

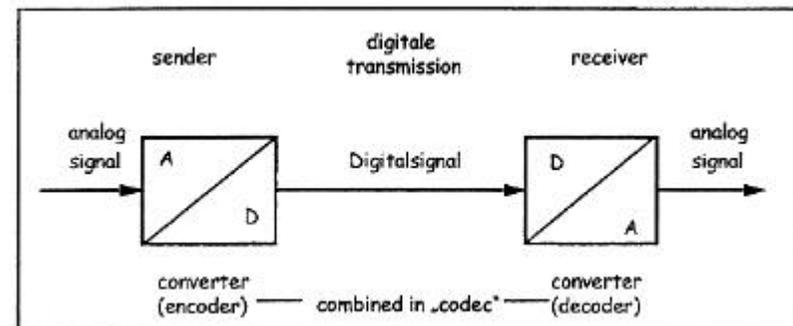
Digitalisierung

■ Digitale Übertragung analoger Signale

- ◆ Vorteile digitaler Übertragung
 - ✦ störicher (0/1-Codierung, Fehlerkorrektur)
 - ✦ präzise (fixe unveränderliche Codeworte)
- ◆ Nachteile digitaler Übertragung
 - ✦ “natürliche Signale” sind zeit/wertkontinuierlich (analog)
 - sind theoretisch nicht Bandbreitenbegrenzt
 - ✦ Kanalcodierung erlaubt nur fixe Übertragungsrate
 - daraus “digitale Bandbreitenbegrenzung” = max. Bitrate

■ Implementierung

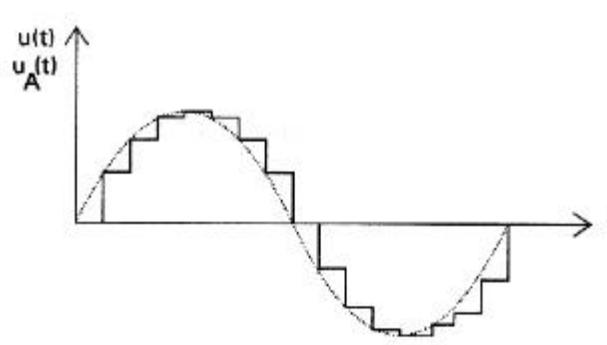
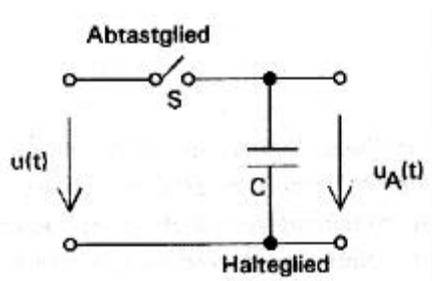
- ◆ Zeitquantisierung
- ◆ Amplitudenquantisierung
- ◆ standardisierte Darstellung



Digitalisierung

■ Zeitquantisierung (Abtastung, sampling)

- ◆ Überführung eines analogen Signales in eine wertkontinuierliche Zahlenfolge
 - ✦ normalerweise in fixen Zeitabständen (Abtastintervall)
 - ✦ (mathematische Beschreibung mit Dirac-Impuls)
 - ✦ Einsatz eines sog. Abtast-Haltegliedes (sample&hold)
 - ✦ liefert „Treppensignal“ das dann amplitudenquantisiert wird



- ◆ Wie oft muß abgetastet werden, um Originalsignal wieder rekonstruieren zu können?

Digitalisierung

■ Abtasttheorem (Nyquist 1928, Kotelnikov 1933, Shannon 1949,...)

- ◆ abzutastendes Signal muß bandbreitenbegrenzt

- ✦ obere Grenzfrequenz f_G

- ◆ Abtastfrequenz

$$f_s > 2 f_G$$

- ◆ oder obere Grenzfrequenz des Nutzsignals kleiner als halbe Abtastfrequenz

$$f_G < 1/2 f_s$$

- ◆ Abtastintervall

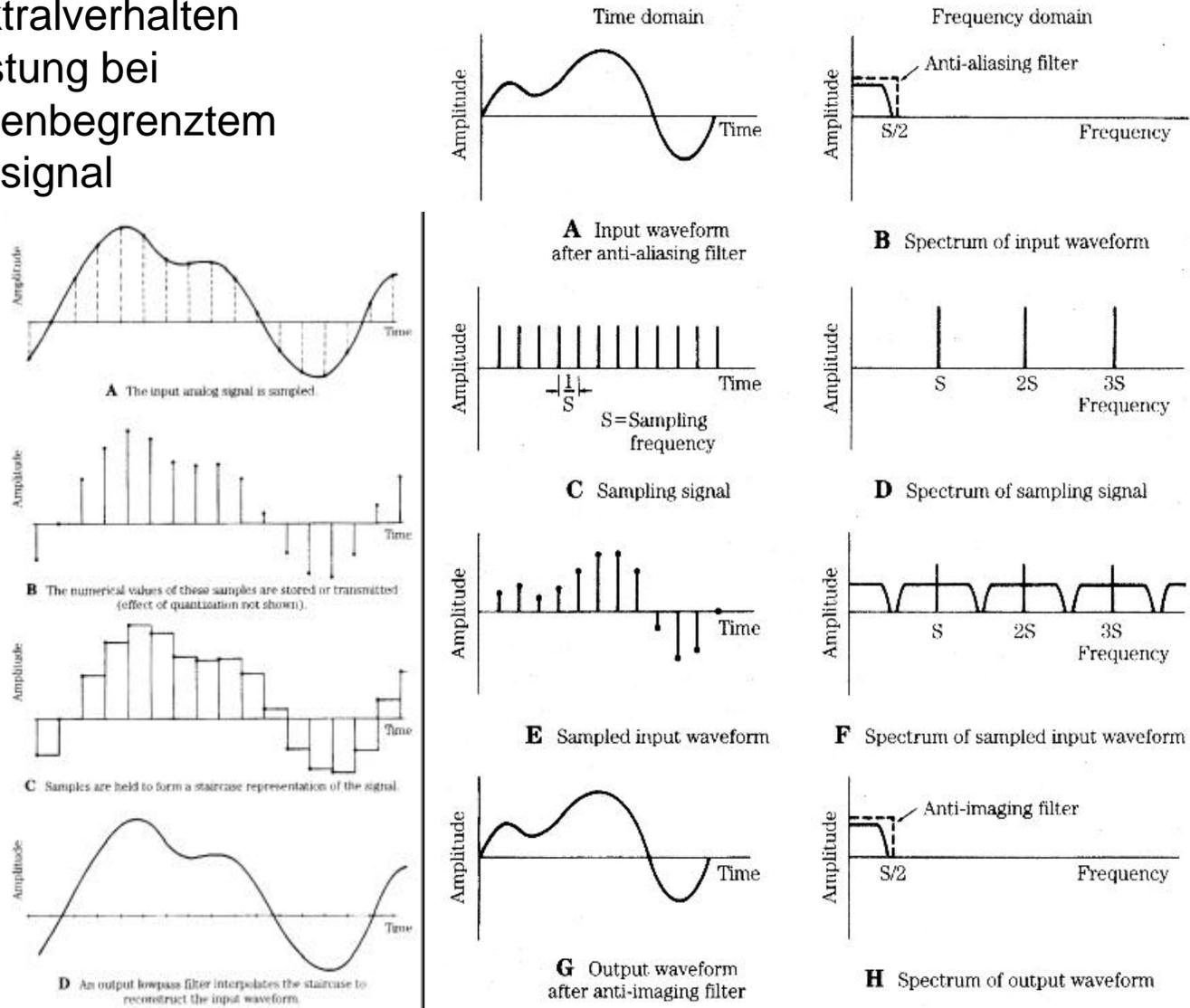
$$t_s = 1/f_s$$

- ◆ warum $f_G < 1/2 f_s$?

- ✦ Durch Abtastung entsteht ein Spektrum mit Vielfachen der Abtastfrequenz
- ✦ ist Eingangssignal nicht bandbreitenbegrenzt, „Überlappen“ diese vervielfachten Anteile und es entstehen Artefakte (sog. Aliasing)
- ✦ Originalsignal wird nicht mehr exakt wiedergegeben

Digitalisierung

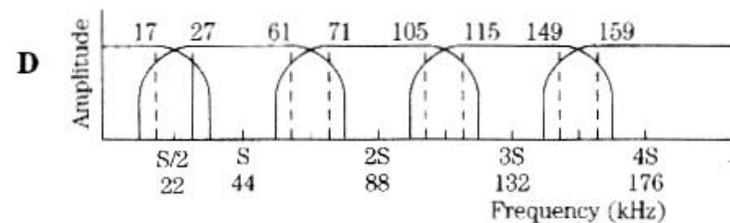
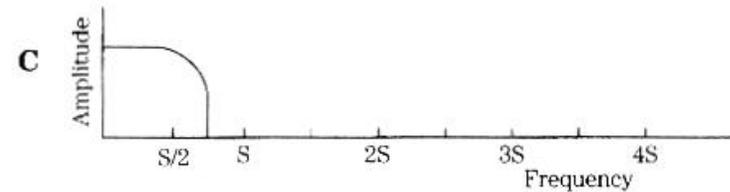
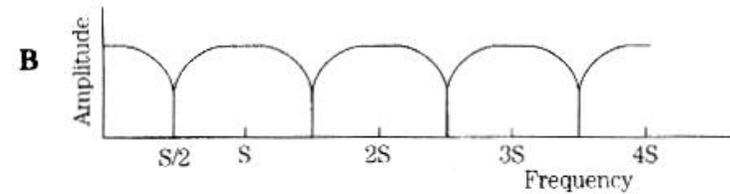
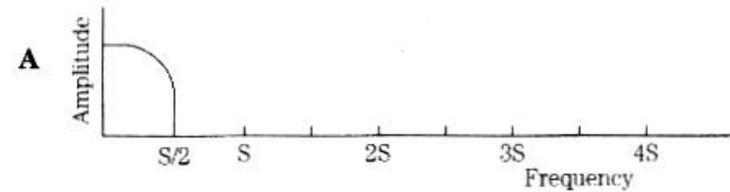
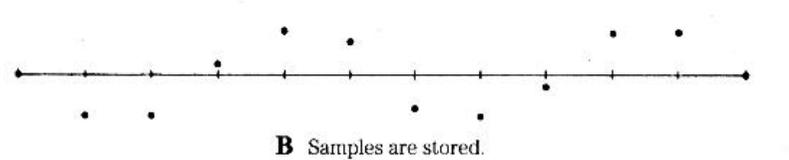
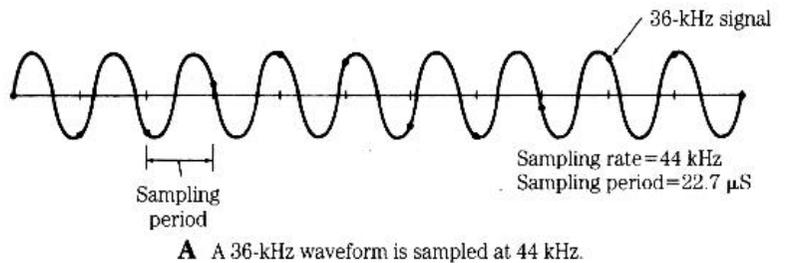
- Zeit/Spektralverhalten der Abtastung bei bandbreitenbegrenztem Eingangssignal



Digitalisierung

- Zeit/Spektralverhalten der Abtastung bei nicht bandbreitenbegrenztem Eingangssignal

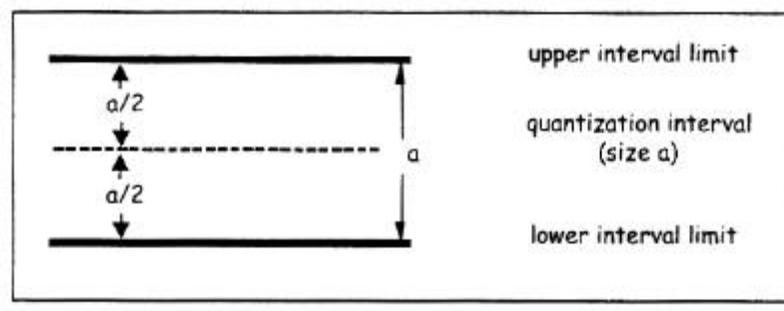
Eingangssignal-Anteil tritt immer bei $f_s \pm f_e$ auf



Digitalisierung

■ Lineare Amplitudenquantisierung

- ◆ Umwandlung eines kontinuierlichen Signalwertes in einen diskreten
 - ✦ Wertebereich des analogen Eingangssignals wird dabei in gleichgroße Intervalle eingeteilt
 - ✦ jedem Intervall wird ein diskreter Zahlenwert zugewiesen
 - ✦ alle Signalwerte die im Intervall liegen werden durch diesen diskreten Zahlenwert dargestellt

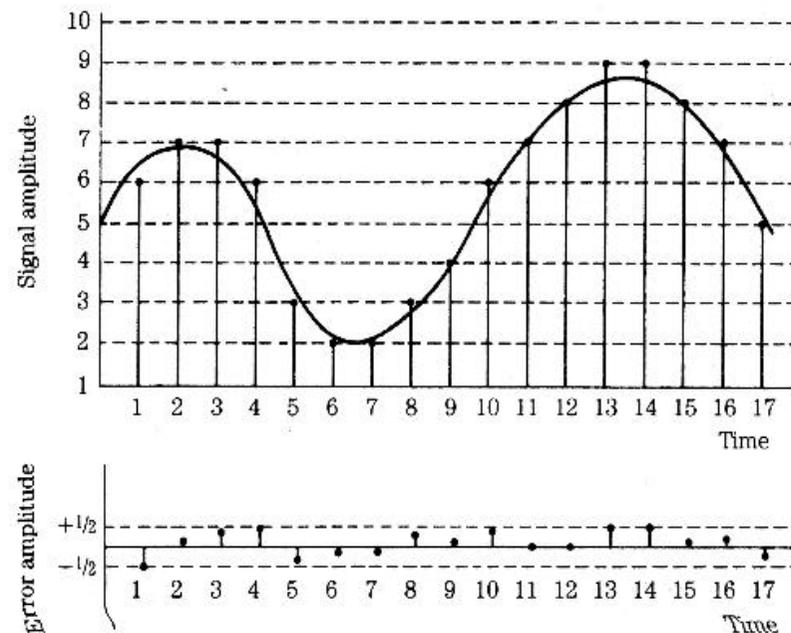


- ✦ dadurch entsteht sogenannter "Quantisierungsfehler" (=Rauschen)
- ✦ zusätzlich auch noch andere "Verzerrungen"

Digitalisierung

■ Quantisierungsfehler

- ◆ Quantisierung liefert wechselnden Fehler, der von Eingangssignalgröße abhängig ist
- ◆ diese ständig wechselnde Fehler wird als “Quantisierungsrauschen” wahrgenommen
- ◆ maximaler Quantisierungsfehler ist $a/2$, im Durchschnitt $a/4$



Digitalisierung

■ Quantisierungsfehler

- ◆ wie groß ist Signal/Quantisierungsfehler-Abstand?
 - ✦ hängt von Anzahl der Quantisierungsstufen ab
 - ✦ es läßt sich zeigen, daß pro zusätzlichem Quantisierungs-Bit der Quantisierungsfehler um 6 dB abnimmt (Halbierung des Fehlers)

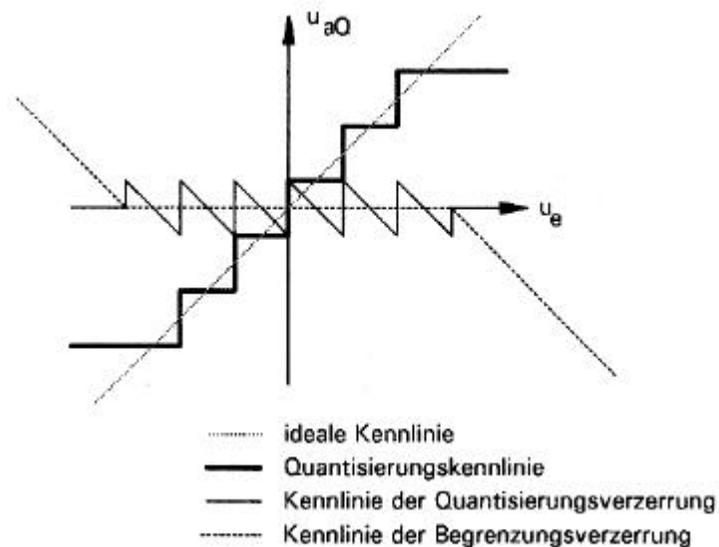
- ◆ wie groß ist der Dynamikbereich?
 - ✦ entspricht praktisch dem Signal/Quantisierungsfehler-Abstand

- ◆ interessant (läßt sich herleiten)
 - ✦ Klirrfaktor (Maß der Verzerrung) ist nur von Anzahl der Quantisierungsstufen abhängig, nicht vom Signalpegel
 - ✦ Signal/Rauschabstand ist nur von Quantisierungsrauschen Abhängig, steigt z.B. Eingangspegel um 10dB wird auch SNR um 10dB besser

Digitalisierung

■ Quantisierungsfehler

- ◆ andere Fehlerquelle
 - ✦ Begrenzung des Wertebereichs der Quantisierung -> Begrenzungsverzerrungen
 - ✦ entspricht den Aussteuerungsgrenzen eines analogen Systems
- ◆ Überblick über die wichtigsten Fehlereinflüsse



Digitalisierung

■ Nichtlineare Amplitudenquantisierung

- ◆ Nachteil der linearen Amplitudenquantisierung ist Abhängigkeit des SNR vom Eingangspegel
- ◆ kleiner Signalpegel: kleiner Signal-Rauschabstand
- > Dynamik schlecht, da kleine Signale schlecht darstellbar

■ Wunsch

- ◆ pegelunabhängiger Signal-Rausch-Abstand
- ◆ bei kleinen Pegeln großer SNR
- ◆ dafür bei großen Pegeln kleinerer SNR

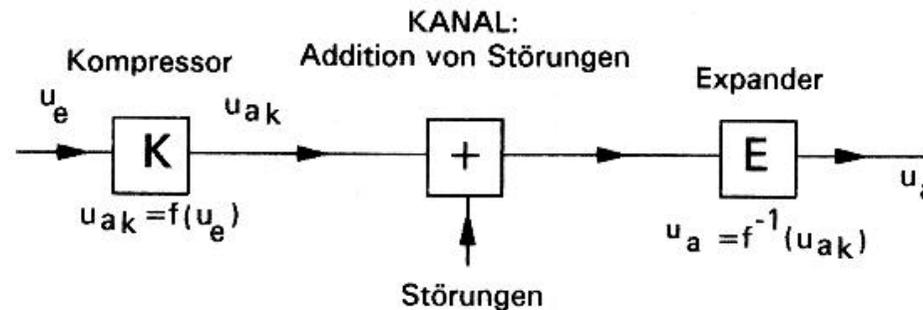
■ Lösung

- ◆ Kompressor/Expander-Verfahren (Kompander)

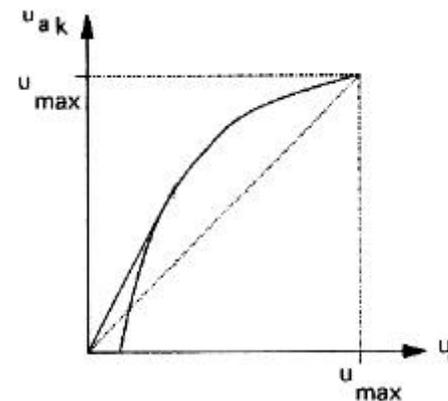
Digitalisierung

■ Nichtlineare Amplitudenquantisierung

- ◆ Kompressor reduziert Signalpegel bei großem Eingangssignal
- ◆ Expander kehrt dies auf Empfängerseite wieder um (sonst gibt's Verzerrungen)



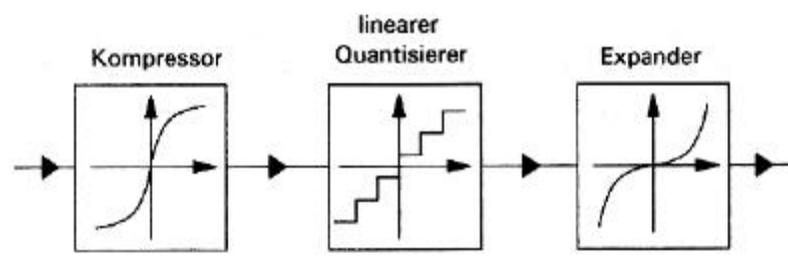
- ◆ Kompressorkennlinie



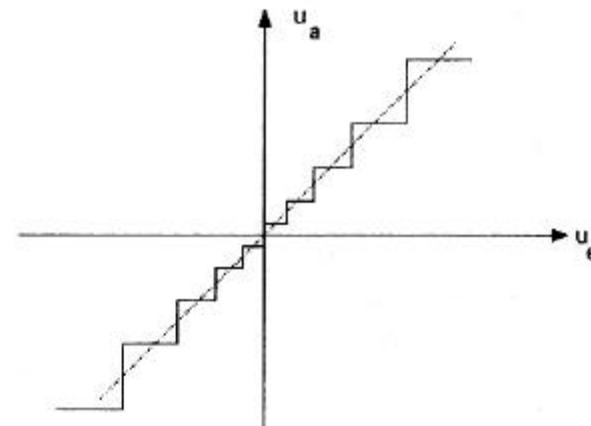
Digitalisierung

■ Nichtlineare Amplitudenquantisierung

- ◆ logarithmische Kompressor/Expanderkennlinie meist durch stückweise lineare Approximation nachgebildet
- ◆ zwischen Kompressor und Expander ist linearer Quantisierer (Übertragungskanal) eingebettet



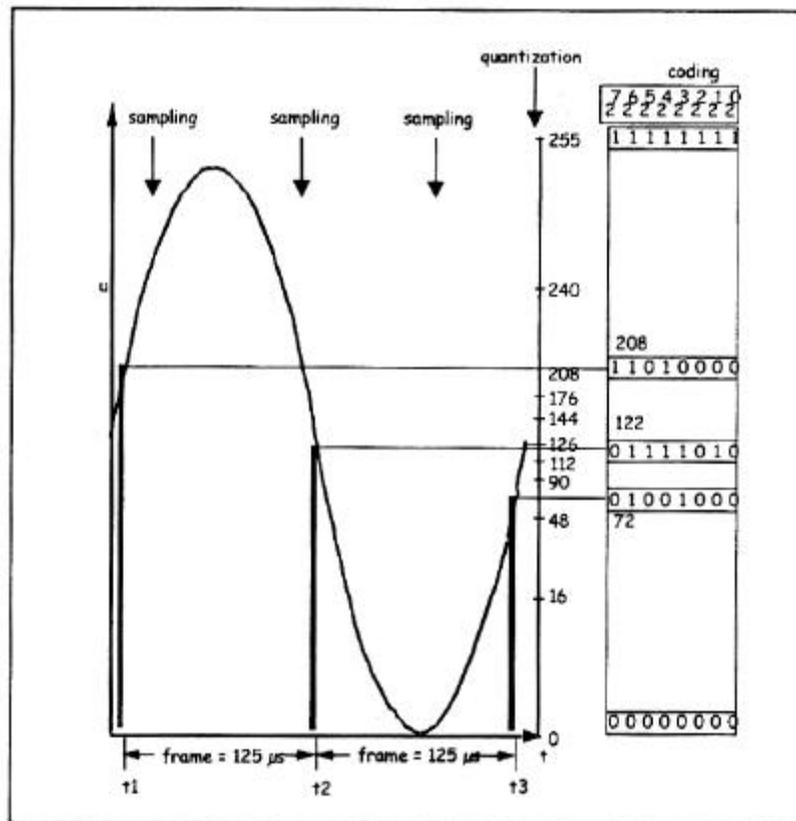
- ◆ erhaltene Quantisierungskurve



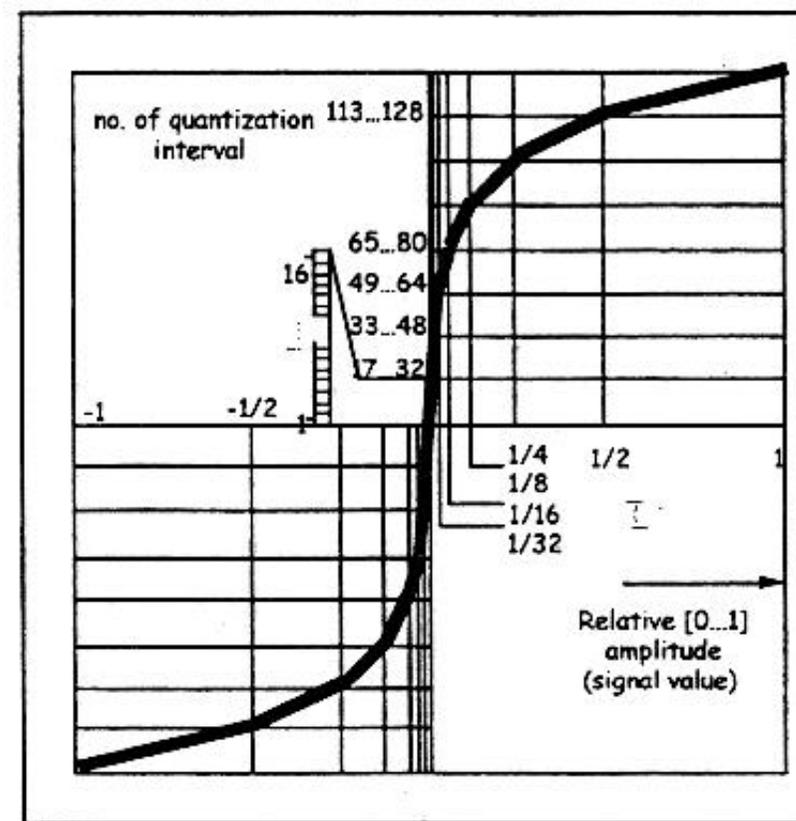
Digitalisierung

■ Lineare/Nichtlineare Amplitudenquantisierung

lineare Amplitudenquantisierung



nicht lineare Amplitudenquant.



Digitalisierung

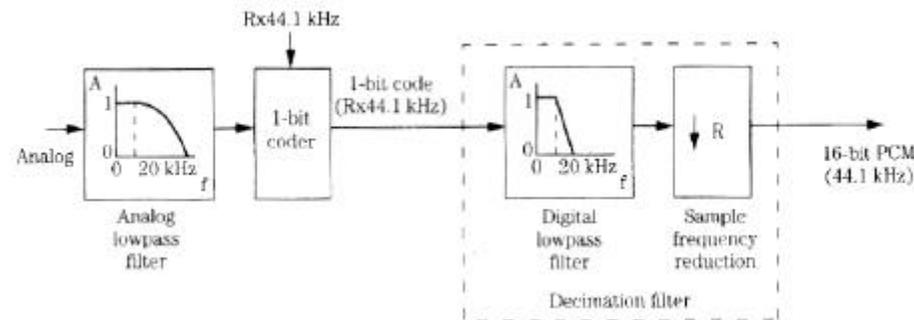
■ Implementierung der Quantisierung/Decodierung

◆ Quantisierung

✦ Analog-Digital-Wandler (A/D-Converter, ADC)

✦ verschiedene Verfahren

- sukzessive Approximation (langsam), Problem mit TP-Filter am Eingang
- oversampling ADC (1-Bit-Abtastung mit sehr hoher Abtastrate und anschließendem Digitalfilter und Ratenwandlung)



◆ Decodierung

✦ Digital-Analog-Wandler (D/A-Converter, DAC)

- R-2R Widerstandsaddiernetzwerk
- oversampling DAC mit 1-Bit Wandlung und TP-Filter