
Echtzeit–Videoverarbeitung

Synchronisation

Marcus Barkowsky

Überblick

Grundlagen für Synchronität

- Repräsentation von Zeit und Datum
- Genauigkeit
- Kalibrierbarkeit

Synchronisation im Netzwerk

- Network Time Protocol

Systeme

- Hardware gekoppelt
- Software synchronisiert
- Nomenklatur in MPEG-4

Datum und Uhrzeit

Gregorianischer Kalender (1582)

- 1 Jahr hat 365,2422 Tage
- Einführung von Schaltjahren mit 366 Tagen:
 - alle ganzzahlig durch 4 teilbaren Jahren mit Ausnahme der Jahrhunderte
 - alle durch 400 teilbaren Jahrhunderte

Universal Time (UT)

- Beobachtung kosmischer Zyklen (z.B. Sonnenstand)
- Festgelegt vom International Bureau of Weights and Measures (IBWM)

Zeitmessung

1 Sekunde: 9 192 631 770 Übergänge im Hyperfeinniveau des
(nicht radioaktiven) Cäsium-133

International Atomic Time (TAI)

- internationale Referenzzeit
- Beteiligung von 200 Atomuhren (im Jahr 2000) weltweit
- koordiniert vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

Universal Time Code (UTC)

- Ist an TAI gekoppelt (Sekundentakt)
- Differenz zu UT durch kosmische Abweichung wird durch Einfügen/Überspringen von Sekunden geregelt:
Falls akkumulierte Differenz $> 0,7$ Sekunden
→ Am letzten Tag des Juni/Dezember wird eine Sekunde eingefügt (59-60-0) oder gelöscht (58-0)

Bisherige Einfügung von Sekunden in UTC

1961 JAN	1	1976 JAN	1
1961 AUG	1	1977 JAN	1
1962 JAN	1	1978 JAN	1
1963 NOV	1	1979 JAN	1
1964 JAN	1	1980 JAN	1
1964 APR	1	1981 JUL	1
1964 SEP	1	1982 JUL	1
1965 JAN	1	1983 JUL	1
1965 MAR	1	1985 JUL	1
1965 JUL	1	1988 JAN	1
1965 SEP	1	1990 JAN	1
1966 JAN	1	1991 JAN	1
1968 FEB	1	1992 JUL	1
1972 JAN	1	1993 JUL	1
1972 JUL	1	1994 JUL	1
1973 JAN	1	1996 JAN	1
1974 JAN	1	1997 JUL	1
1975 JAN	1	1999 JAN	1

Präzision der Zeitmessung

Ungenauigkeiten in der Zeitmessung real existierender Systeme

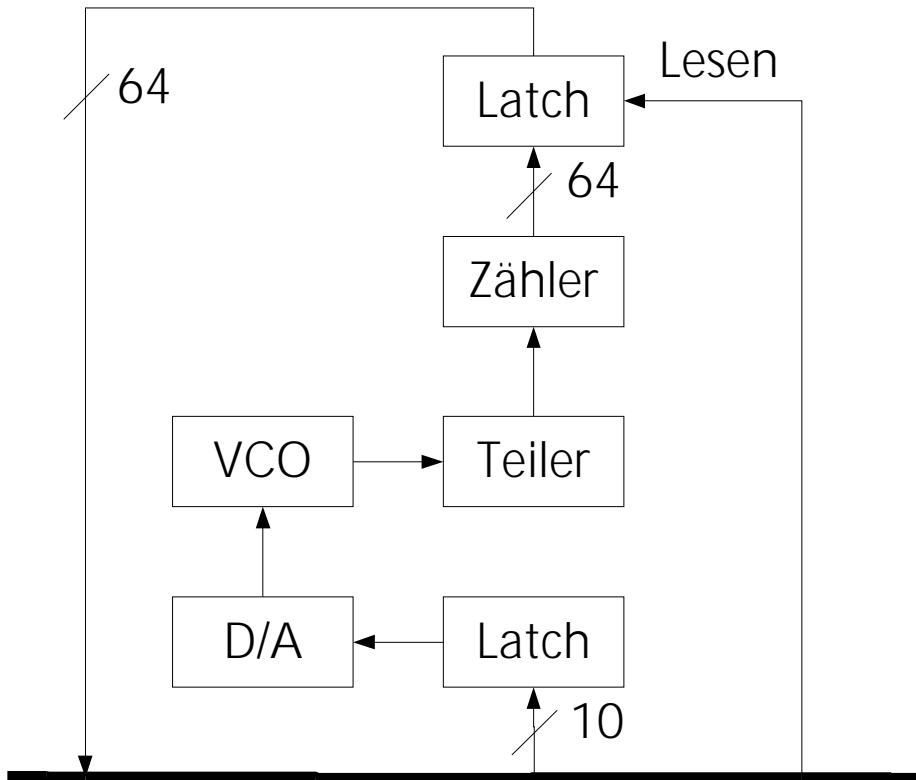
- Zeitoffset
- Frequenzoffset
- Langzeitstabilität, Drift
- Jitter

Oszillator Typ	Maximaler Jitter pro Tag	Maximaler Frequenzoffset
Hydrogen Maser	2×10^{-14}	1×10^{-12} /Jahr
Cäsium Beam	3×10^{-13}	3×10^{-12} /Jahr
Rubidium Gaszelle	5×10^{-12}	3×10^{-11} /Monat
Geheizter Quarz	1×10^{-9}	1×10^{-10} /Tag
Digital kompensierter Quarz	5×10^{-8}	1×10^{-9} /Tag
Temperatur kompensierter Quarz	5×10^{-7}	3×10^{-9} /Tag
Standard Quarz	$\sim 1 \times 10^{-6}$ pro Grad C	beliebig

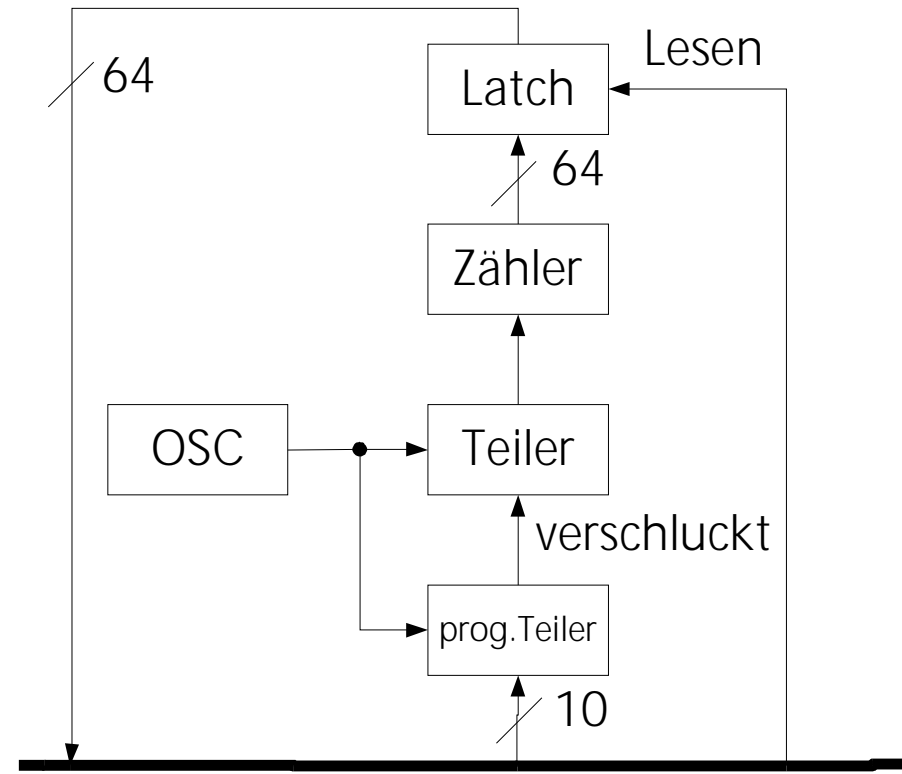
Möglichkeiten der Offset-Justage:

- Zeitsprung
- Änderung der Frequenz

Hardwareimplementierung justierbarer Uhren



I/O Bus



I/O Bus

Softwareimplementierung justierbarer Uhren

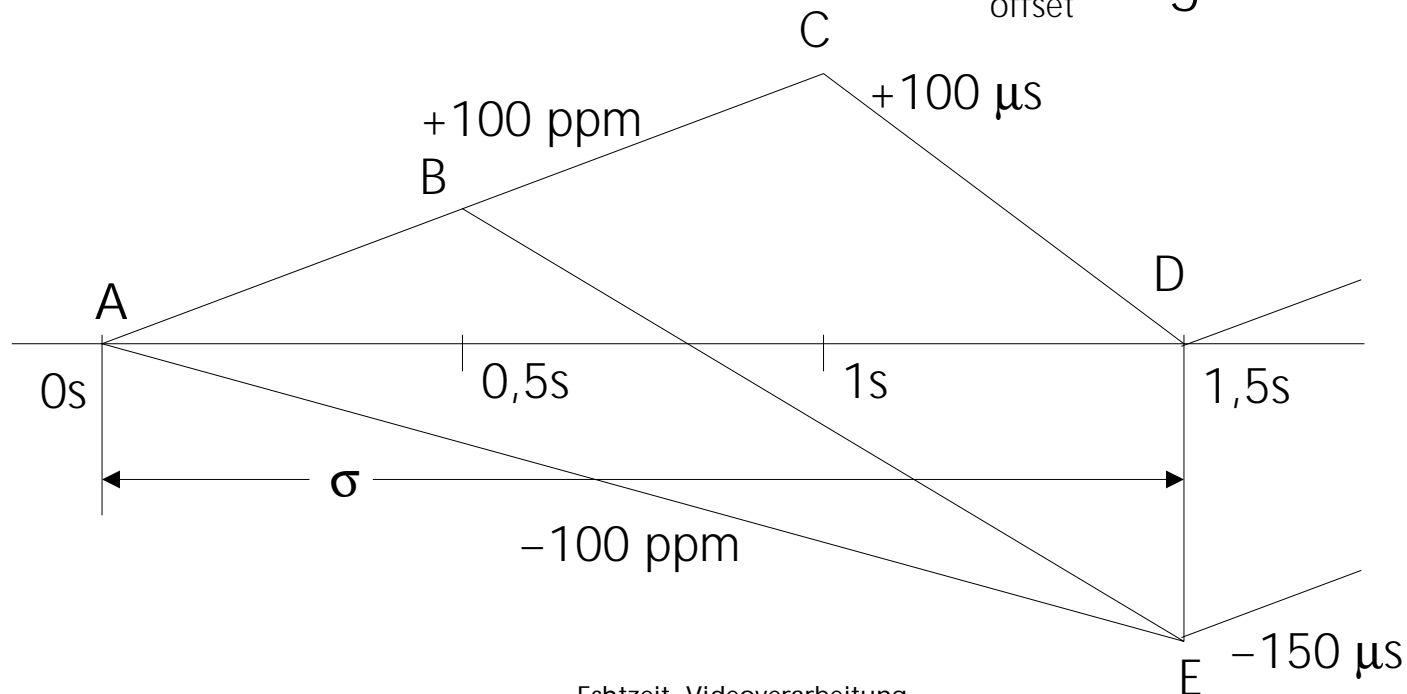
Das Unix Clock Modell:

3 verschiedene Frequenzen: $f_{\text{basis}} - f_{\text{offset}}$; f_{basis} ; $f_{\text{basis}} + f_{\text{offset}}$

Zeitintervall für die Justierung:

$$\Delta t = \delta \frac{f_{\text{basis}}}{f_{\text{offset}}}$$

Während dieser Zeit läuft die Uhr um f_{offset} langsamer/schneller



Network Time Protocol (NTP)

Standards:

- RFC 958 (September 1985, 14 Seiten)
- RFC 1059 (Version 1, Juli 1988, 58 Seiten)
- RFC 1119 (Version 2, September 1989, 61 Seiten)
- RFC 1305 (Version 3, März 1992, 109 Seiten)

Aufgabe:

- Synchronisation der Zeitmessung in vernetzten Umgebungen

Aufbau:

- Selbstorganisierendes hierarchisches Modell
- Übertragung von Zeitmarken mit 64 Bit
(Sekunden mit Festkomma bei Bit 32)
- Signalisierung von Überlaufsekunden möglich
- Unanfällig gegen Übertragungsstörung und -ausfall

Zeitreferenz

International verfügbare Zeitreferenzen:

- Atom-Uhren
- Very-Low-Frequency Freiraumübertragungen
- LORAN-C Rundfunk-Navigationssystem
- GOES (Geosynchronous Orbit Environmental Satellites)
Ultra-High-Frequency Satelliten-System
- GPS Satelliten System

Nationale Zeitreferenzen, z.B.

- MSF 60kHz System, Standort Rugby
- DCF77 77.5kHz System, Standort Mainflingen

Gliederung des hierarchischen NTP-Modells

Idee: Nachvollziehbarkeit der Präzision der Zeit mittels Stratum-Wert

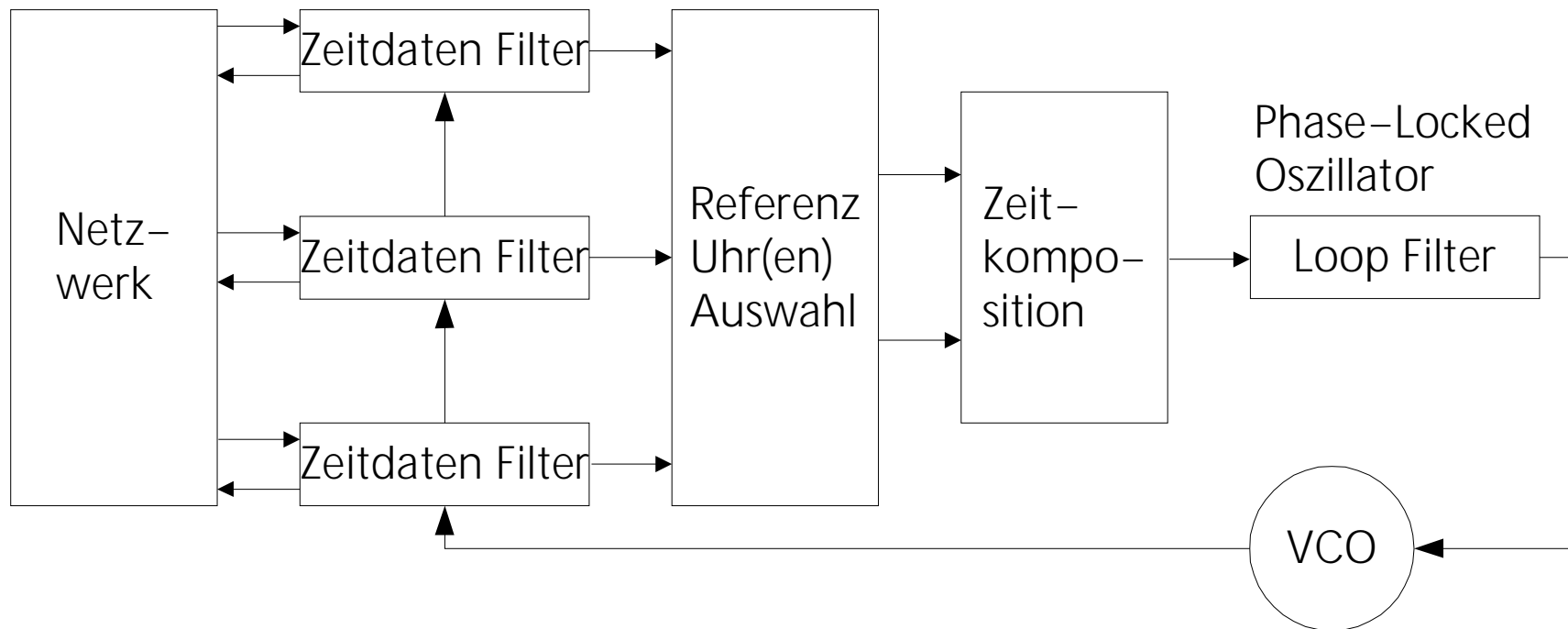
- Teilnehmer mit Referenz-Zeit (z.B. Atom-Uhr) erhalten Stratum 1
- Auf diesen Teilnehmer synchronisierende Einheiten gleichen sich auch untereinander ab und setzen Stratum=2
- Alle weiter untergeordneten Einheiten setzen ihren Stratum-Wert um 1 geringer als derjenige Teilnehmer, auf den sie synchronisieren
- Optional: Auch untergeordnete Teilnehmer mit gleichem Stratum können sich untereinander synchronisieren

NTP-Modi

Jeder Teilnehmer unterhält i.a. mehrere Verbindungen zu anderen
Für jede dieser Verbindungen wird ein Modus gewählt:

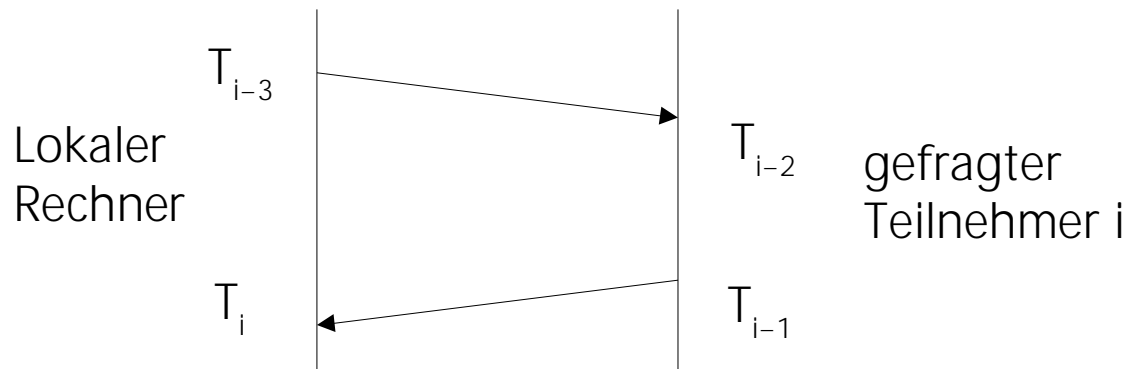
- Symmetrisch aktiv: Aussendung von periodischen Anfragen, teilt eigene Zeit zur Synchronisation mit und stellt eigene Zeit nach
- Symmetrisch passiv: Wie oben, jedoch keine eigene Transmission
- Client: Stellt Anfragen an anderen Teilnehmer, stellt eigene Zeit nach, empfiehlt aber nicht eigene Zeit als Referenz
- Server: Antwort auf Client, stellt eigene Zeit nicht nach
- Broadcast: Wie Server, jedoch für alle Teilnehmer

Strukturablaufplan



Abfrage der Zeitinformation

Für Teilnehmer i:



Laufzeit: $\delta_i = (T_i - T_{i-3}) - (T_{i-1} - T_{i-2})$

Zeitoffset: $\theta_i = \frac{(T_{i-2} - T_{i-3}) + (T_{i-1} - T_i)}{2}$

Streuung: $\epsilon_i = (\text{sys. precision}) + \phi (T_i - T_{i-3})$ mit: $\phi = \frac{\text{Maximaler Frequenzoffset}}{\text{Minimale Frequenz}}$

Distanz: $\lambda_i = \epsilon_i + \frac{\delta_i}{2}$

Frequenzoffset Korrekturterm

Abfrage der Zeitinformation

Datenpaket enthält:

- Die vier Zeitmarken der vorherigen Seite
- Informationen zum Status des angesprochenen Teilnehmers:
 - Antwort-Modus
 - Stratum
 - Präzision der eigenen Uhr
 - IP-Adresse desjenigen, der die Uhr synchronisiert
 - Optional: Authentifizierung
- Hinweise zur Verbindung zum Referenz-Teilnehmer (Stratum 1)
 - Verzögerung der Datenpakete
 - Streuung, bzw. Ungenauigkeit

Ungenauigkeiten

Berücksichtigt werden müssen:

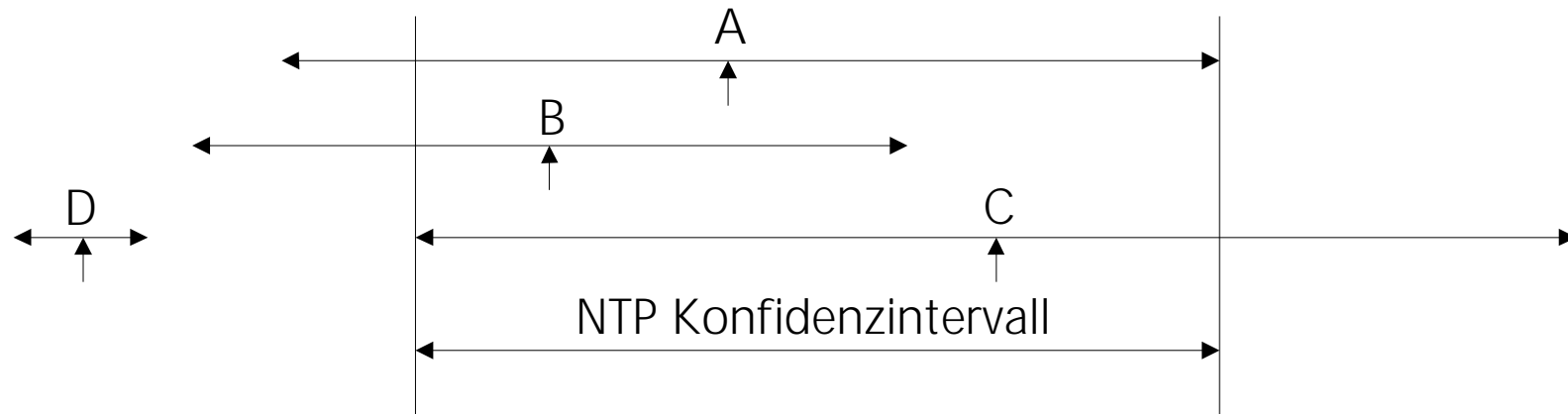
- Auslesen der lokalen Uhr (Zeitpunkt, Auflösung)
- Zeitdifferenz zwischen Auslesen und Übertragung
- Länge des Übertragungsweges
- Auswirkung des (unbestimmten) Frequenzoffsets der lokalen Uhr auf die Zeitdifferenz zwischen Versand der Anfrage und Empfang der Antwort
- Abstand des angesprochenen Teilnehmers von der Referenzquelle

Verarbeitung der eingegangenen Daten

Aus den letzten 4 Meßwerte des Teilnehmer i (bestehend aus je Laufzeit, Offset und Streuung, Distanz) suche denjenigen mit der geringsten Distanz

Berechne die Varianz der Streuung der übrigen 3 Meßwerte relativ zu diesem Meßwert

Wähle den oder die neuen Referenzteilnehmer:



Berechne eine gemeinsame Uhrzeit unter Berücksichtigung von Stratum und Distanz des jeweiligen Teilnehmers

Justiere lokale Uhrzeit mit einer Software-PLL 2.Ordnung

Übertragungssysteme

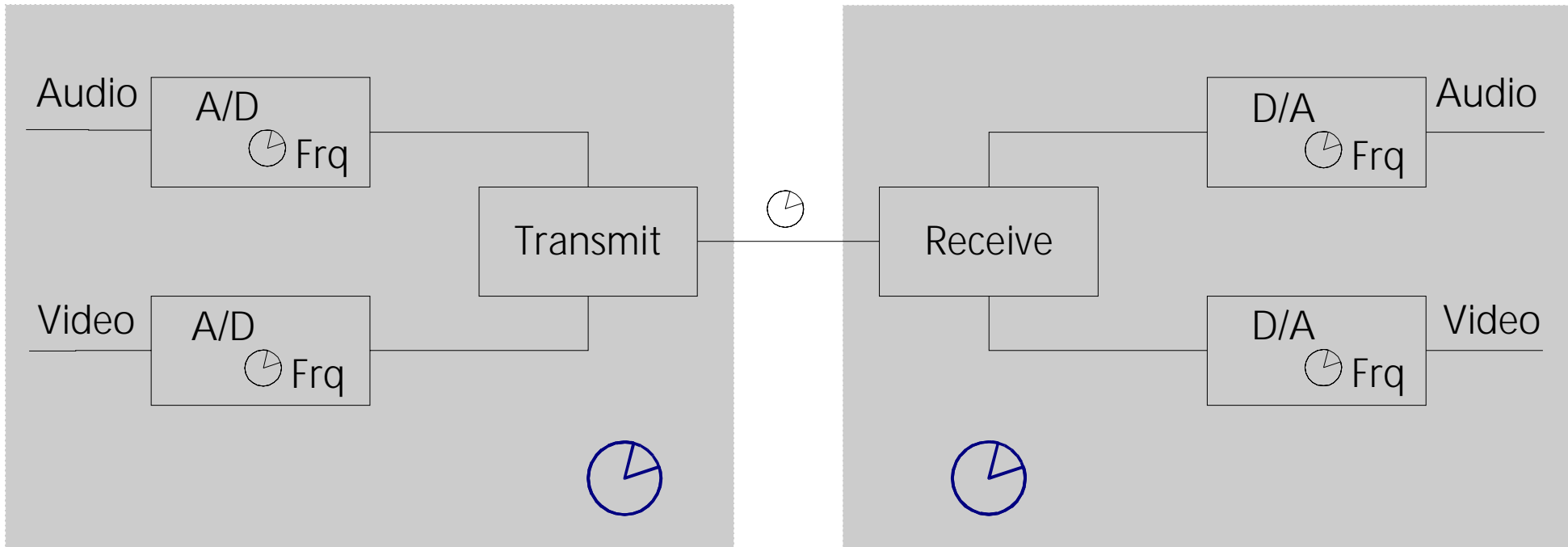
Allgemeines AV-System

Starr-gekoppeltes System

Software synchronisiertes System

MPEG-4 Protokoll zur Synchronisation

Allgemeines AV-Übertragungssystem



Starr gekoppeltes Übertragungssystem

- Übertragungstakt bestimmt Frequenzen der A/D und D/A Umsetzer
- Nur bei dedizierter Hardware-Lösung für Sender und Empfänger erreichbar
- Unproblematische Implementierung
- Zeitoffset-Ausgleich der Sender- und Empfängeruhren nicht notwendig

Beispiel: Worldspace

Systemkonfiguration:

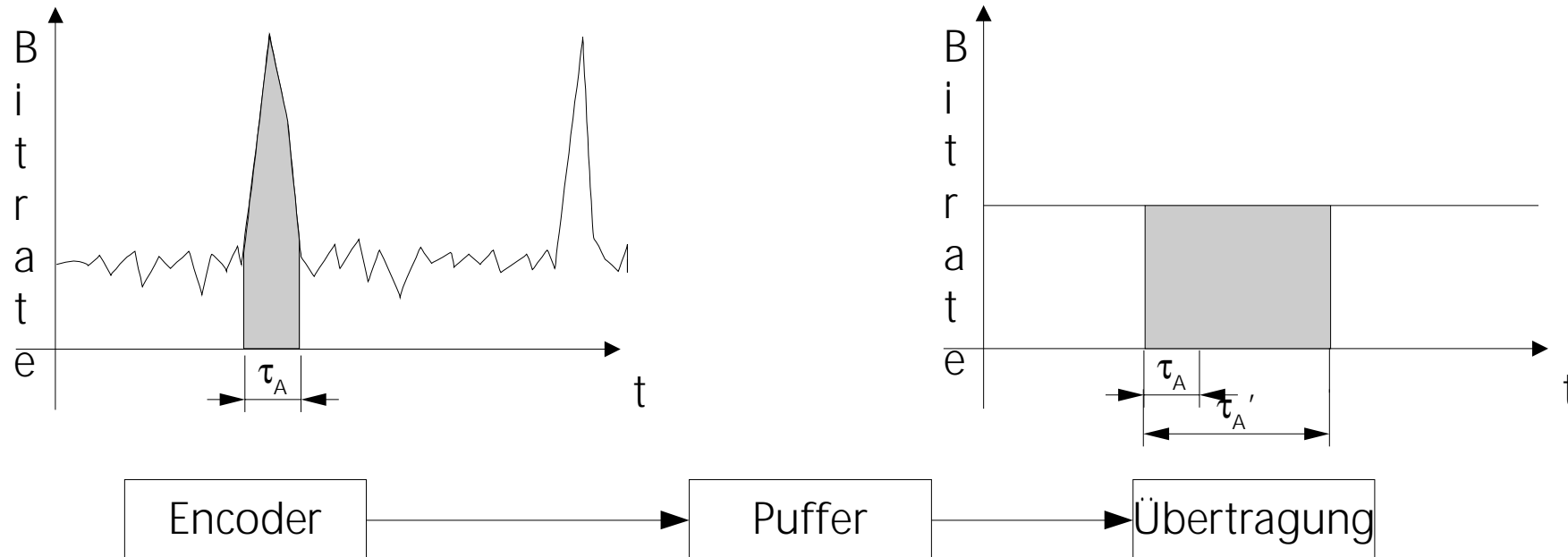
- 3 geostationäre Satelliten (Afristar, Asiastar, Ameristar)
 - Regenerative Satelliten (Verarbeitung des Signals im Satelliten)
 - Verteilte Uplink–Stationen (u.a. Toulouse, Johannesburg, Erlangen)
 - Downlink im L–Band → tragbare Empfänger möglich
- Pro Beam:
 - 96 Kanäle a 16kBit/s Nutzdatenrate
 - Gruppierung von 1–8 Kanälen (16–128kBit/s) in einem Service
 - Aufteilung des Service in Service–Komponenten mit 8kBit/s Schrittweite möglich
- Anwendungen:
 - Radioprogramme mit MPEG–2.5 Layer–3 codiert
 - Standbilder
 - Download

Erweiterung des Systems um dynamische Bilder

Randbedingungen und Anforderungen

- keine Änderung am Übertragungsprotokoll
- Unabhängige Decodierbarkeit der Tonkomponente
- Verwendung des H.263 Version 2 Videostandards
- Einschaltung und Umschaltung innerhalb akzeptabler Zeit
- Fehlerrobustheit

Feste Übertragungsdatenrate bei variabler Bitrate



Pufferung bewirkt Verzögerung

Andere Betrachtungsweise: Weniger genutzte Bits in einem Zeitintervall zur Erhöhung der Qualität in einem anderen Zeitintervall verwenden (Bitsparkasse)

Keine implizite Zuordnung zwischen Empfangs- und Anzeigepunkt möglich → Übertragung von Zeitmarken erforderlich

J.52 Zeitmarken

Frequenz: 90kHz

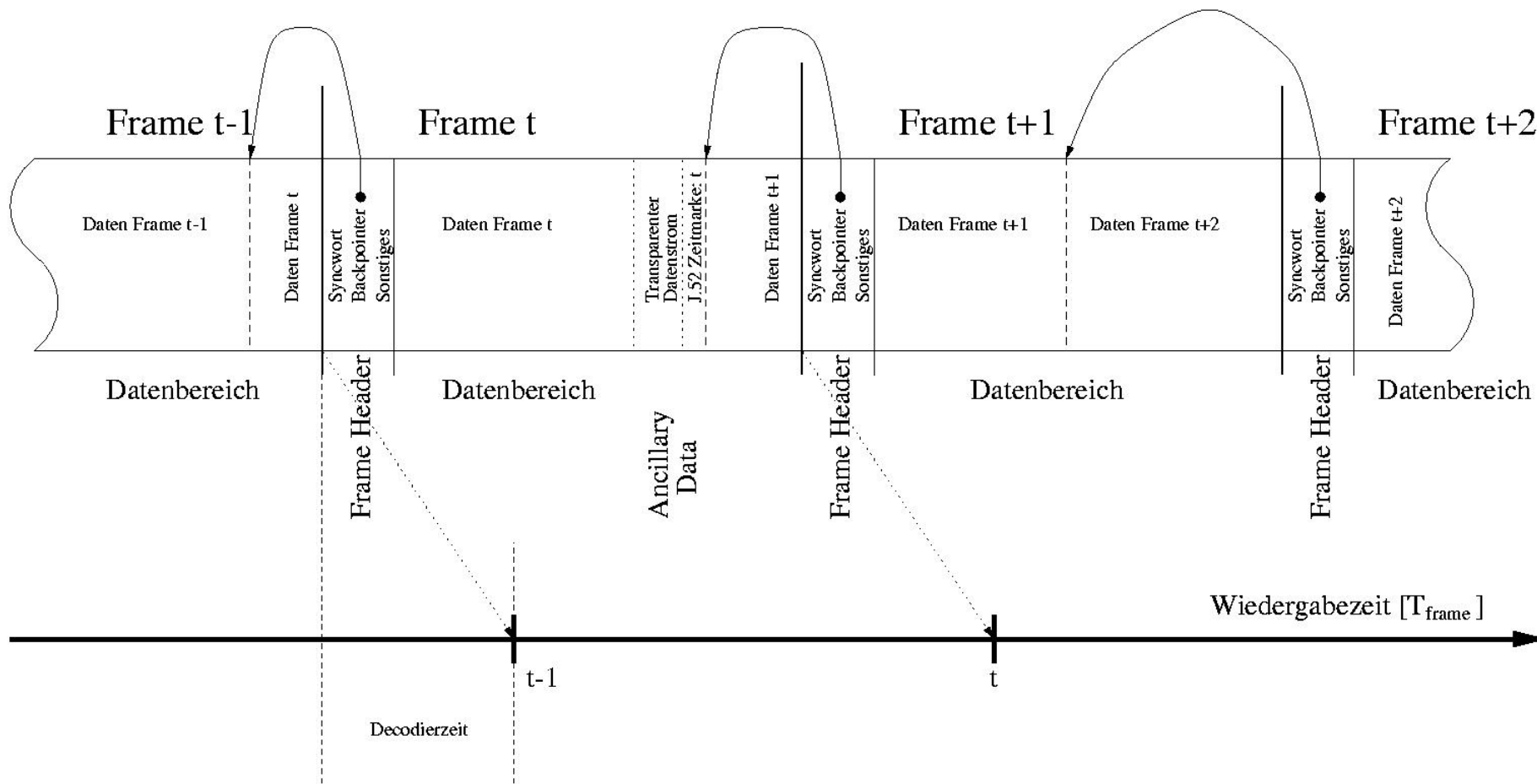
Datenbreite: 33Bit

→ Eindeutigkeitsbereich: 26,51 Stunden
Vereinbarung: Reset um 0⁰⁰

Beispiele für J.52 Zeitintervalle

Anwendung	Zeitintervall [s]	Anzahl Takzyklen des J.52 Zählers
Bildwiederholfrequenz PAL	1 / 50	1800
Bildwiederholfrequenz NTSC	1 / 29.79	3003
Bildwiederholfrequenz Film	1 / 24	3750
VGA-Monitor	1 / 60	1500
MPEG 2.5 Layer 3 Framedauer (48kHz)	0.024	2160
H.263 Frametakt	0.040	3600
Worldstar Broadcastchannelframe	0.432	38880

Aufbau des Audio-Datenstroms



Rückwärtskompatible Ergänzung des Videokanals

Intrabilder alle 4 Sekunden

→ Kompromiß aus Einschaltzeit bzw. Resynchronisationszeit
und Bitverbrauch

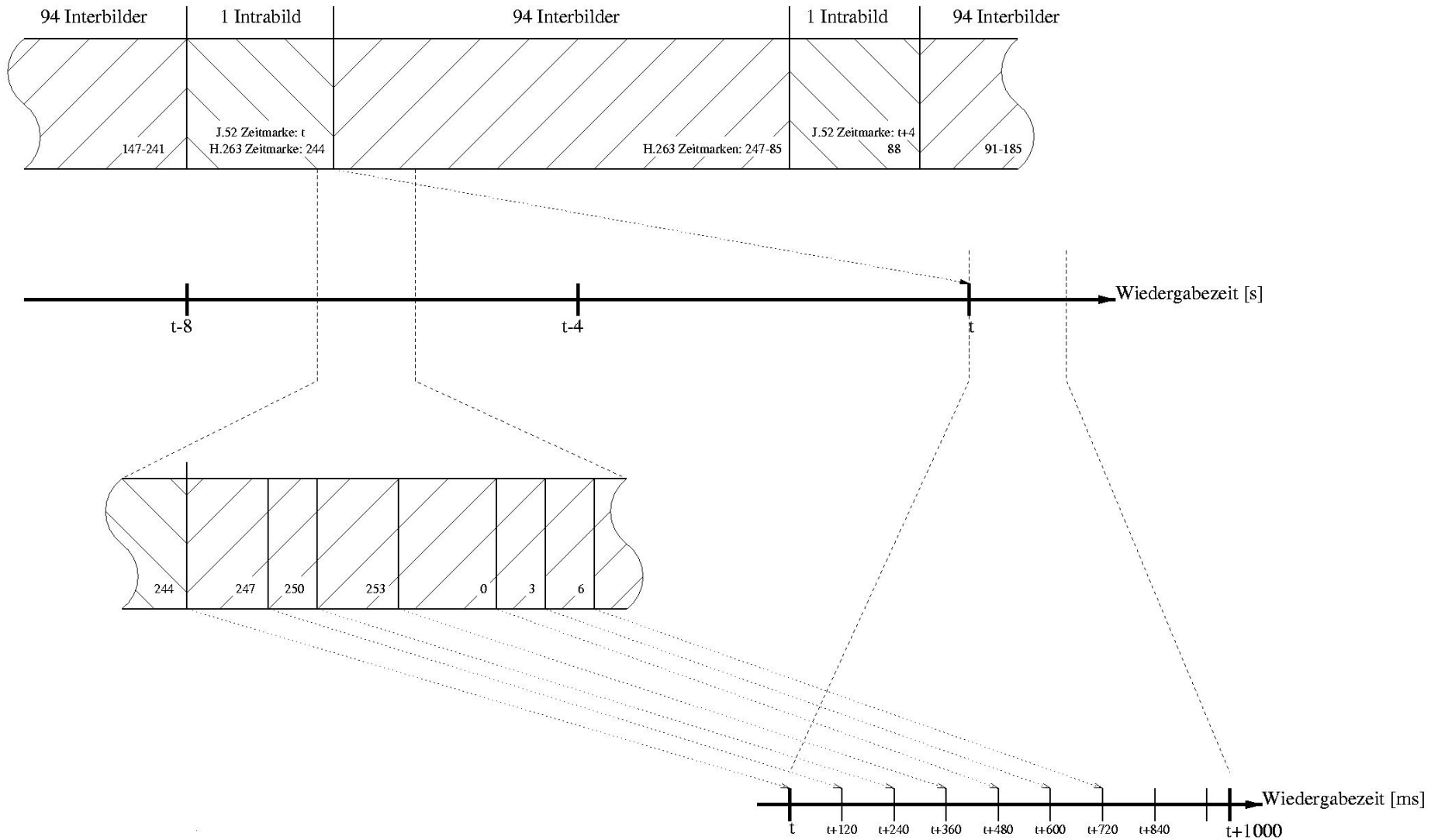
Maximale Größe der Bitsparkasse: 8 Sekunden

Vom Zeitpunkt der Wiedergabe aus:

Empfang eines Intra-Bildes innerhalb der letzten 8 Sekunden

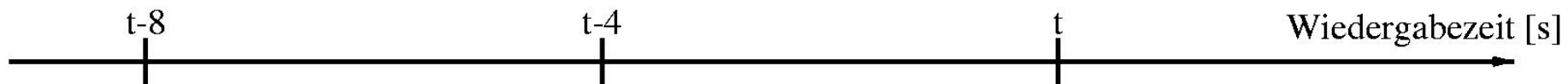
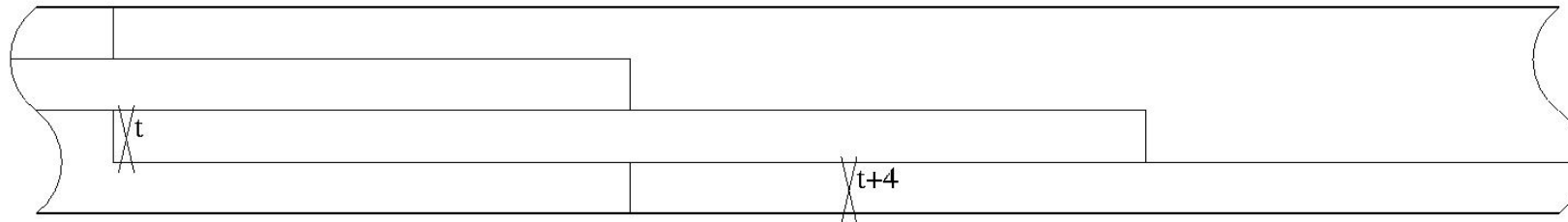
Zum Zeitpunkt der Audioübertragung muß zugehöriges Bild
empfangen worden sein

Aufbau des Video-Datenstroms

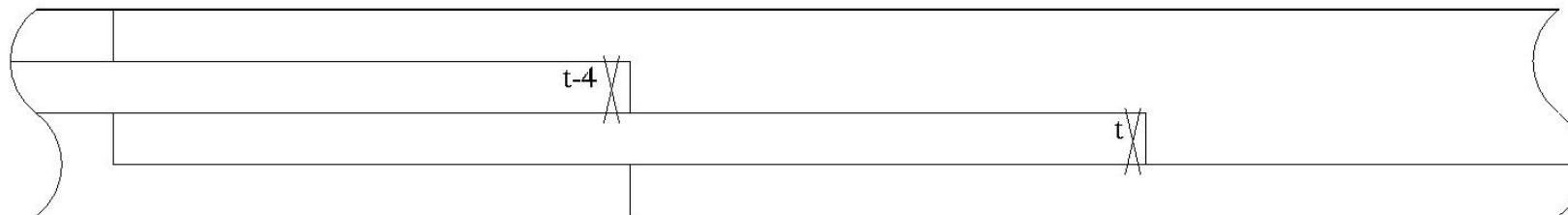


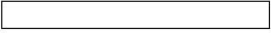

Extrema der Bitsparkasse

Maximale Verzögerung, Bitsparkasse gefüllt



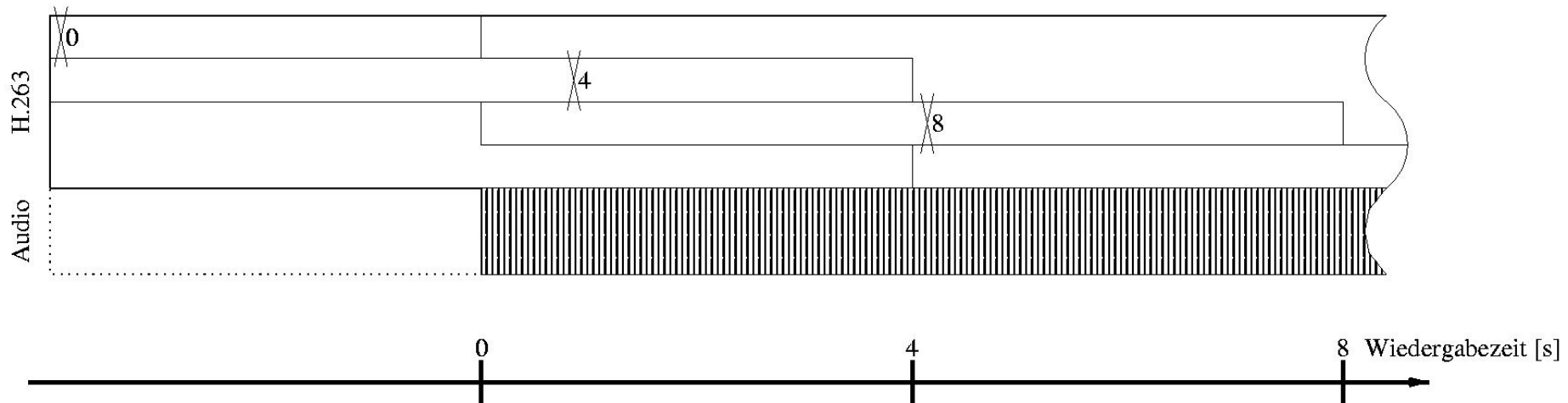
Minimale Verzögerung, Bitsparkasse leer





-  Übertragung des Intraframes muß innerhalb dieser Zeitspanne erfolgen
-  Angenommene Position des Intraframes mit Anzeigezeitpunkt
- $t-8, \dots, t$ Anzeigezeitpunkte

Einschaltvorgang

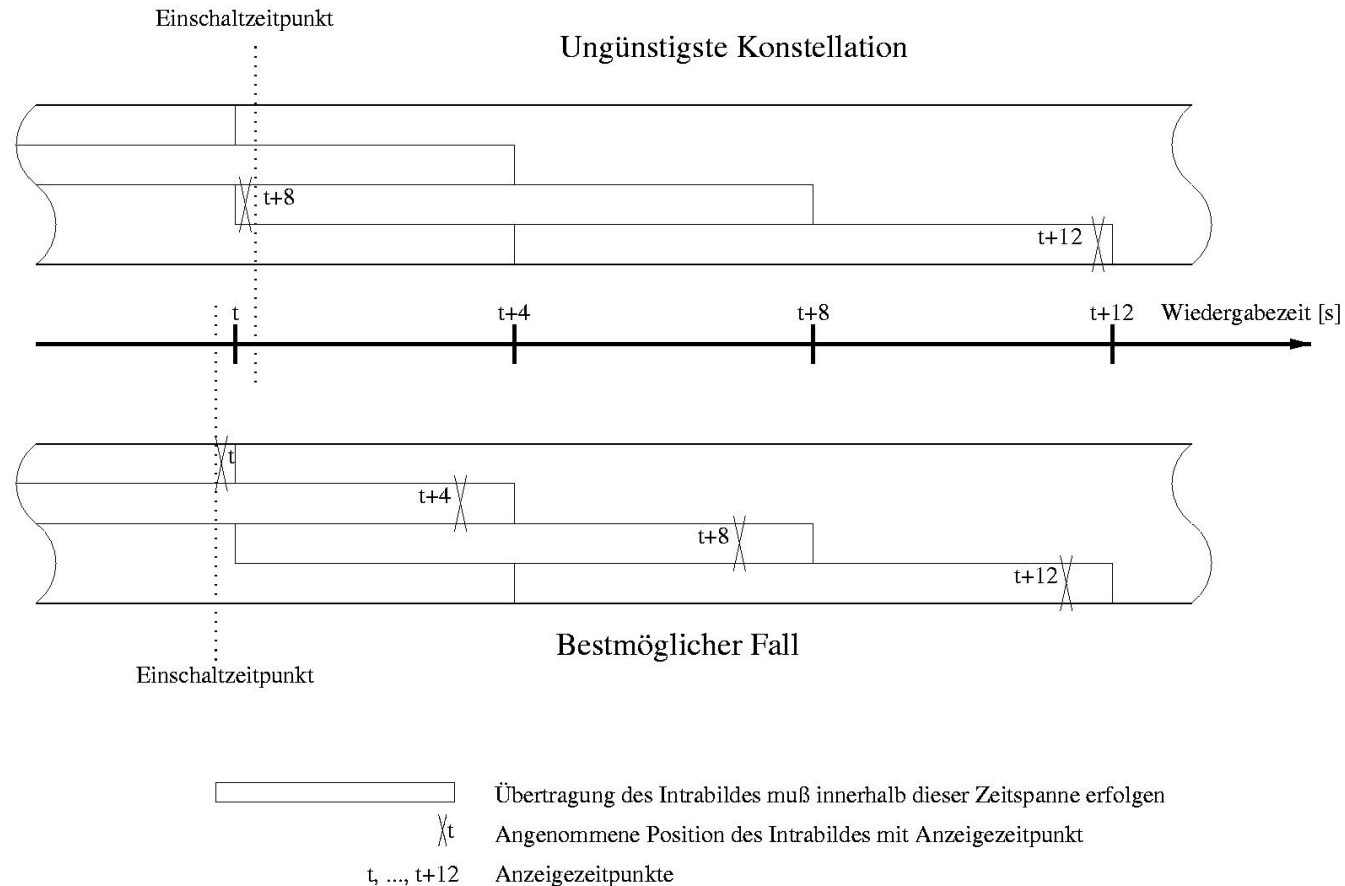
Einschalten am Sendestart (z.B. bei vorherigem Download)



-  Übertragung des Intraframes muß innerhalb dieser Zeitspanne erfolgen
- χ t Angenommene Position des Intraframes mit Anzeigezeitpunkt
- 0, ..., 8 Anzeigezeitpunkte
-  Audiodaten

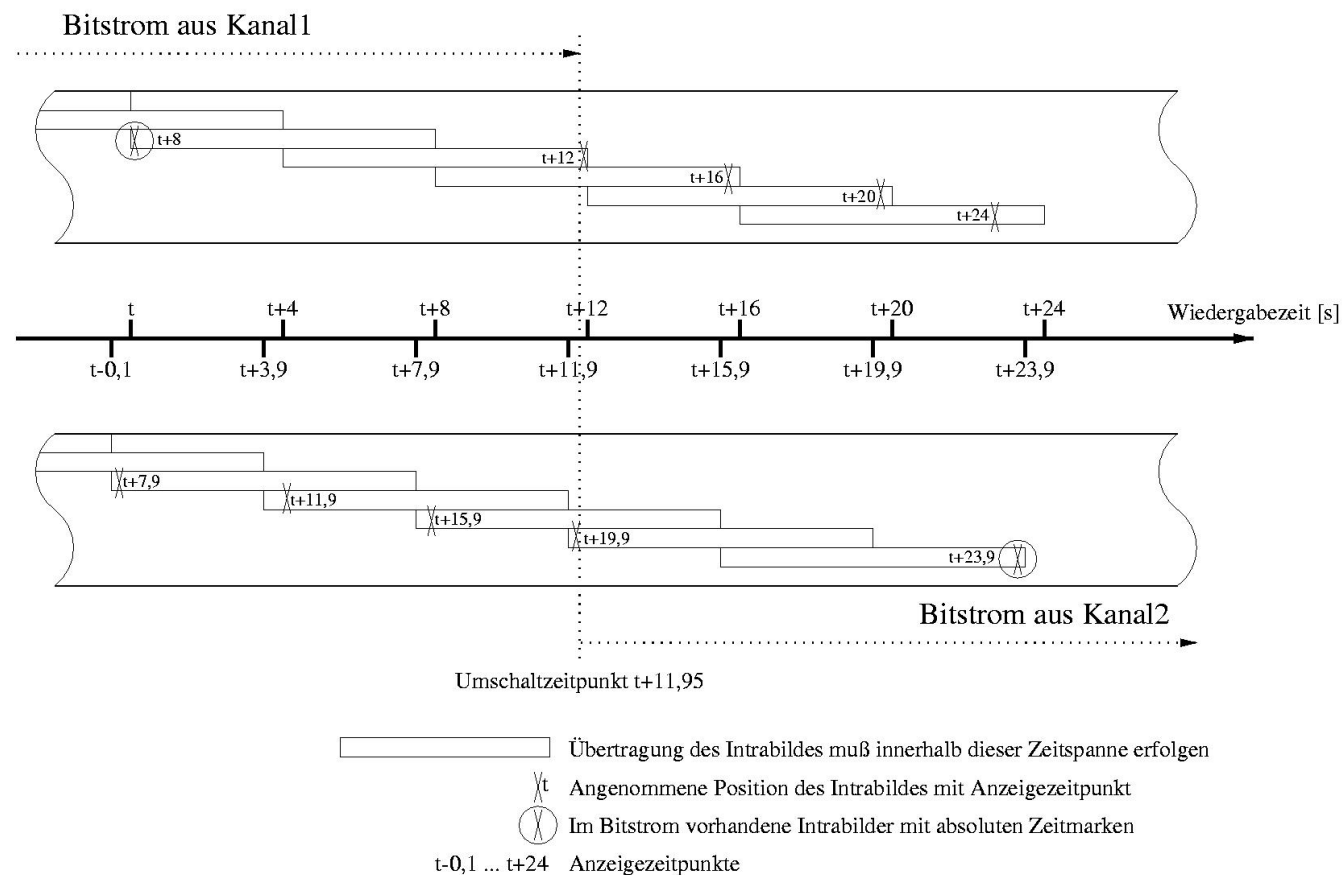
Einschaltvorgang

Einschalten in den laufenden Sendebetrieb



→ Maximal 12 Sekunden bis zur Resynchronisation

Resynchronisation nach dem Umschalten im Live-Betrieb



→ Maximal 12 Sekunden bis zur Resynchronisation
 aber: Probleme bei kurzfristiger mehrfacher Umschaltung

Übertragungsfehler

Übertragungsfehler in Zeitmarken führen i.a. zum Aussetzen der Wiedergabe für die Dauer des Eindeutigkeitsbereichs der Zeitmarke

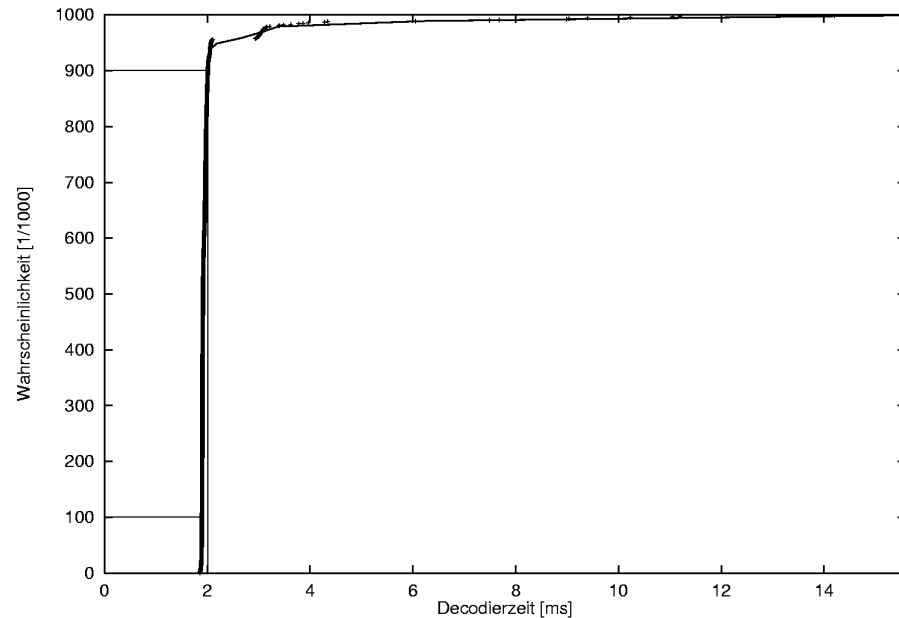
Beispiel:

H.263 Modulo Zähler (modulo 256) mit 40ms Abtastraster:

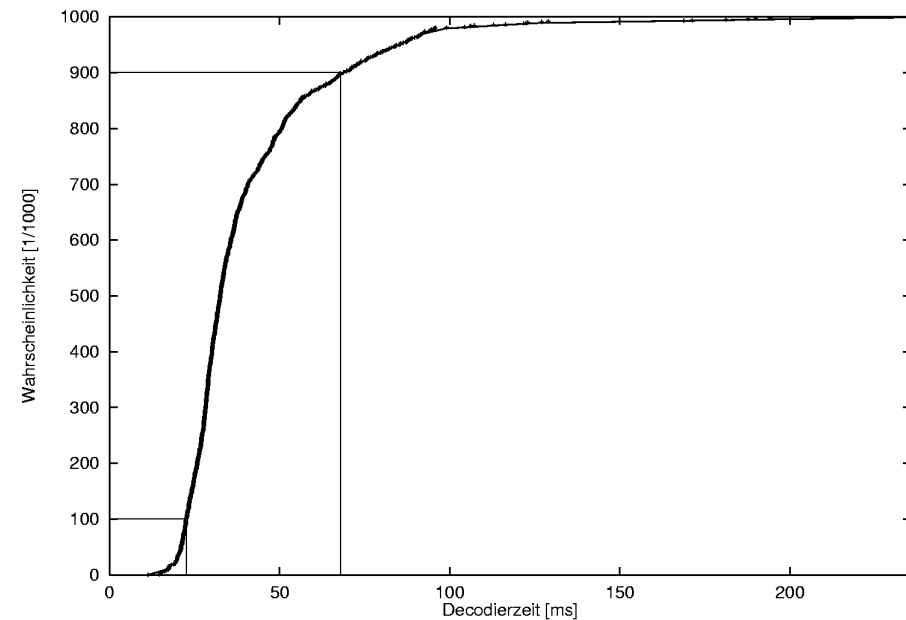
$t_1 = 128$	$\xrightarrow{\text{XOR 16}}$	$t_1 = 128$
$t_2 = 131$		$t_2 = 147$
$t_3 = 134$		$t_3 = 134$
<hr/>		
$t_2 - t_1 = 3 \hat{=} 120\text{ms}$		$t_2 - t_1 = 19 \hat{=} 760\text{ms}$
$t_3 - t_2 = 3 \hat{=} 120\text{ms}$		$t_3 - t_2 = 243 \hat{=} 9,72\text{s}$
$6 \hat{=} 240\text{ms}$		$262 \hat{=} 10,48\text{s}$

Abhilfe: Konsistenzprüfung zweier aufeinanderfolgender Zeitinformationen; Nachteil: weitere Verzögerung

Decodierzeiten



Decodierzeit für Audio



Decodierzeit für Video (CIF)

→ Video sollte über Puffer zur Speicherung des Bildes verfügen, da Mittelung der Rechenzeit über mehrere Bilder vorteilhaft

Synchronisationsmechanismus

- Start: Beide Datenströme werden unabhängig wiedergegeben
- Bei Empfang einer Zeitmarke wird bei der Wiedergabe der Startoffset zur Systemzeit gespeichert
- Nach der zweiten konsistenten Zeitmarke erfolgt die Wiedergabe zur Systemzeit + berechneter Startoffset + aktuelle Zeitmarke
- Aus den beiden Startoffsets für Audio und Video wird durch gewichtete Mittelung ein gemeinsamer Startoffset gebildet
- Der Video- und Audiostartoffset werden an den gemeinsamen Startoffset angenähert
- Bei Über- bzw. Unterschreitung der Pufferfüllstände erfolgt Angleichung des Startoffsets

Anmerkung: Für die Tonwiedergabe muß die Wiedergabe-
geschwindigkeit durch Einfügen/Löschen von Abtastwerten
erniedrigt/erhöht werden

MPEG-4 Systems

Nomenklatur:

- AccessUnit (AU): Kleinste Dateneinheit, der eine Zeitinformation zugeordnet werden kann. Wird decodiert zu einer oder mehreren Composition Units
- CompositionUnit (CU): Zur Wiedergabe durch den Renderer vorgesehener Informationsblock



MPEG-4 Zeitmarken

Idee: Regeneration der Sender-Uhr im Empfänger

Nomenklatur:

- Object Time Base (OTB): Sender Objekt-Uhr, Zuordnung kann zu jedem Objektstrom (z.B. Audiostrom) getrennt erfolgen
- Object Clock Reference (OCR): Zum Zeitpunkt der Bitstrom-generierung aktuelle Zeit dieser Objekt-Uhr (OTB)
- Composition Time Stamp (CTS): Zeitpunkt, zu dem die AU zur CU decodiert werden soll und dann dem Compositor zur Verfügung steht. Relativ zur Objekt-Uhr (OTB)
- Decoding Time Stamp (DTS): Optionale Angabe, wann die Decodierung gestartet werden kann

Anmerkung: Falls die Decodierung nicht ohne Zeitverlust erfolgt, muß ein entsprechender zusätzlicher Speicherbereich vorgesehen werden.

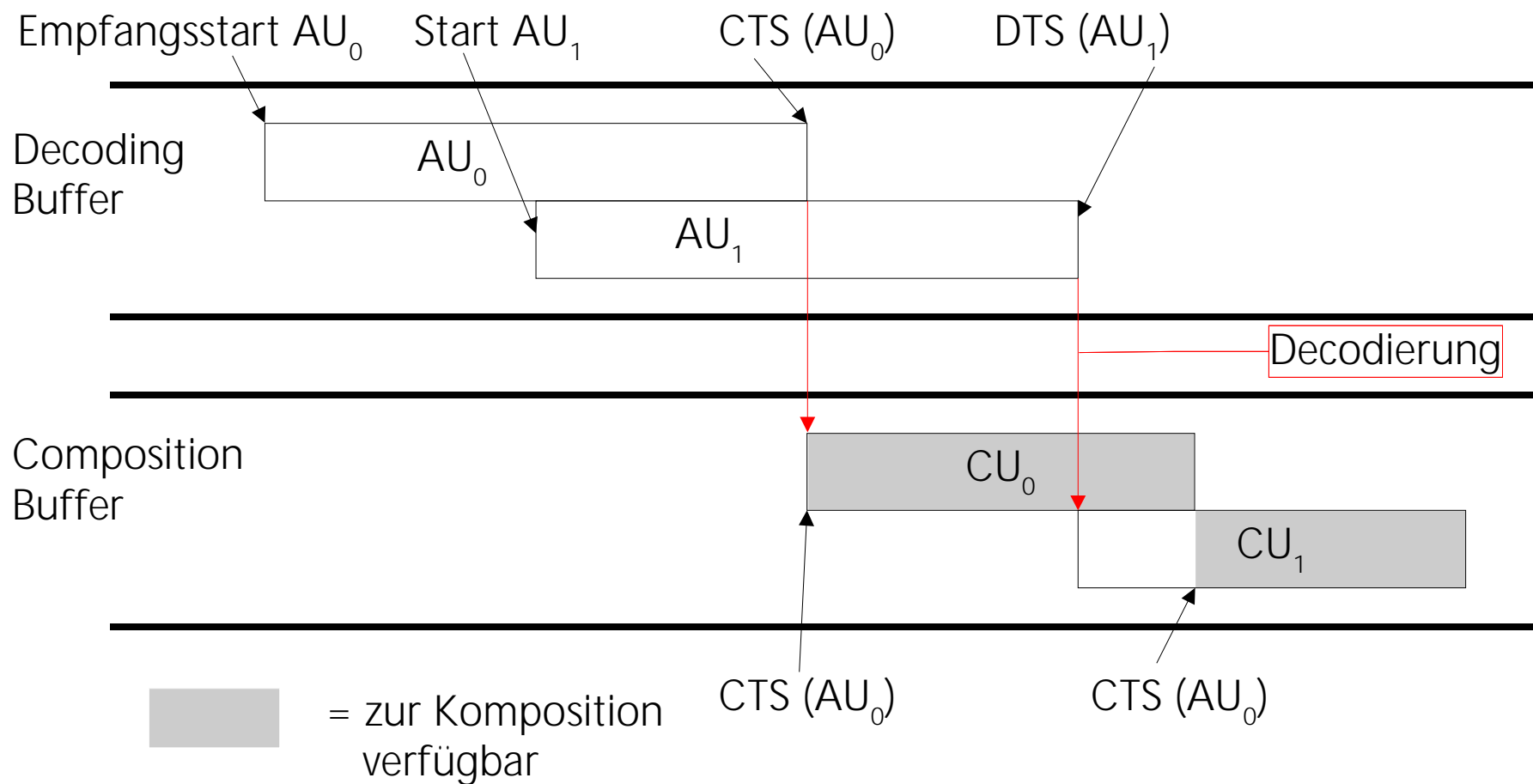
MPEG-4 Pufferverwaltung

Verwaltung des Decoder-Puffers durch den Encoder
Größe wird durch explizite Übertragung oder implizit durch Wahl
des Profiles festgelegt

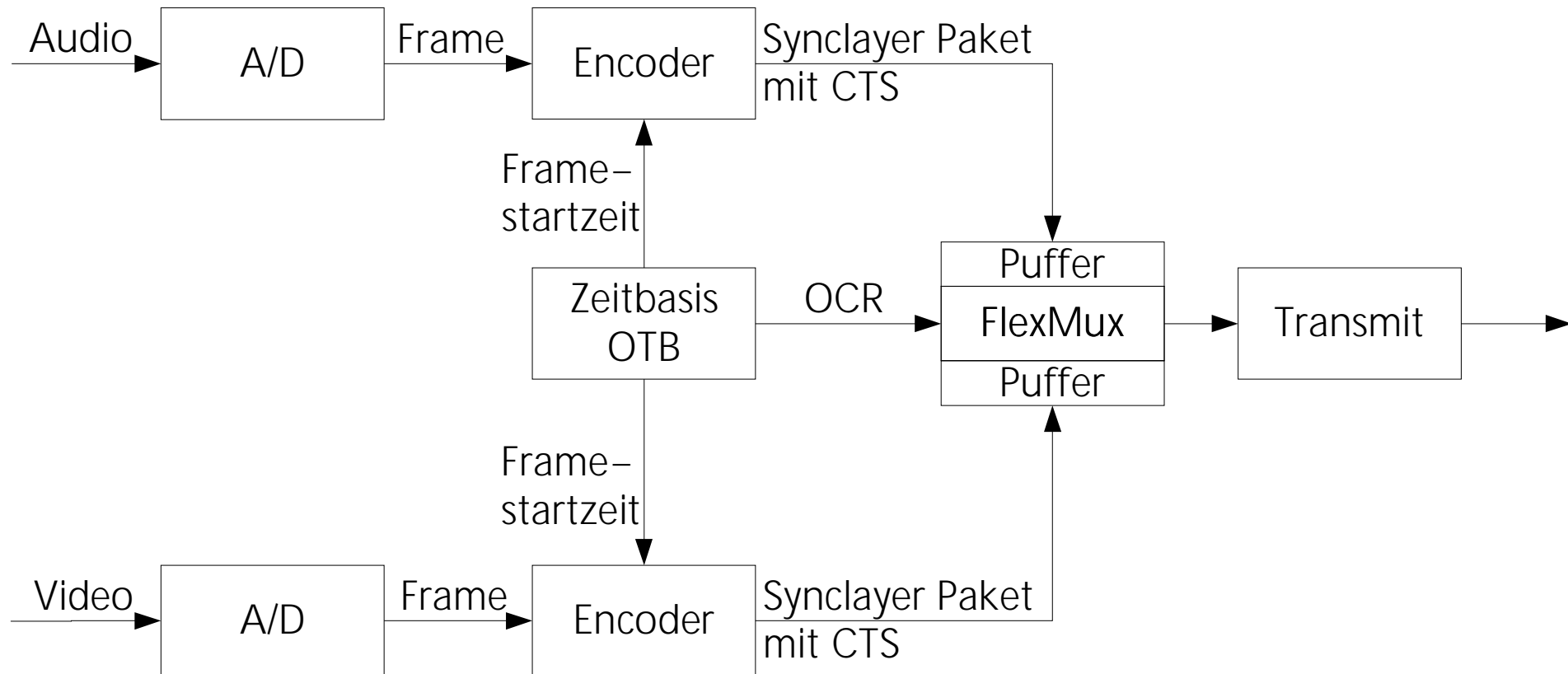
Die Eingangsdaten einer AU müssen zum Zeitpunkt der CTS aus
dem Decoder-Puffer entfernt werden

Eine CU steht dem Compositor von ihrer eigenen CTS
bis zur CTS der nächsten CU zur Verfügung

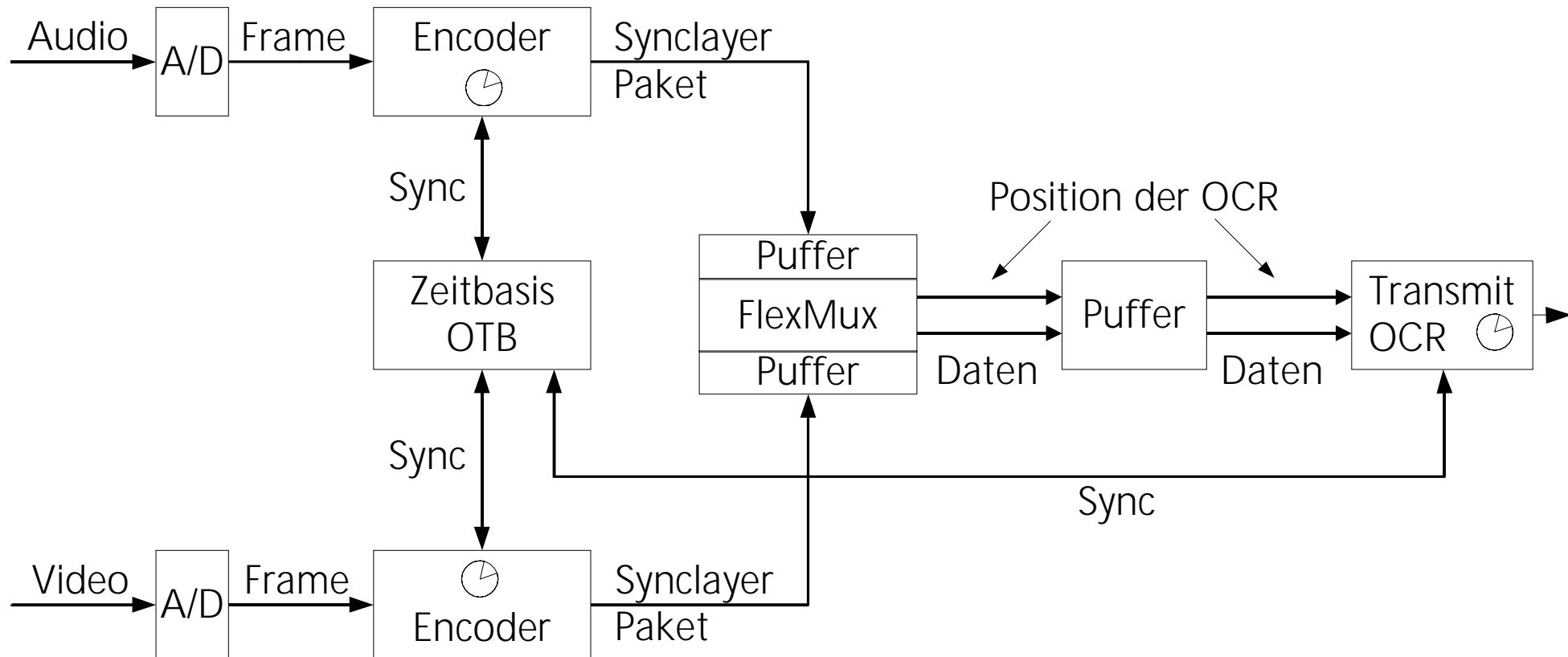
MPEG-4 Zeit- und Pufferverwaltung



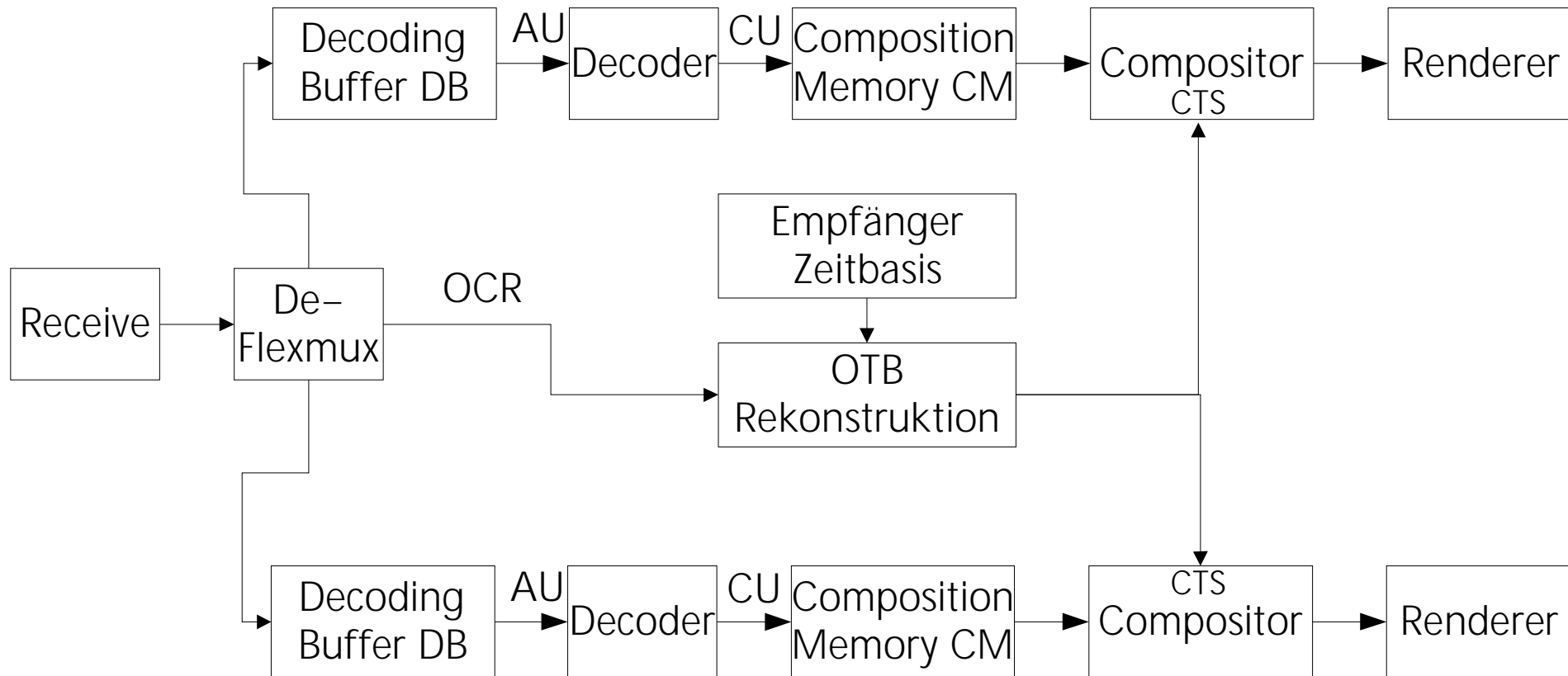
Implementierung: Sender (Software)



Implementierung: Sender (Hardware)



Implementierung: Empfänger



Restauration der Sender Zeitbasis (OTB)

Verwendung mehrerer Wertepaare der Form:

- aktuelle Sendezeit (OCR)
- aktuelle Empfängerzeit (unmittelbar zum Empfangszeitpunkt der OCR)

Lineare Regression liefert Zeitoffset und Frequenzoffset