

Digitale Signalverarbeitung sehen, hören und verstehen

Hans-Günter Hirsch

Hochschule Niederrhein, Krefeld

email: hans-guenter.hirsch@hs-niederrhein.de

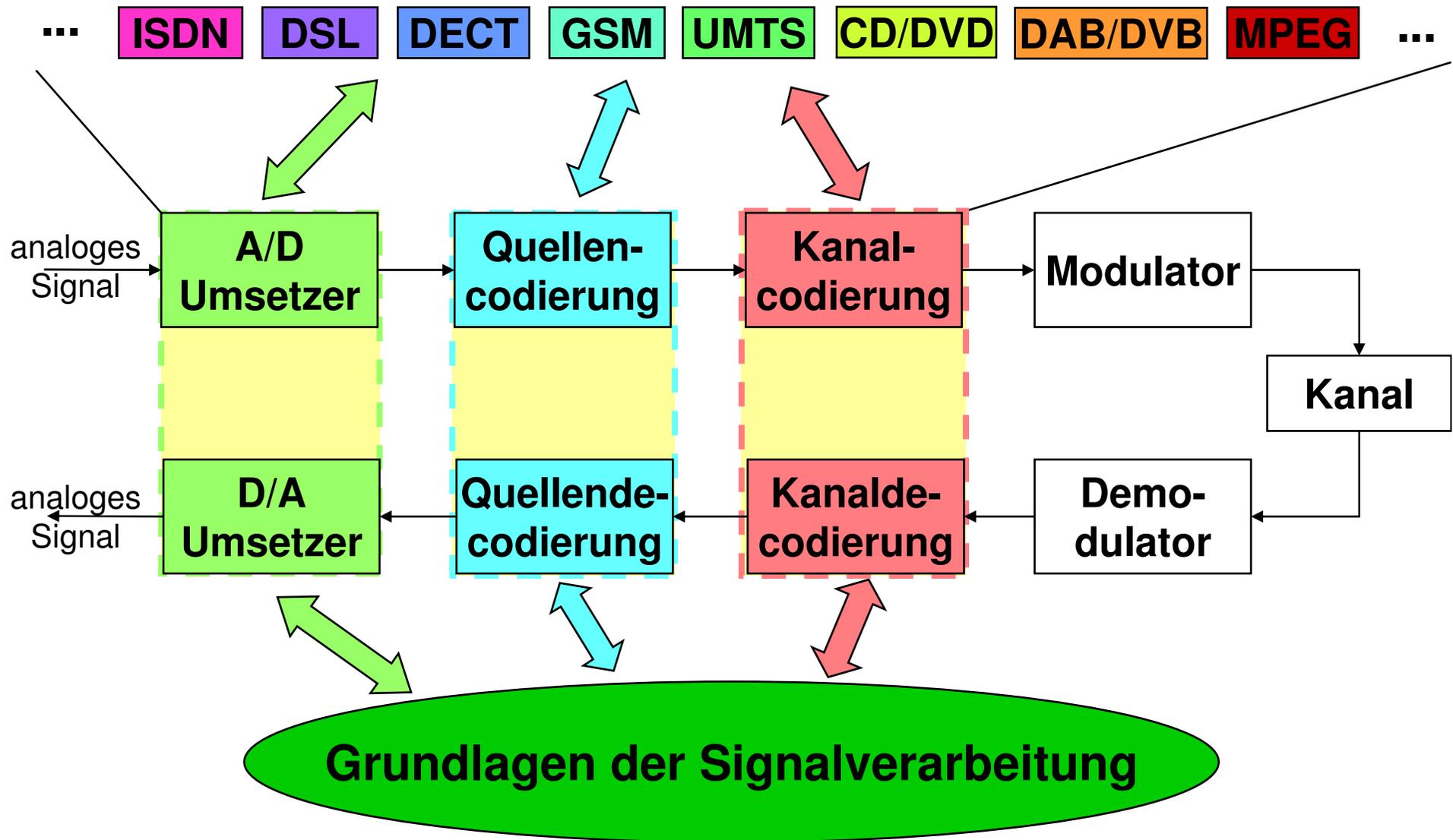
<http://dnt.kr.hs-niederrhein.de>



Gliederung

- 1. Konzept der Veranstaltung “Digitale Verfahren in der Nachrichtentechnik”**
- 2. Zielsetzung und Struktur des zugehörigen Praktikums**
- 3. Versuche zu den Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung**
 - Abtastung
 - Faltung
 - Diskrete Fourier-Transformation
 - Digitale Filter
- 4. Versuche zur Quellencodierung**
 - Codierung diskreter Zeichenvorräte
 - Codierung von Sprachsignalen
 - Codierung von Bildsignalen

Konzept



Digitale Verfahren in der Nachrichtentechnik

1. Semester

(Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung)

- Abtastung & Quantisierung
- Faltung
- DFT / FFT
- Digitale Filter
- Korrelationsanalyse
- Statistische Signalbeschreibung
- Grundlagen der Informationstheorie

2. Semester

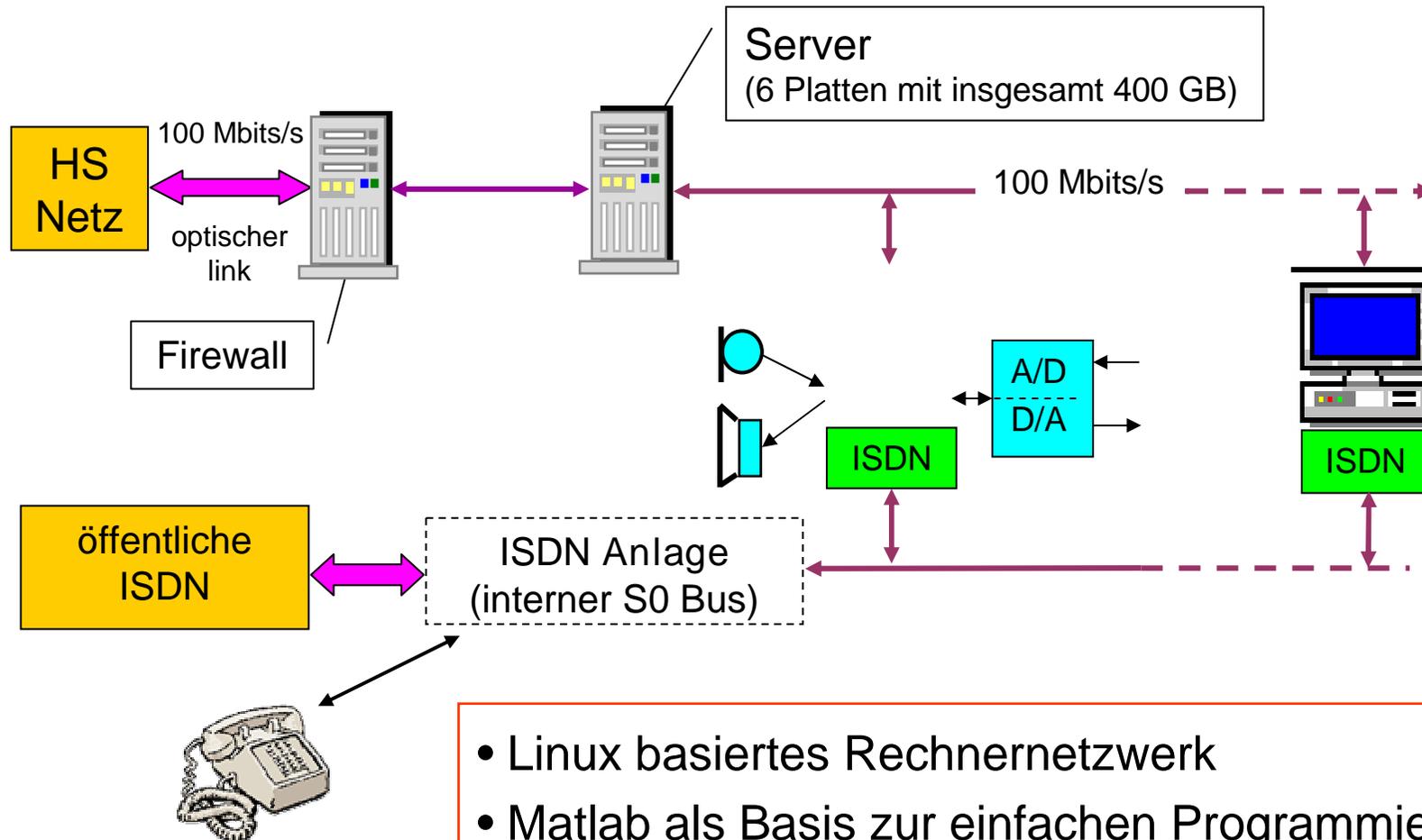
(Quellen- und Kanalcodierung)

- Codierung diskreter Zeichen-
vorräte
- Codierung von Sprache
- Codierung von Bildern
- Kanalcodierung

- **Bearbeitung von Themengebieten im Praktikum zeitsynchron zur Präsentation in der Vorlesung**
 - ➔ **alle Teilnehmer bearbeiten den gleichen Versuch**
- **Einfache Bedienbarkeit zur Fokussierung auf die eigentliche Signalverarbeitung ohne die Notwendigkeit der Bedienung komplizierter Versuchs- und Messaufbauten**
 - ➔ **keine Verwendung komplizierter Messgeräte**
- **Paralleler Zugang zu allen behandelten Signalverarbeitungsverfahren**

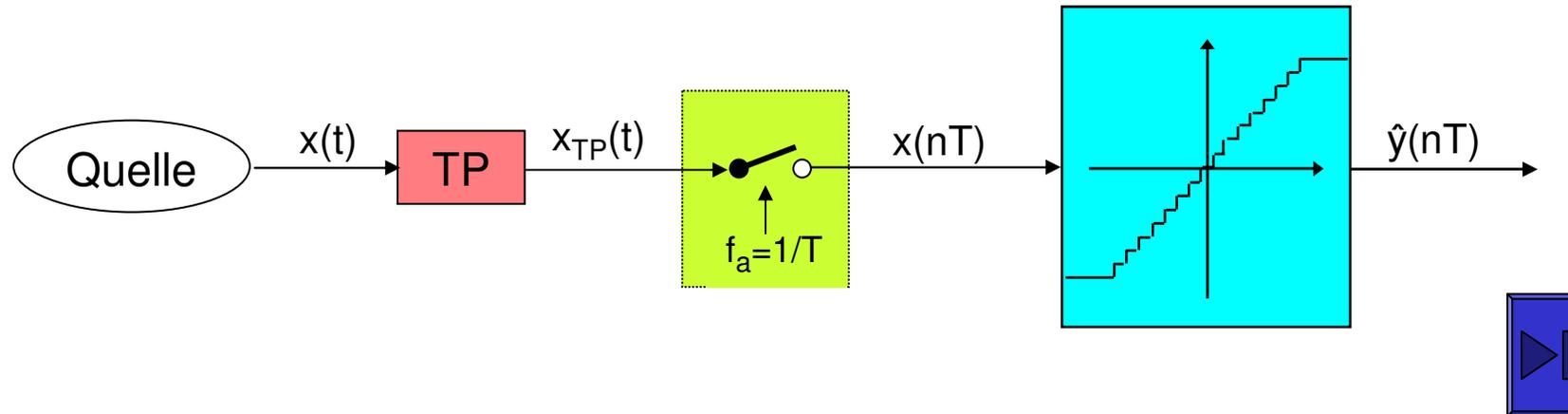
Softwarebasierterer Ansatz:

- **Realisierung in Form einer Vielzahl graphischer Benutzeroberflächen, die unter Verwendung eines Rechners dem Teilnehmer zur Verfügung stehen.**
- **Mit diesem rechner- und softwarebasierten Ansatz ist es möglich,**
 - **allen Teilnehmer den gleichen Versuch am gleichen Termin anzubieten**
 - **auf Grund der einfachen Bedienbarkeit die Bearbeitungszeit auf 2 Stunden zu verkürzen und doppelt so viele Versuche anzubieten**
 - **ohne großen Aufwand Versuche zu modifizieren und neue Versuche hinzuzufügen**
 - **das Praktikum auch während Vorlesung und Übung zur Verfügung zu haben**



- Linux basiertes Rechnernetzwerk
- Matlab als Basis zur einfachen Programmierung graphischer Benutzerschnittstellen (GUI) und unter Verwendung der Signalverarbeitungsbibliothek

Abtastung und Quantisierung



• Abtastung

- Nyquist-Kriterium: $f_a > 2 f_{\max}$
- TP-Spektrum wiederholt sich bei Vielfachen der Abtastfrequenz

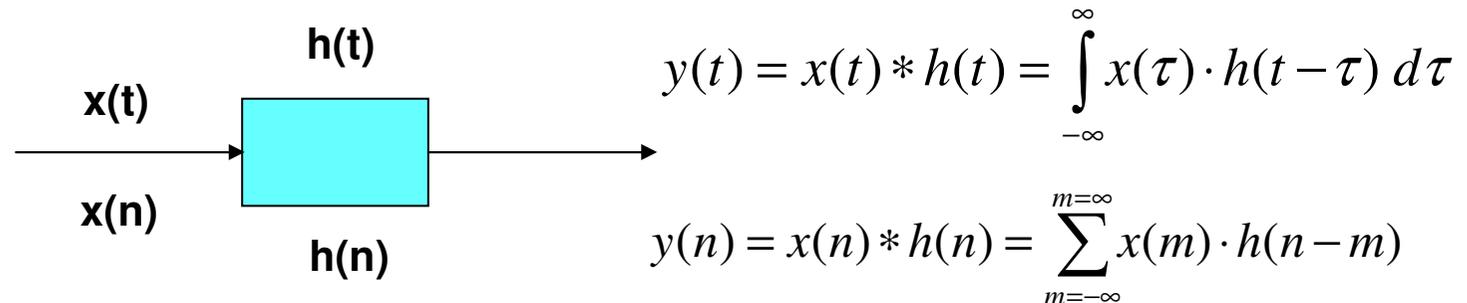
• Quantisierung

- Unterteilung des zu quantisierenden Amplitudenbereichs in 2^k Intervalle
- Codierung mit k Bits
- Quantisierungsfehler \rightarrow Quantisierungsrauschen

$$\text{SNR} = k \cdot 6 \text{ dB}$$

Faltung

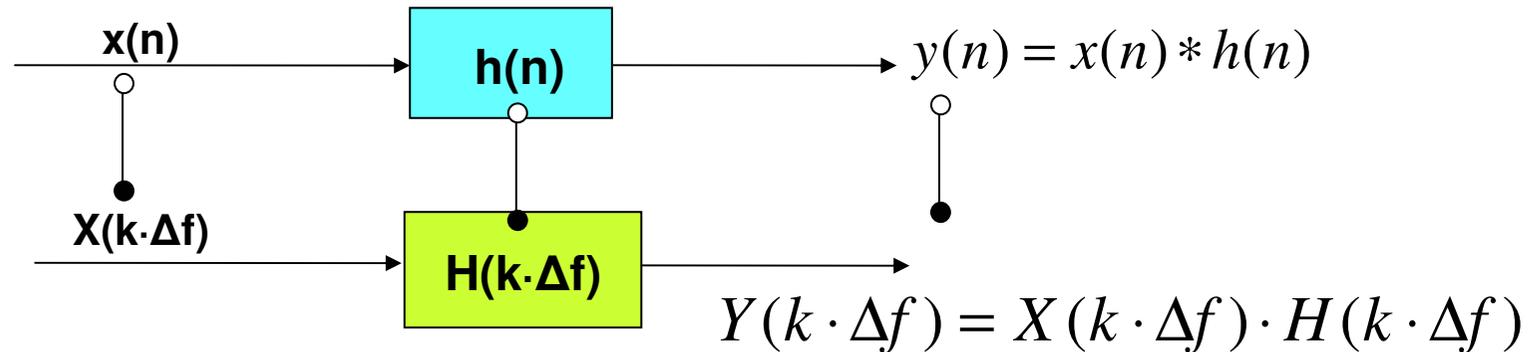
Beschreibung eines Nachrichtentechnischen Systems im Zeitbereich:



- Ein Nachrichtentechnisches System läßt sich im Zeitbereich durch Stoss- bzw. Impulsantwort (= Reaktion des Systems auf einen Diracstoss bzw. -impuls) beschreiben.
- Das Ausgangssignal des Systems ergibt sich aus der Faltung des Eingangssignals mit der Stoss- bzw. Impulsantwort.



Diskrete Fourier Transformation

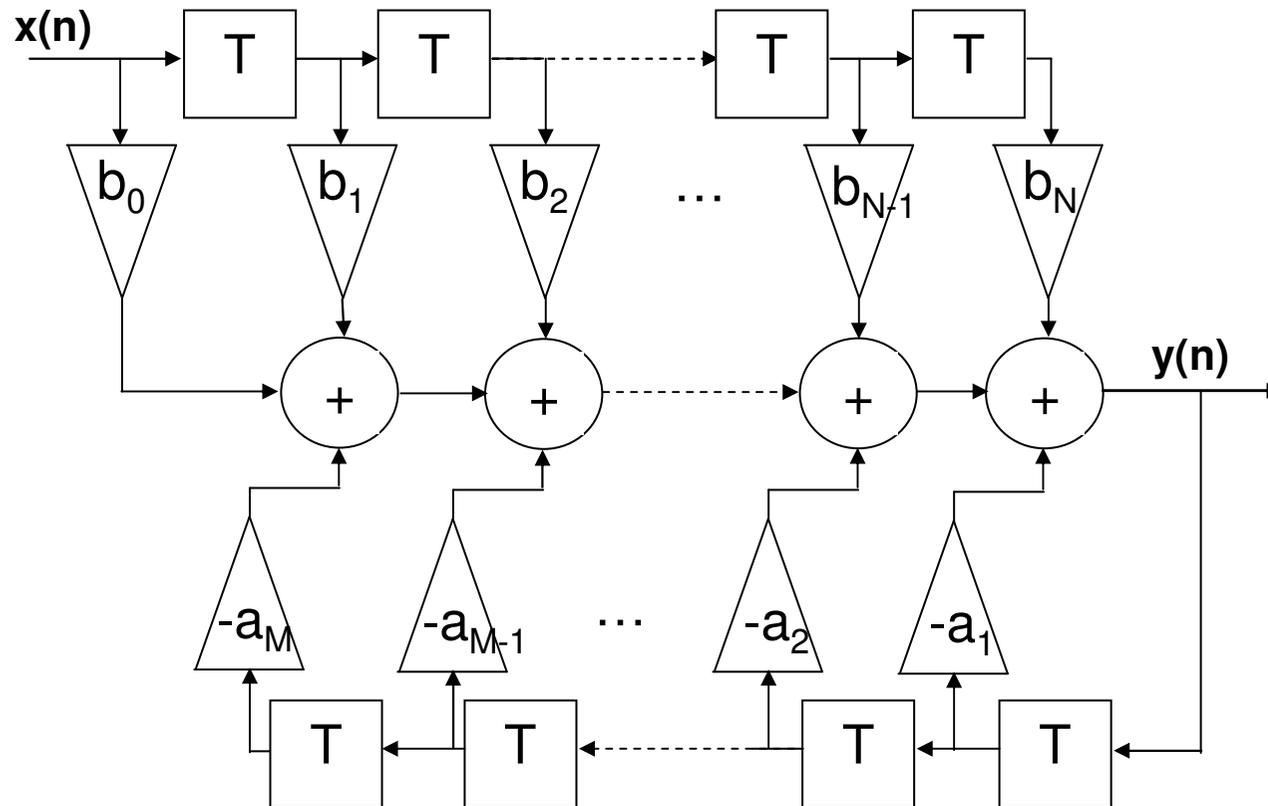


- Beschreibung des Nachrichtentechnischen Systems im Frequenzbereich durch die Fourier-Transformierte der Stoss- bzw. Impulsantwort:

$$H(k \cdot \Delta f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot n / N} \quad \text{mit } k = 0, 1, \dots, N-1 \quad \text{und } \Delta f = f_a / N$$

- Die Fourier-Transformierte (= Spektrum der Stoss- bzw. Impulsantwort) bezeichnet man als die Übertragungsfunktion
- Das Ausgangsspektrum des Nachrichtentechnischen Systems berechnet sich als Produkt der Spektren von Eingangssignal und Übertragungsfunktion



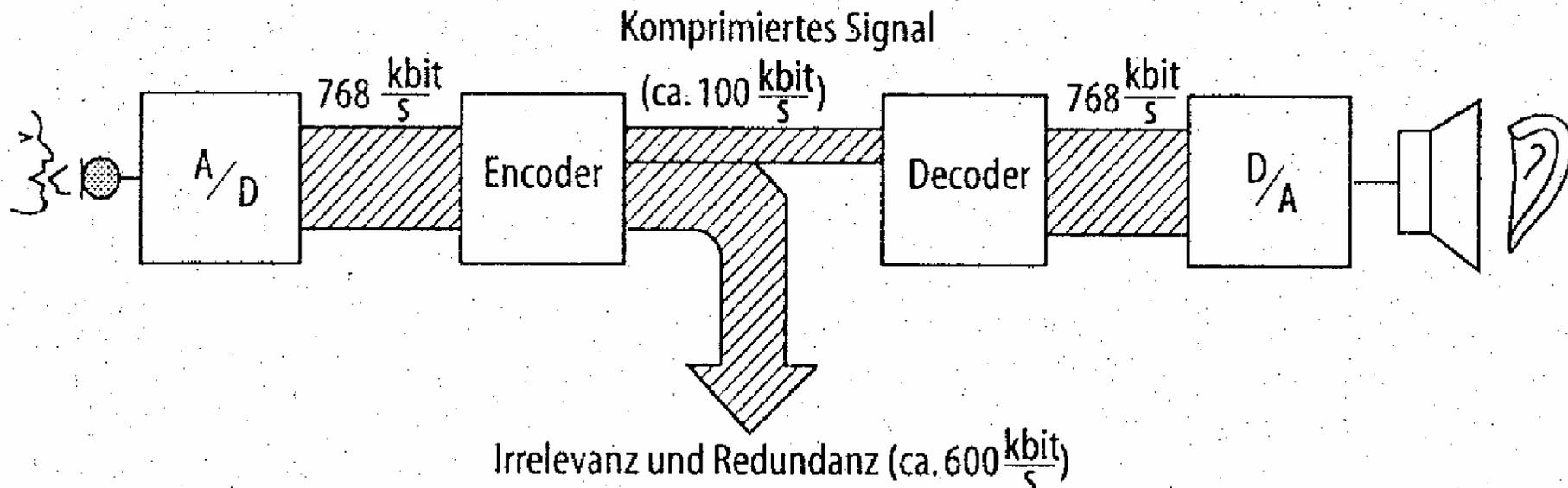


$$y(n) = \sum_{k=1}^N b_k \cdot x(n-k) - \sum_{k=1}^M a_k \cdot y(n-k)$$



Zur Betrachtung im Frequenzbereich benutzt man die Z-Transformierte:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=1}^N b_k \cdot z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^M a_k \cdot z^{-k}} \text{ mit } z = e^{j2\pi fT}$$



- Redundante Anteile: Ausnutzung statistischer Eigenschaften des Signals
→ kein objektiver Informationsverlust
- Irrelevante Anteile: Informationen in einem Signal, die vom letztendlichen Empfänger, z.B. dem menschlichen Auge oder Ohr, auf Grund seiner begrenzten, sinnesphysiologischen Fähigkeiten nicht wahrgenommen werden

- Entropie als theoretischer Grenzwert:

$$H(X) = \sum_{i=1}^N p(x_i) \cdot \lg\left(\frac{1}{p(x_i)}\right)$$

- Praktische Realisierung durch Codierung von Zeichen mit
 - großer Auftrittswahrscheinlichkeit mittels kürzerer Codewörter (geringe Bitanzahl)
 - geringer Auftrittswahrscheinlichkeit mittels längerer Codewörter (hohe Bitanzahl)(z.B. Huffman oder Fano Codes)

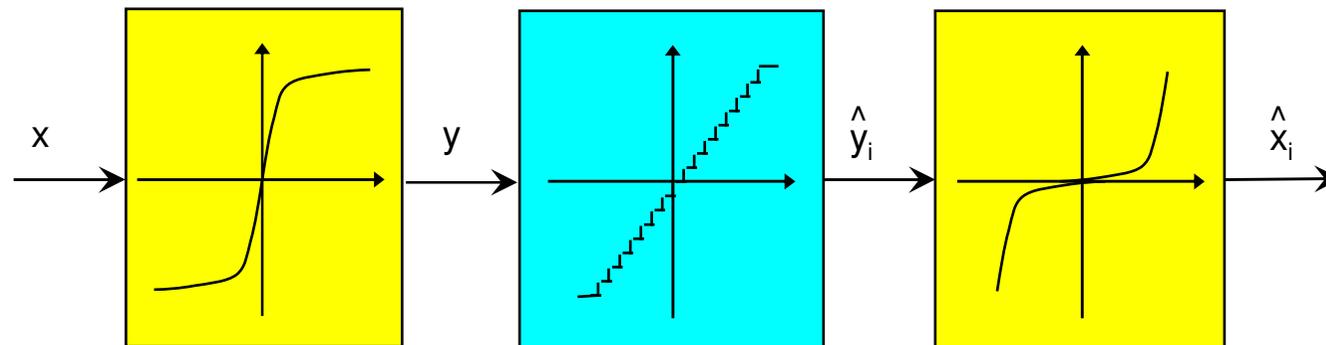


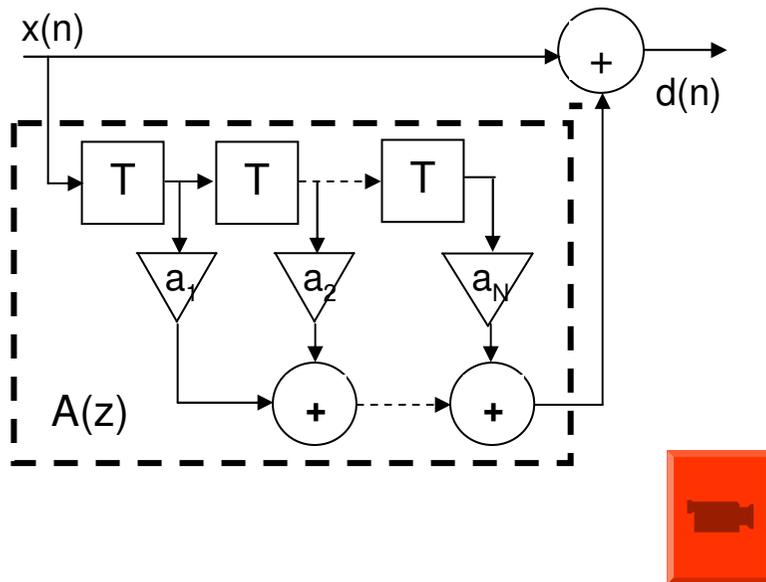
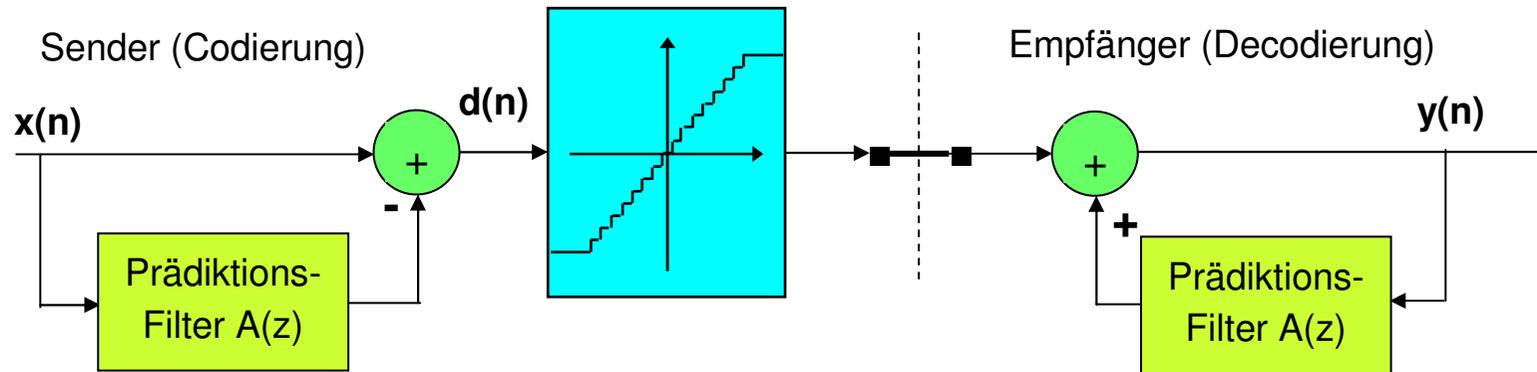
Codierung von Sprachsignalen

- **Nichtlineare Quantisierung (ISDN)**
- **(Adaptive) Differenz-Pulsmodulation (DPCM und ADPCM)
(DECT Telefone)**
- **DPCM in kurzen Signalabschnitten (~ 20ms) = lineare, prädiktive
Codierung (LPC)**
 - Übertragung der Prädiktionskoeffizienten zur Beschreibung des Kurzzeit-Spektrums und Codierung des Prädiktionsfehlersignals
(Anwendung zur Sprachcodierung im Mobilfunk mit Datenraten zwischen ~5 ... 13 kBit/s)

Nichtlineare Quantisierung

- Quantisierung kleiner Amplitudenwerte in deutlich kleineren Quantisierungsintervallen als große Amplitudenwerte
- Quantisierung mit 8 Bit/Abtastwert → Datenrate: 8 kHz mal 8 Bit = 64 kBit/s





- Schätzung eines Abtastwerts als gewichtete Linearkombination vorhergehender Abtastwerte
- Interpretation im Frequenzbereich: Dämpfung der energiereichsten Frequenzkomponenten
- Quantisierung der Differenz zwischen tatsächlichem und geschätztem Abtastwert (= Prädiktionsfehlersignal)

- Zur digitalen Verarbeitung von Bildern erfolgt eine Abtastung in Zeilen und Spalten, so dass ein Bild als eine Matrix von Bildpunkten dargestellt werden kann. Jeder Bildpunkt wird durch 3 Helligkeitswerte für 3 Grundfarben (z.B. rot, grün, blau) beschrieben.
 - Transformation in andere Farbbasiskomponenten, z.B. Y, U und V beim PAL Fernsehen:

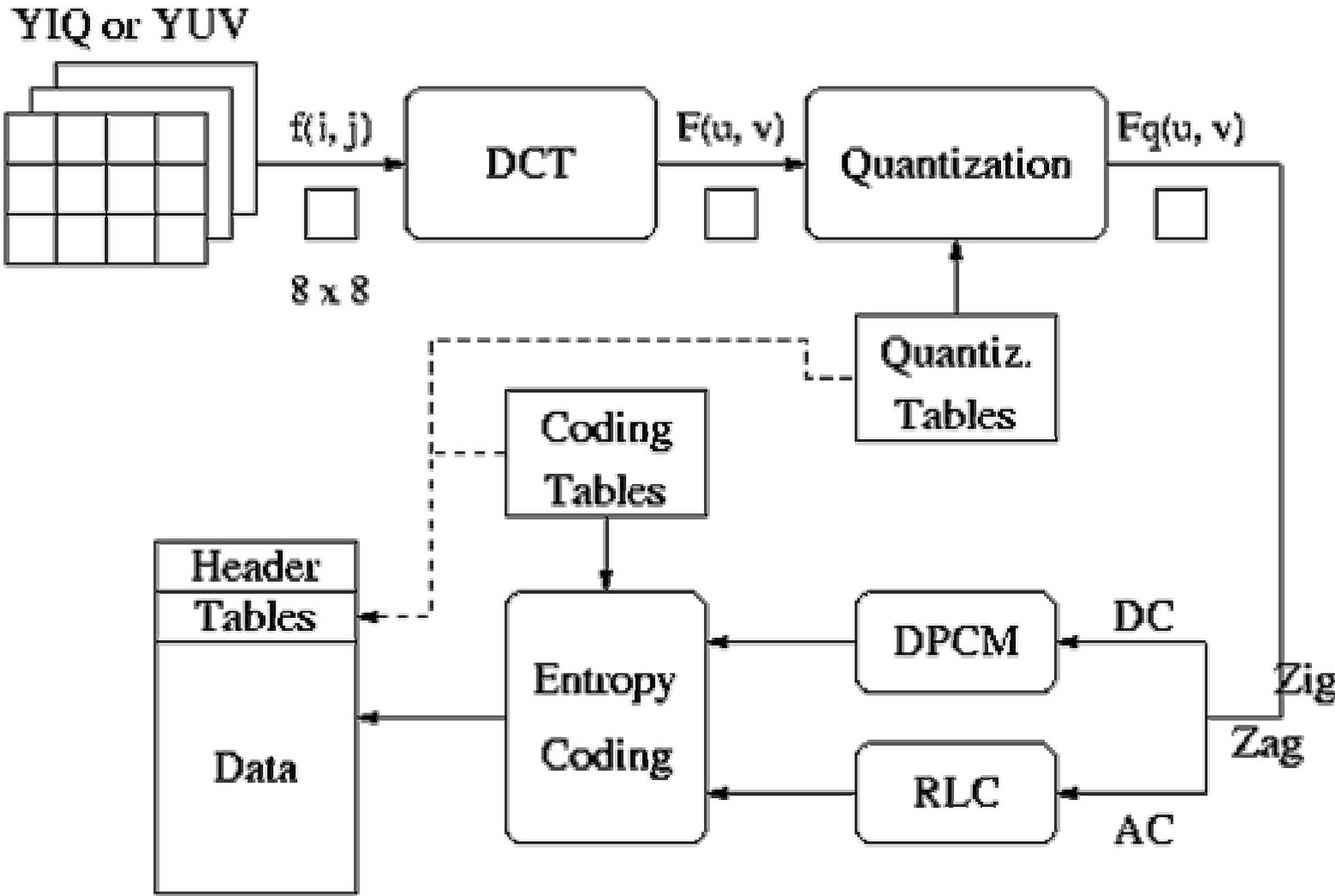
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.146 & -0.288 & 0.434 \\ 0.617 & -0.517 & -0.1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Zweidimensionale Filterung von Bildern:

$$y(m, n) = x(m, n) ** h(m, n)$$



JPEG Bildcodierung



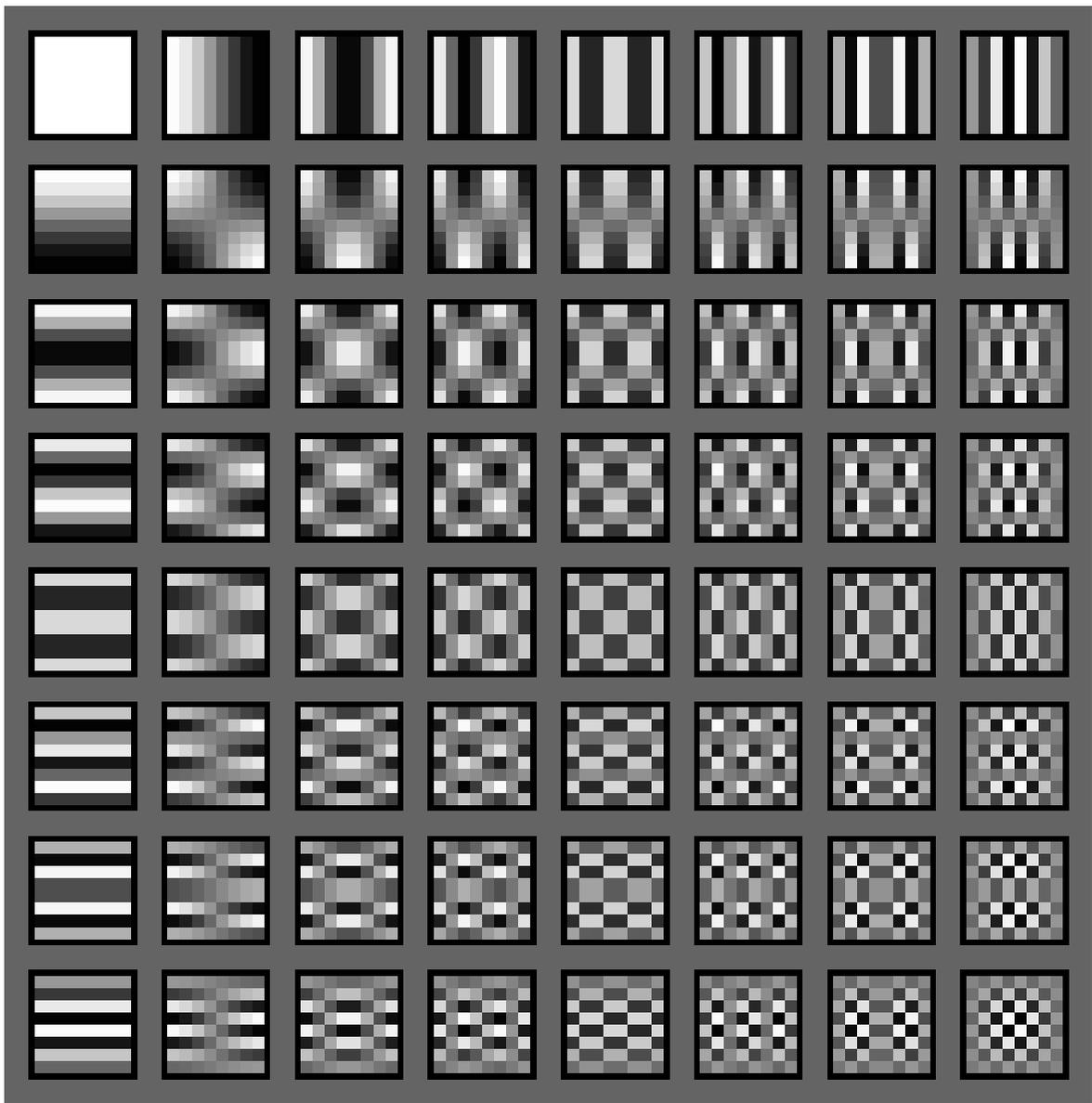
- Blöcke von 8 mal 8 Bildpunkten werden mit Hilfe einer zweidimensionalen Diskreten Cosinus-Transformation (DCT) transformiert:

$$F(u, v) = \sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 x(m, n) \cdot \cos\left[\frac{(2 \cdot m + 1) \cdot u \cdot \pi}{16}\right] \cdot \cos\left[\frac{(2 \cdot n + 1) \cdot v \cdot \pi}{16}\right]$$

mit $u = 0, \dots, 7$ und $v = 0, \dots, 7$

- Interpretation: Ein kleiner Bildausschnitt (8 mal 8 Bildpunkte) wird als eine Überlagerung bestimmter Basis-Helligkeitsmuster beschrieben.
In den meisten Bildausschnitten sind nur geringe Helligkeitsveränderungen vorhanden, so dass diese Blöcke durch eine geringe Anzahl von Basis-Helligkeitsmustern gut wiedergegeben werden können.

Basis Helligkeitsmuster



Erfahrungen

- Erstmalige Durchführung im SS02 und WS02/03
- Akzeptanz und positive Resonanz seitens der Studenten
- Software lief stabil und nahezu fehlerfrei
- Häufige Verwendung auch im Rahmen von Vorlesung und Übung

Zusammenfassung

- Überblick über die Konzeption der Veranstaltung “Digitale Verfahren in der Nachrichtentechnik”
- Vorstellung eines rechner- und softwarebasierten Praktikums mit einer Fokussierung auf die eigentliche Signalverarbeitung

Ausblick

- Erstellung eines weiteren Versuchs zur Kanalcodierung (WS 03/04)
- Weitere graphische Oberflächen zur Analyse und Visualisierung von Verfahren zur Sprachverarbeitung (-erkennung)