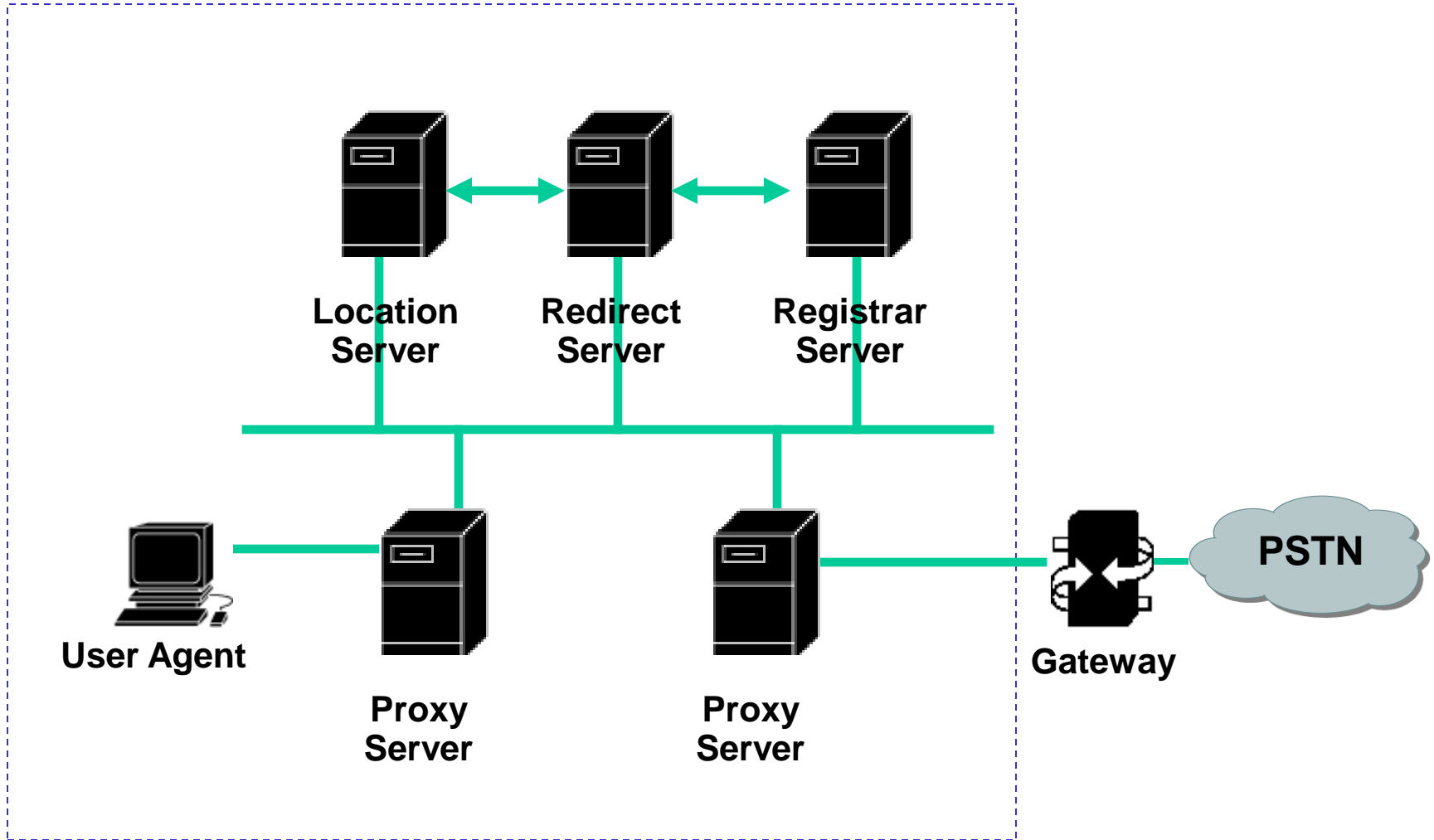
- Akzeptabel: 75 msec, besser kleiner

◆ Paketverlustrate

- Laut Anbieter: max. 2-3%

Signalisierungs-Protokolle:

SIP – Architektur und Komponenten



User Agents

- ◆ Eine Einheit, die Anrufe initiiert, empfängt und beendet
 - User Agent Clients (UAC)
 - initiiert Anrufe
 - User Agent Server (UAS)
 - empfängt Anrufe

- ◆ UAC und UAS können Anrufe beenden

Proxy Server

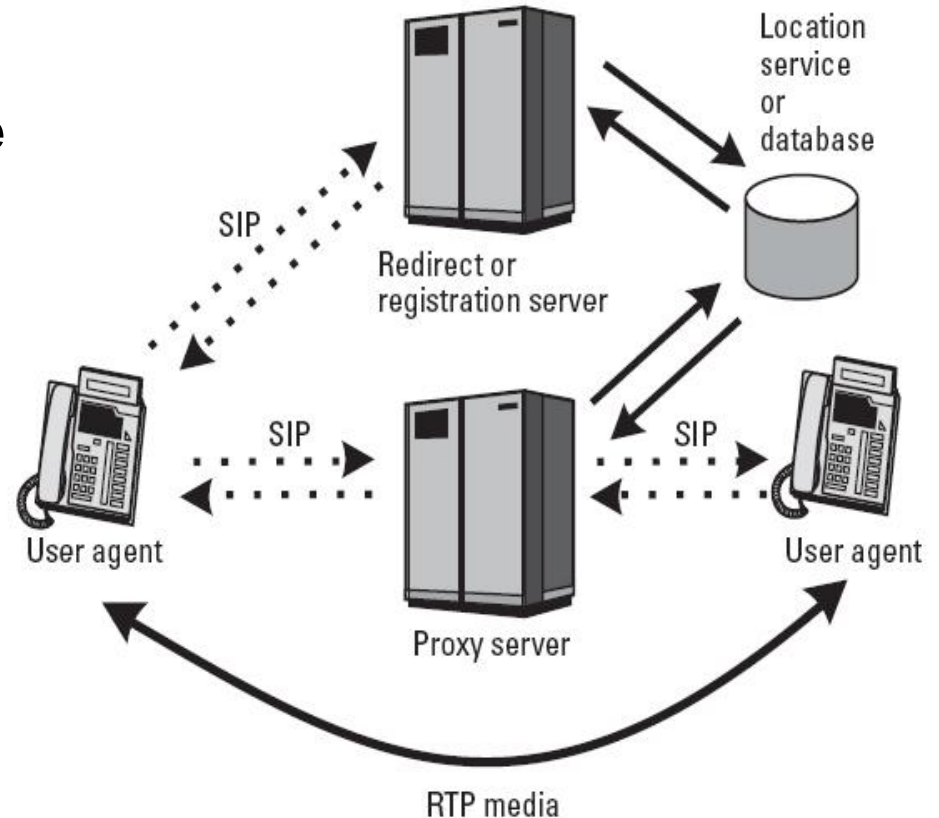
- ◆ Ein zwischengelagerter Server, der sowohl als Server als auch als Client Anfragen im Auftrage anderer bearbeiten kann.
- ◆ Anfragen werden intern bearbeitet oder indem sie – möglicherweise nach einer Änderung der Adresse an andere Server weitergeleitet werden.
- ◆ Kann SIP-Nachrichten interpretieren, umschreiben oder übersetzen bevor er sie weiterleitet

Redirect Server

- ◆ Ein Server, der eine SIP Anfrage annimmt und die Adresse auf keine, eine oder mehrere neue Adressen abbildet und diese an den Client zurücksendet
- ◆ Anders als ein Proxy Server, initiiert der Redirect Server keine eigenen Requests
- ◆ Anders als ein User Agent Server, kann der Redirect Server keine Anrufe annehmen oder beenden.

Registrar Server

- ◆ Ein Server, der REGISTER Anforderungen empfängt
- ◆ Ein Registrar Server kann eine Authentifizierung verlangen
- ◆ Ein Registrar Server ist typischerweise co-located mit einem Proxy oder einem Redirect Server



SIP Nachrichten – Methoden und Antworten

-SIP Methods:

- INVITE – Initiates a call by inviting user to participate in session.
- ACK - Confirms that the client has received a final response to an INVITE request.
- BYE - Indicates termination of the call.
- CANCEL - Cancels a pending request.
- REGISTER – Registers the user agent.
- OPTIONS – Used to query the capabilities of a server.
- INFO – Used to carry out-of-bound information, such as DTMF digits.

- SIP Responses:

- 1xx - Informational Messages.
- 2xx - Successful Responses.
- 3xx - Redirection Responses.
- 4xx - Request Failure Responses.
- 5xx - Server Failure Responses.
- 6xx - Global Failures Responses.

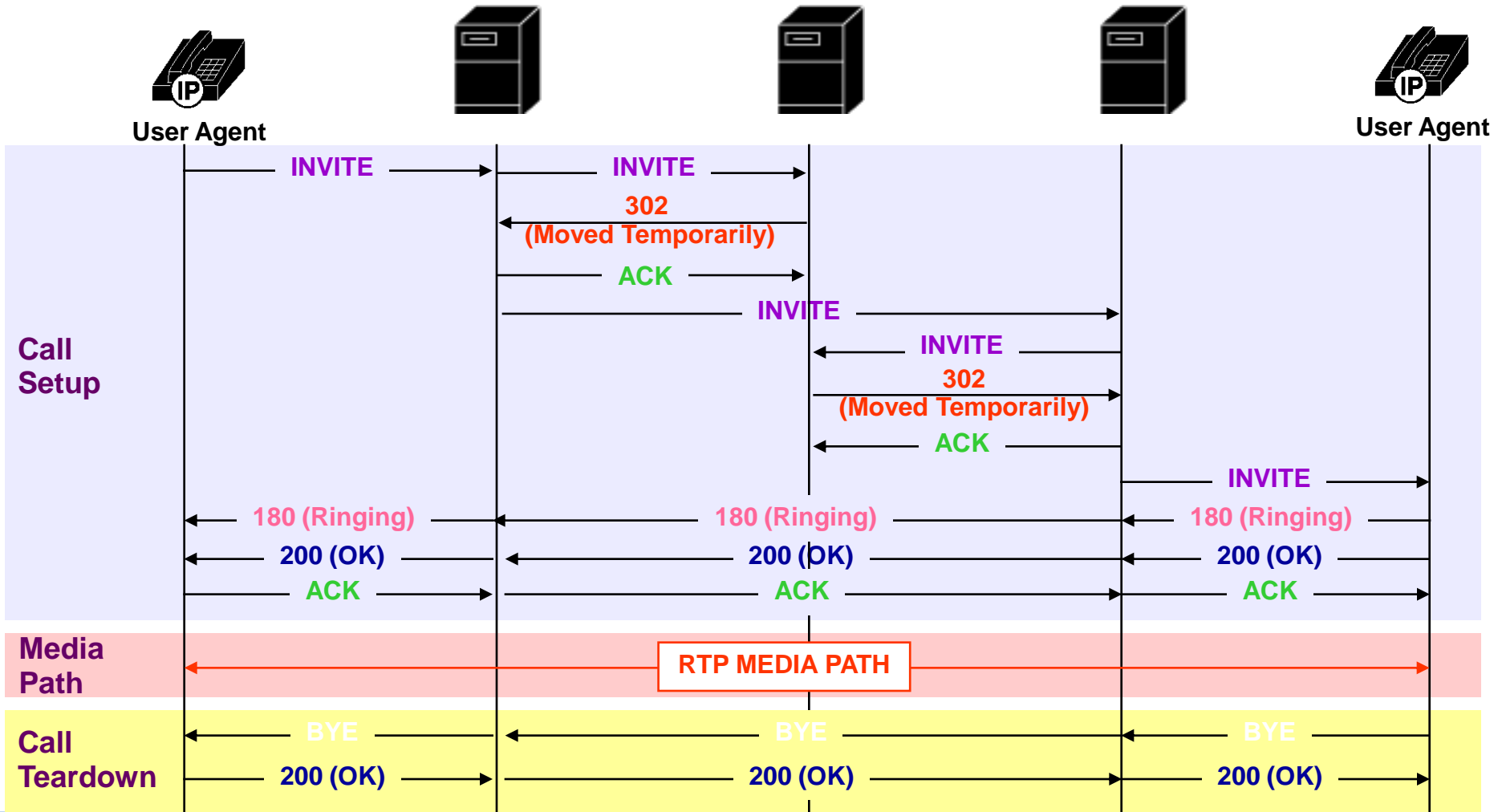
SIP Headers

- Ähnliche Syntax und Semantik zu HTTP
- Beispiel

SIP Header

```
INVITE sip:5120@192.168.36.180 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 192.168.6.21:5060
From: sip:5121@192.168.6.21
To: <sip:5120@192.168.36.180>
Call-ID: c2943000-e0563-2a1ce-2e323931@192.168.6.21
CSeq: 100 INVITE
Expires: 180
User-Agent: Cisco IP Phone/ Rev. 1/ SIP enabled
Accept: application/sdp
Contact: sip:5121@192.168.6.21:5060
Content-Type: application/sdp
```

SIP: Auf- und Abbau einer Verbindung



Typisches Problem bei der SIP/VoIP-Telefonie (zu Hause)

◆ NAT und Firewalls

- SIP Nachrichten enthalten IP-Adressen im Datenteil
 - Interne Adressen sind von außen nicht sichtbar
 - RTP benutzt keine festen Layer 4 Portnummern
 - Variabel im Bereich von 1024 – 65534
- A ruft B an, B bekommt SIP-Nachrichten von A, aber nicht umgekehrt
- RTP wird gar nicht zugestellt ☹

◆ Das Problem kann mittels SIP/RTP-Proxy auf dem NAT-Router behoben werden

- Der Proxy korrigiert die SIP-Pakete, und leitet die RTP-Pakete über sich selbst zum jeweiligen Gesprächspartner