

Grundlagen der Nachrichtentechnik

I. Kontinuierliche Signale u. Systeme

1. Fouriertransformation
2. Tiefpass-Darstellung v. Bandpass-Signalen
3. Eigenschaften v. Übertragungskanälen

II. Analoge Übertragung

1. Analoge Modulationsverfahren
2. Empfängerstrukturen
3. Einfluß von Rauschen

III. Diskretisierung v. Quellensignalen

1. Abtasttheorem
2. Pulsamplitudenmodulation
3. Pulsdauer- und Pulsphasenmodulation
4. Pulscodemodulation
5. Prinzip des Zeitmultiplex

IV. Digitale Übertragung

1. Struktur e. Datenübertragungssystems
2. Erste u. Zweite Nyquist-Bedingung
3. Rauschangepasstes Empfangsfilter
4. Bitfehlerwahrscheinlichkeit
5. Digitale Modulationsverfahren

komplett auf Folien

teilweise mit Folienunterstützung

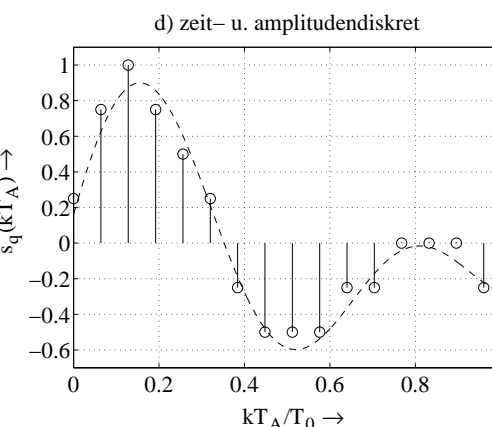
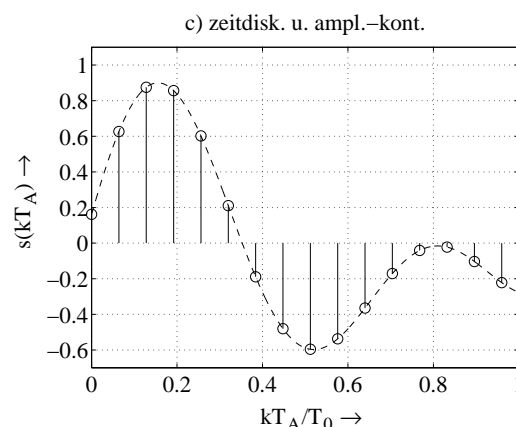
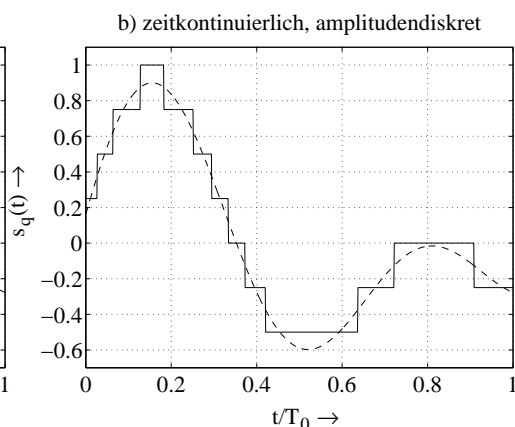
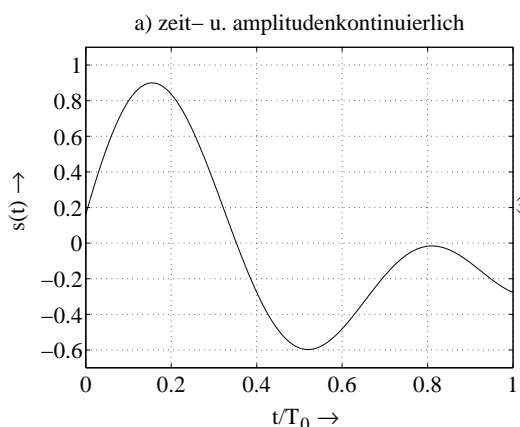
III. Diskretisierung von Quellensignalen

Signalklassifikationen

1. Merkmal: zeit- kontinuierlich \longleftrightarrow diskret

amplituden- kontinuierlich \longleftrightarrow diskret

”digitales Signal”



2. Merkmal: Energiesignal: $\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty$

Leistungssignal: $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt < \infty$

3. Merkmal: deterministisch \longleftrightarrow stochastisch

1. Das Abtasttheorem

Abgetastetes Signal: Folge gewichteter schmaler Impulse im Abstand $T = 1/f_A$;

Mathematisches Modell für schmale Impulse → **Dirac-Impulse** $\delta_0(t)$

$$x_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_K(kT) \cdot \delta_0(t - kT) = x_K(t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT)$$

Spektrum von $x_T(t)$ → **Faltung** von $X_K(j\omega)$ und $\mathcal{F}\{\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT)\}$

$\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT)$ **periodisch** → **Fourierreihe**: $\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT) = \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} a_\nu \cdot e^{j\nu 2\pi t/T}$

Fourier-Koeffizienten:

$$a_\nu = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} [\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT)] \cdot e^{-j\nu 2\pi t/T} dt$$

$$= \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \int_{-T/2}^{T/2} \delta_0(t - kT) \cdot e^{-j\nu 2\pi t/T} dt = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \delta_0(t) dt = \frac{1}{T}$$

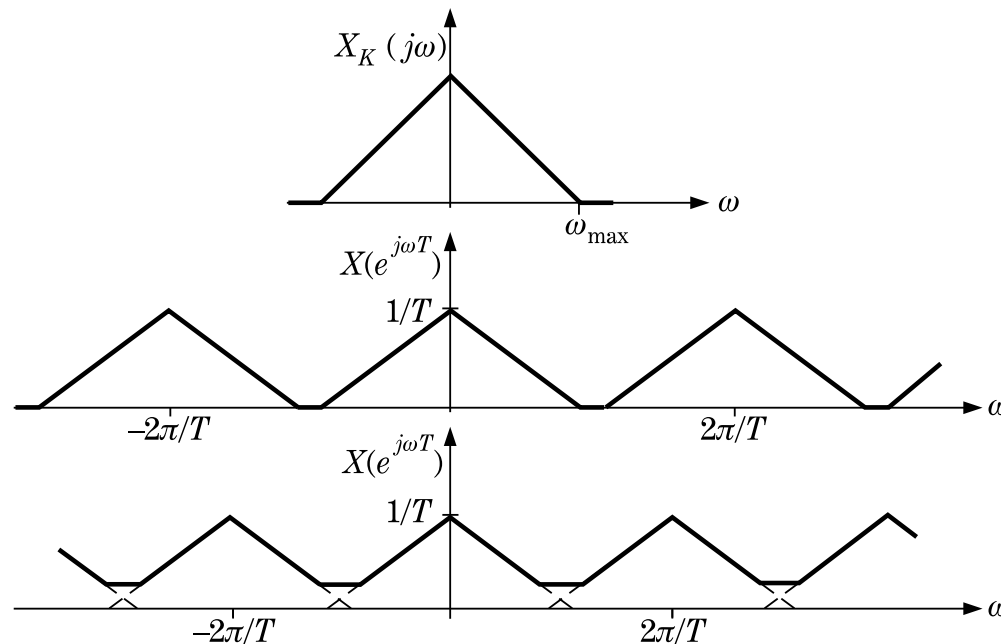
$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT) = \frac{1}{T} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} e^{j\nu 2\pi t/T} \quad \leftarrow \quad e^{j\nu 2\pi t/T} \quad \circ \bullet \quad 2\pi \cdot \delta_0(\omega - \nu \frac{2\pi}{T})$$

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta_0(t - kT) = \frac{1}{T} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} e^{j\nu 2\pi t/T} \quad \circ \bullet \quad \frac{2\pi}{T} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} \delta_0(\omega - \nu \frac{2\pi}{T})$$

Damit **Spektrum eines abgetasteten Signals:**

$$\begin{aligned} X_T(j\omega) &= \frac{1}{2\pi} X_K(j\omega) * \frac{2\pi}{T} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} \delta_0(\omega - \nu \frac{2\pi}{T}) \\ &= \frac{1}{T} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} X_K(j(\omega - \nu \frac{2\pi}{T})) \end{aligned}$$

**Periodische Fortsetzung der
Spektren des kontinuierlichen
Signals,
Abstand $f_A = 1/T$**



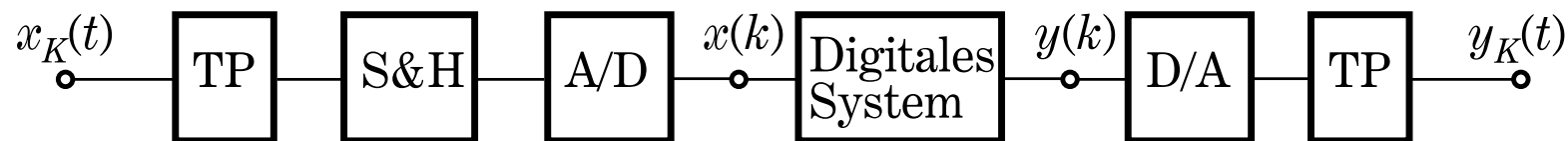
Fallunterscheidung: $f_A > 2 \cdot f_{\max} \rightarrow$ überlappungsfreie Spektren

$f_A < 2 \cdot f_{\max} \rightarrow$ spektrale Überlappungen "Aliasing"

Im **ersten Falle**: Das Originalspektrum kann durch Tiefpass-Filterung eindeutig wiedergewonnen werden.

Abtasttheorem: Ein auf die Frequenz f_{\max} bandbegrenztetes kontinuierliches Signal kann nach Abtastung mit einer Abtastfrequenz $f_A > 2 \cdot f_{\max}$ durch Tiefpass-Filterung eindeutig wieder rekonstruiert werden.

Aufbau eines digitalen Systems zur Verarbeitung analoger Signale:

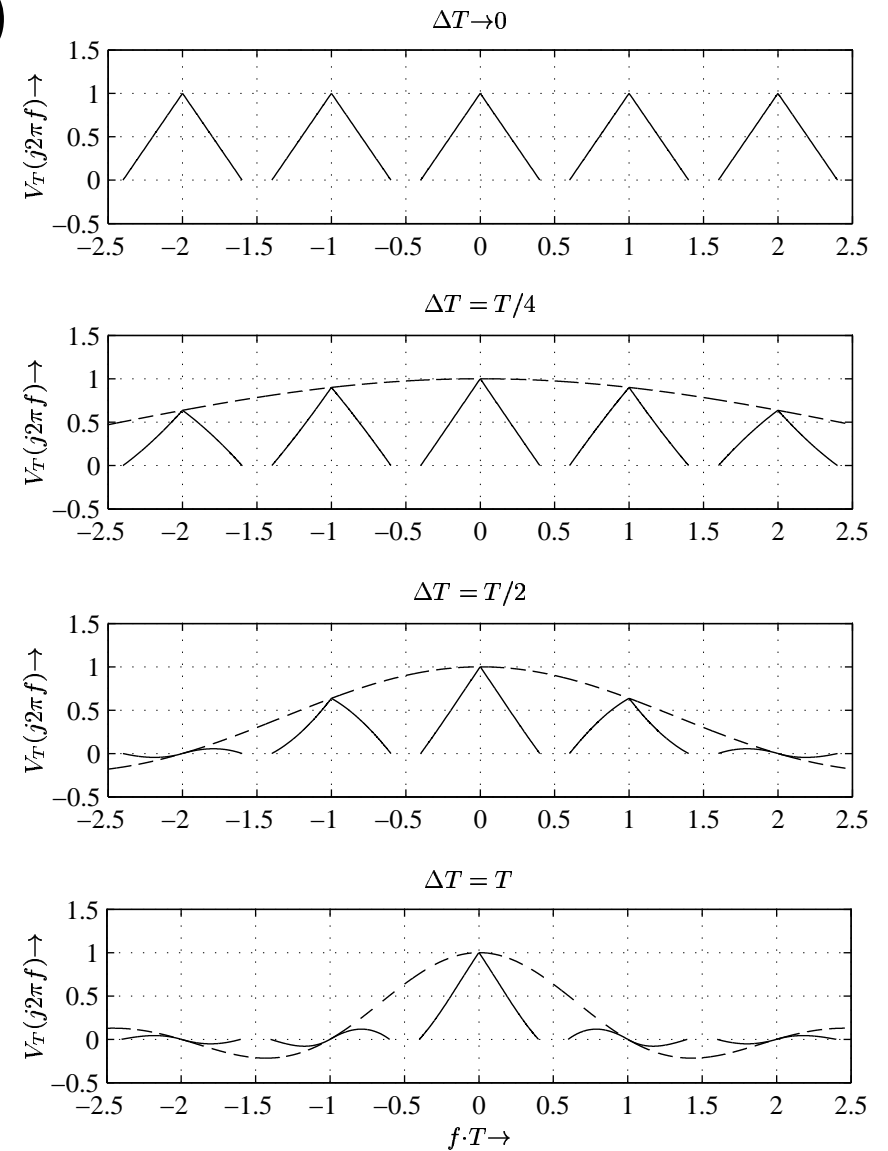
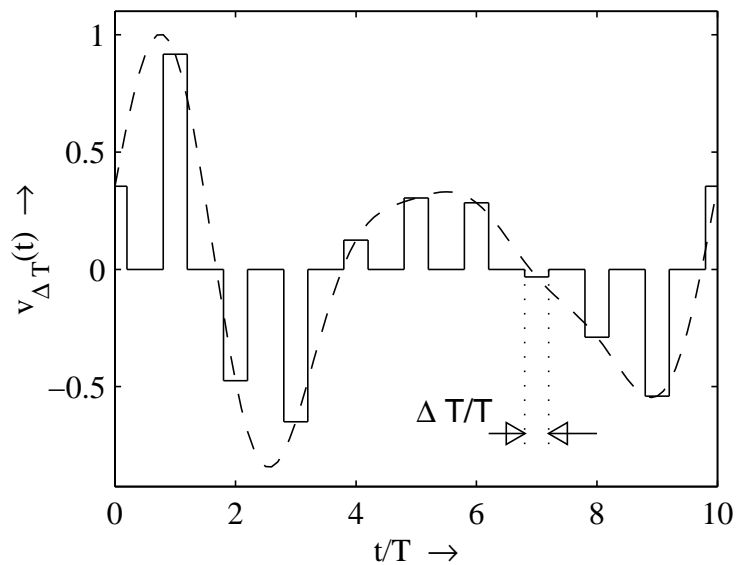


2. Pulsamplitudenmodulation (PAM)

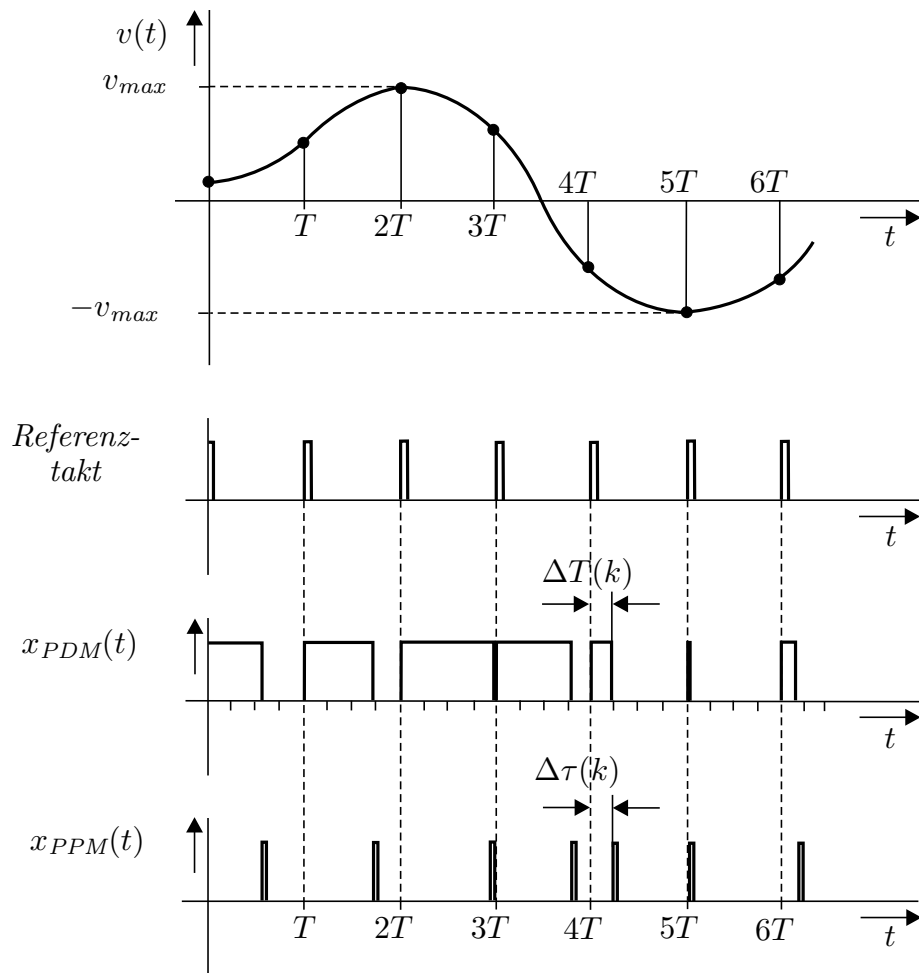
$$v_{\Delta T}(t) = v_T(t) * \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta T}\right)$$

$$\text{rect}\left(\frac{t}{\Delta T}\right) \circ \bullet \Delta T \frac{\sin(\omega \Delta T / 2)}{\omega \Delta T / 2}$$

$$V_{\Delta T}(j\omega) = \frac{\Delta T}{T} \frac{\sin(\omega \Delta T / 2)}{\omega \Delta T / 2} \cdot \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} V\left(j\left(\omega - \nu \frac{2\pi}{T}\right)\right)$$



3. Pulsdauer- und Pulsphasenmodulation (PDM/PPM)



PDM:

$$\Delta T(k) = \frac{T}{2} \left(1 + \frac{v(kT)}{v_{max}} \right)$$

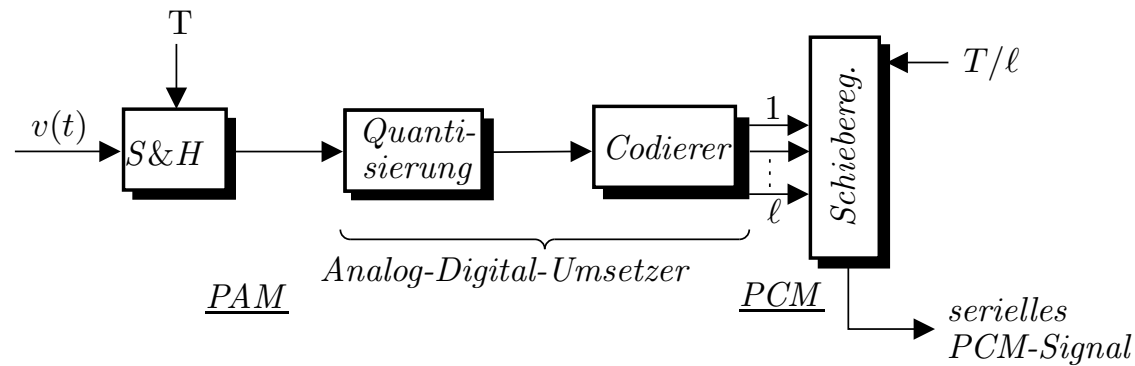
PPM:

$$\Delta\tau(k) = \frac{T}{2} \left(1 + \frac{v(kT)}{v_{max}} \right)$$

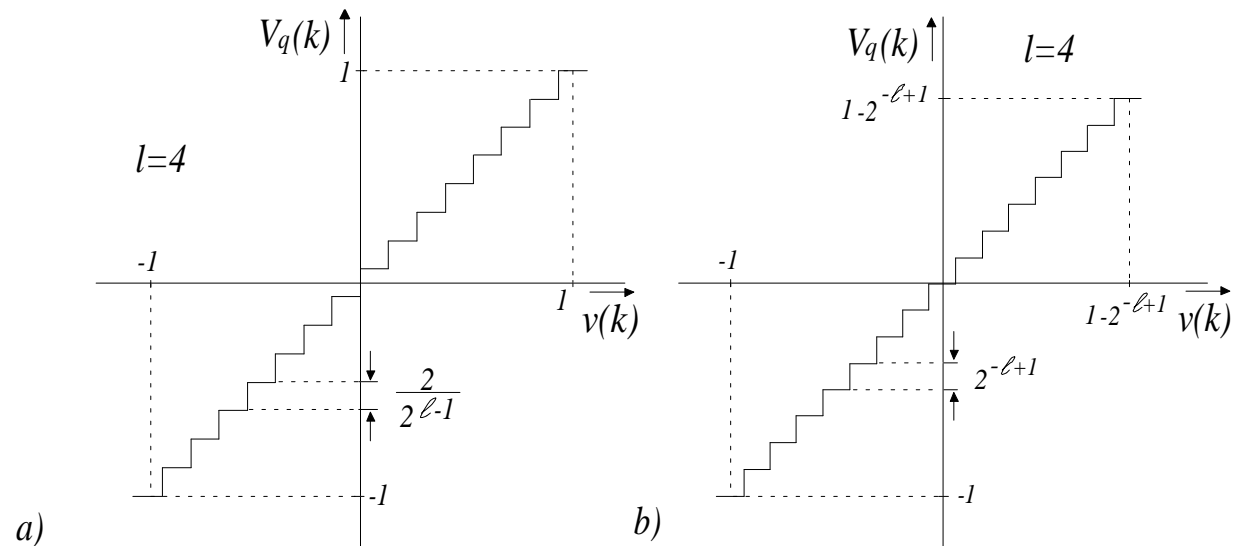
PPM wieder aktuell durch UBW-Technik

4. Puls-Code-Modulation (PCM)

Blockschaltbild zur PCM-Erzeugung:



Lineare Quantisierungskennlinien:



Lineare Quantisierung

S/N-Verhältnis in Abhängigkeit von der Quantisierungstiefe ℓ (sinusförmiges Nutzsignal)

$$\begin{aligned}\sigma_Q^2 &= \frac{Q^2}{12} = \frac{2^{-2\ell}}{3} \\ (S/N) &= \frac{\sigma_V^2}{\sigma_Q^2} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{Q^2}{12}} = \frac{3}{2} \cdot 2^{2\ell} \\ (S/N)_{dB} &= 10 \lg \left(\frac{3}{2} \cdot 2^{2\ell} \right) \\ &= 1,77 + 2\ell \cdot 10 \lg 2 \\ &= 1,77 + 6 \cdot \ell\end{aligned}$$

ℓ/bit	6	8	10	12	14	16
$(S/N)_{dB}$	37,8	49,8	61,8	73,8	85,8	97,8

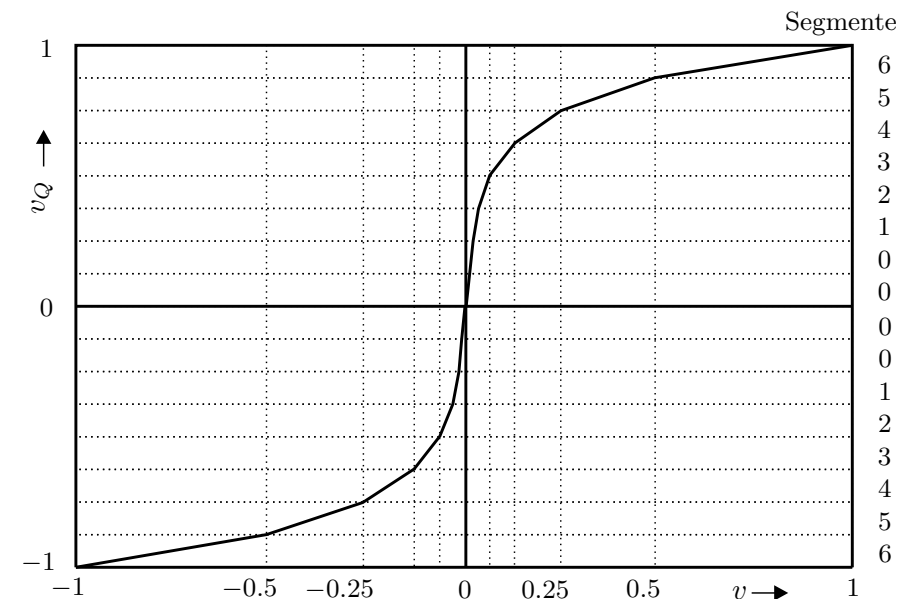
Nichtlineare Quantisierung

Codierungsvorschrift entsprechend der 13-Segment-Kennlinie

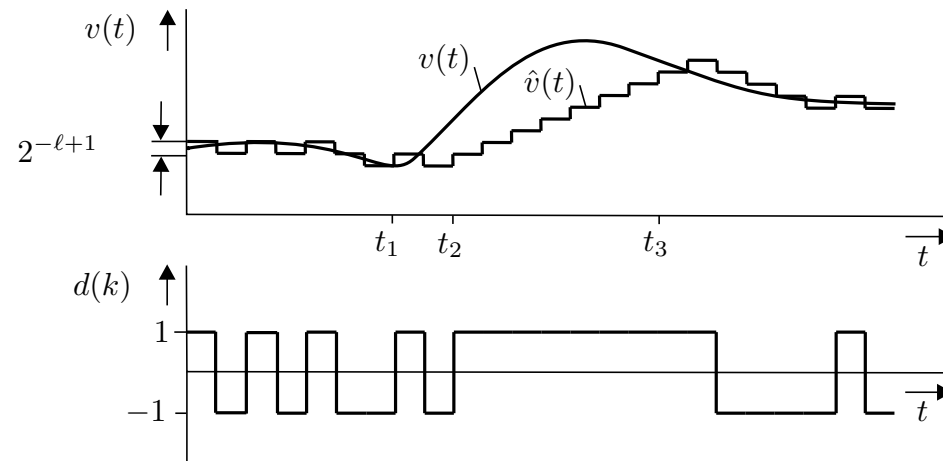
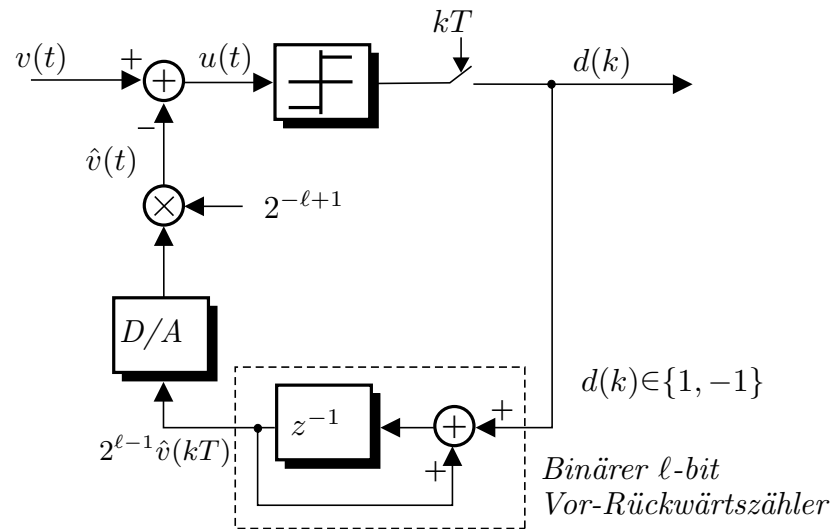
$V \hat{=}$ Vorzeichenbit $x \hat{=}$ beliebiges Binärzeichen

$0,1 \hat{=}$ log. Null, Eins $- \hat{=}$ vernachlässigte Stellen

Segment	Bereich	lineare Dualdarstellung	nichtlineare Dualdarstellung
0	$0 \leq v < 2^{-7}$	V, 0000000xxxx	V,000xxxx
0	$2^{-7} \leq v < 2^{-6}$	V, 0000001xxxx	V,001xxxx
1	$2^{-6} \leq v < 2^{-5}$	V, 000001xxxx-	V,010xxxx
2	$2^{-5} \leq v < 2^{-4}$	V, 00001xxxx--	V,011xxxx
3	$2^{-4} \leq v < 2^{-3}$	V, 0001xxxx---	V,100xxxx
4	$2^{-3} \leq v < 2^{-2}$	V, 001xxxx----	V,101xxxx
5	$2^{-2} \leq v < 2^{-1}$	V, 01xxxx-----	V,110xxxx
6	$2^{-1} \leq v < 2^0$	V, 1xxxx-----	V,111xxxx



Delta- Modulation



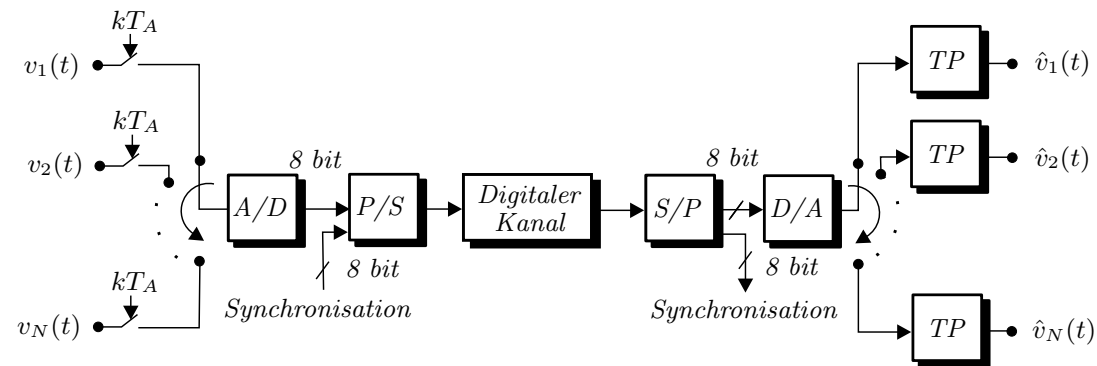
Vermeidung von Steigungsüberlastung

$$\max \left\{ \frac{dv}{dt} \right\} \leq \frac{2^{-\ell+1}}{T} = 2^{-\ell+1} f_A$$

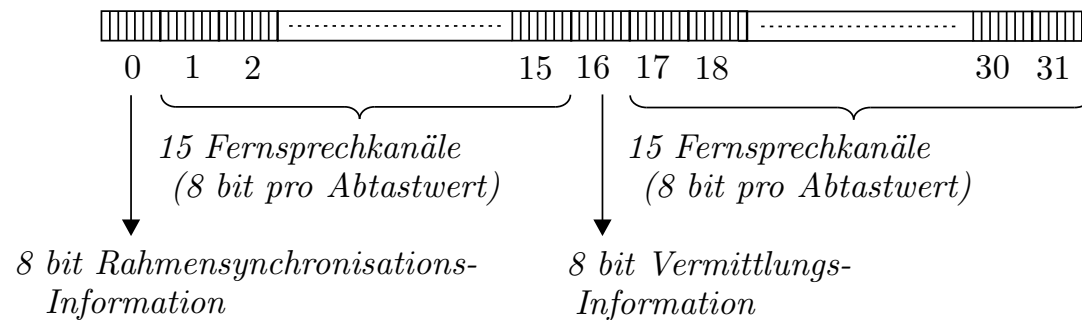
5. PCM Zeitmultiplex

TDMA : Time Division Multiple Access

Schema eines Zeitmultiplexsystems



Rahmenaufbau eines PCM 30-Systems



Hierarchie des PCM-Systems im Fernsprechbereich

	Sprachkanäle	Bitrate	Ebene	Entfernung
PCM30	30	2 Mbit/s	EVSt.	
PCM120	120	8,4 Mbit/s	EVSt.KVSt.	15 km
PCM480	480	34 Mbit/s	KVSt.HVSt	45 km
PCM1920	1920	140 Mbit/s	HVSt.ZVSt	150 km
PCM7680	7680	565 Mbit/s	ZVSt.	>150 km

(EVSt, KVSt, HVSt, ZVSt $\hat{=}$ End-, Knoten-, Haupt-, Zentralvermittlungsstellen)