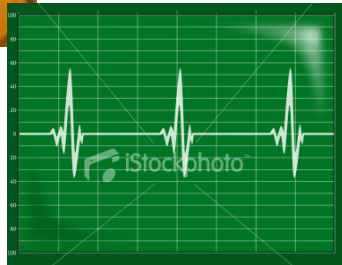
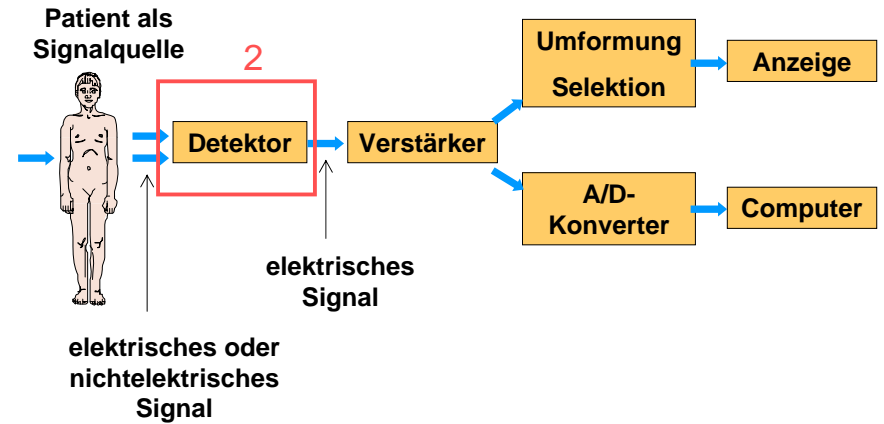




## Kleine medizinische Signalverarbeitung



1



2

## Detektor

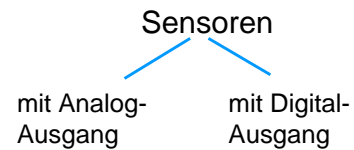
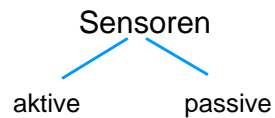
(Sensor, Umformer, Wandler, Transducer, ...)



Umwandlung der nichtelektrischen in elektrischen Signale.



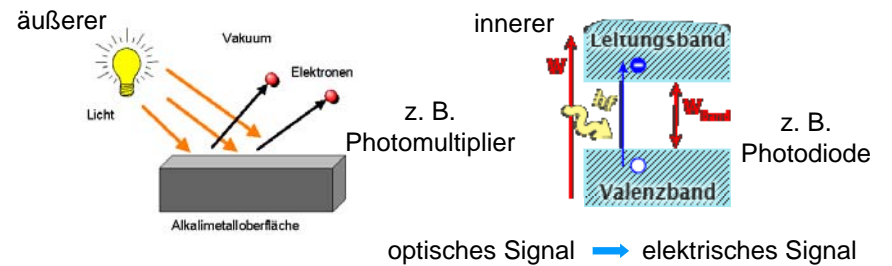
Bei elektrischen Signalen: Detektor → Elektroden



3

## Einige Detektor-Effekte

### • Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



### • Radio-, Röntgenolumineszenz



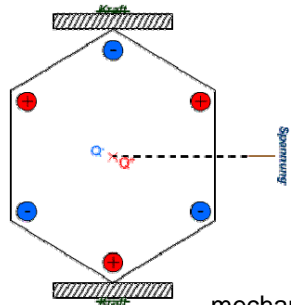
z. B. NaI(Tl)



Strahlungssignal → optisches Signal

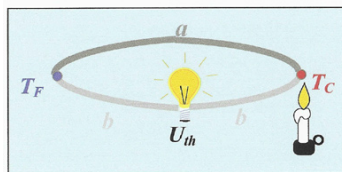
4

- Piezoelektrischer Effekt (griech. *piézein* - pressen, drücken)



mechanisches Signal → elektrisches Signal

- Seebeck-Effekt



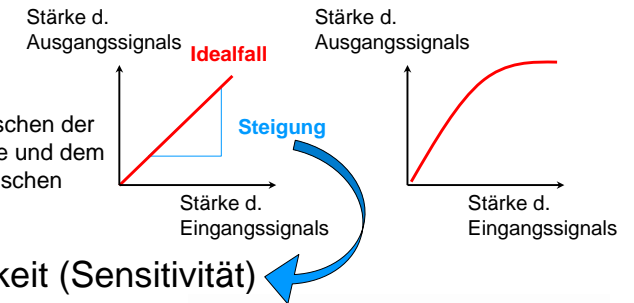
thermisches Signal → elektrisches Signal

5

## Kenngrößen des Detektors

- Kennlinie

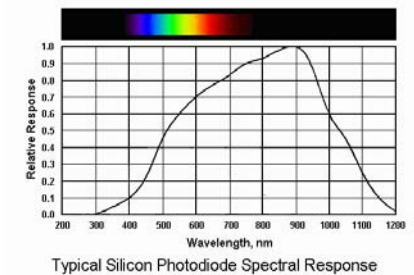
... beschreibt den Zusammenhang zwischen der zu messenden Größe und dem resultierenden elektrischen Ausgangssignal.



- Empfindlichkeit (Sensitivität)

... ist die Steigung der Kennlinie.

- Empfindlichkeitskurve



- Auflösung

zeitliche, räumliche, ...

6

## Rauschen

**Rauschen:** die gemessenen (als Signalinformationen dienenden) physikalischen Parameter, die nicht von den zu untersuchenden Erscheinungen stammen, also keine Nutzinformationen übermitteln.

**Signal-Rausch-Verhältnis (S/R):**

$$S/R = \frac{\text{mittlere Nutzsignalleistung}}{\text{mittlere Rauschleistung}} \quad \text{oder} \quad \frac{\text{Signalimpulszahl}}{\text{Rauschimpulszahl}}$$

- ist ein Maß für die Qualität eines aus einer Quelle stammenden Nutzsignals, das von einem Rauschsignal überlagert ist
- bezeichnet oft als **SNR** oder **S/N** vom Englischen signal-to-noise ratio

7

Beispiel für verschiedene S/R-Werte:

Signal/Rausch = 1

dbiueriddueadeanuskicnedjnuidcdhotqviearla  
sntrwgomrdtulaigcoahffümhrhdcaasuwoadsc  
dbirecmceqnjsucqhdeonaaautsfichjnuednnm  
napcmhfeknj

Signal/Rausch = 5

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffürd  
caswadsiemcenscqhenausihnnenmachen

Signal/Rausch = 11

diecidetensindnichtfvmerantwortlichfürdasw  
asdiemenschenausihnnenmaochenm

8

Signal/Rausch = 5

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür  
dcaswadsiemcenscqhenausiennenmachfen

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür  
dcaswadsiemcenscqhenausiennenmachfen

Filtern

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür  
dcaswadsiemcenscqhenausiennenmachfen

d i eideensin dnichtv erantwortlic h f ür  
d a s w a s diem ens c henausiennen mach en

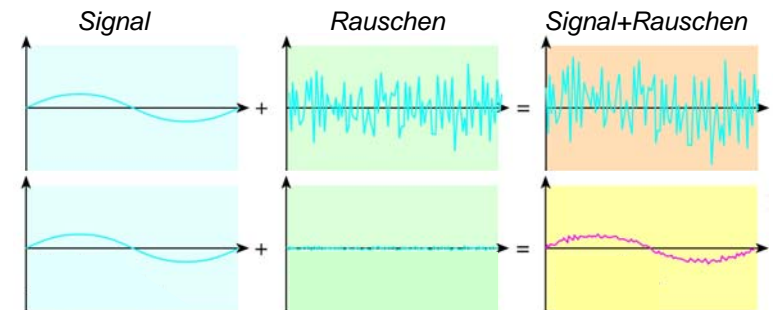
(Werner Heisenberg)

9

## Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses

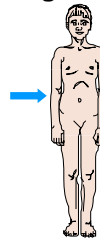
- Anheben der Signalstärke
- Verminderung des Rauschens

- Abschirmung
- Filterung
- Mittelung



10

Patient als  
Signalquelle



Detektor

elektrisches  
Signal

3

Verstärker

Umformung  
Selektion

Anzeige

A/D-  
Konverter

Computer

elektrisches oder  
nichtelektrisches  
Signal

11

## (elektrischer) Verstärker

Eingangssignal  $P_{\text{ein}}, U_{\text{ein}}$  → Verstärker → Ausgangssignal  $P_{\text{aus}}, U_{\text{aus}}$

Anforderungen: (1)  $P_{\text{ein}} < P_{\text{aus}}$   
(2) zeitlicher Ablauf von Ausgangssignal und Eingangssignal (möglichst) gleich

Charakteristische Parameter:

Leistungsverstärkungsfaktor  $V_P = \frac{P_{\text{aus}}}{P_{\text{ein}}}$

Spannungsverstärkungsfaktor  $V_U = \frac{U_{\text{aus}}}{U_{\text{ein}}}$

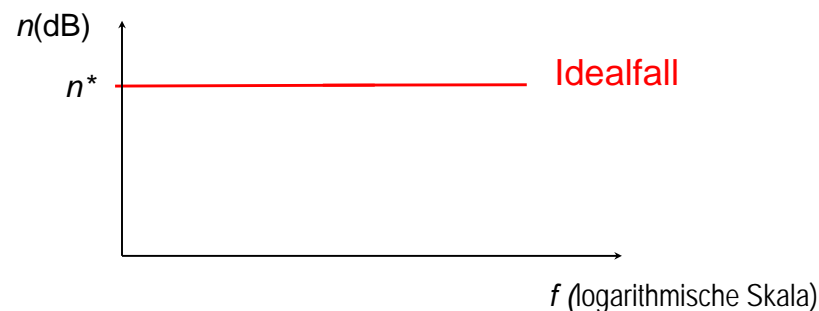
Verstärkung mit Dezibel-Zahl:

$$n = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{aus}}}{P_{\text{ein}}} \text{ (dB)} = 10 \cdot \lg V_P \text{ (dB)}$$

12

## Frequenzübertragungsfunktion

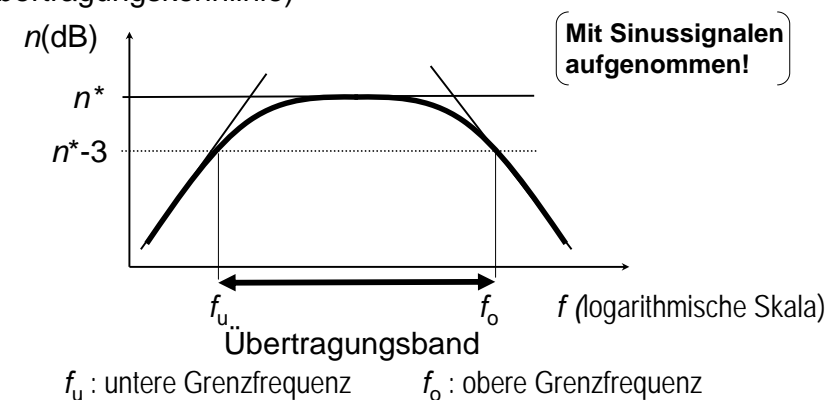
(Frequenzgang, Frequenz-Antwort-Funktion, Übertragungskennlinie)



13

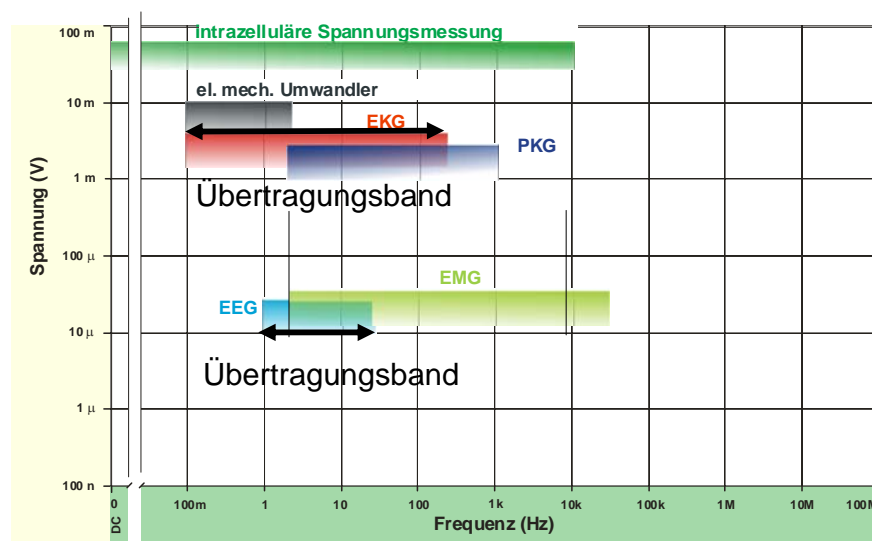
## Frequenzübertragungsfunktion

(Frequenzgang, Frequenz-Antwort-Funktion, Übertragungskennlinie)



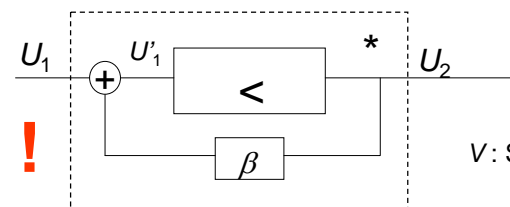
→  $n^*, f_u, f_o$

14



15

## Rückkopplung(sverstärker)



$$V_R = \frac{V}{1 - \beta V}$$

$V$ : Spannungsverstärkungsfaktor des Verstärkers (ohne R.k.)

$\beta$ : Rückkopplungsfaktor

$V_R$ : Spannungsverstärkungsfaktor des rückgekoppelten Verstärkers

**Mitkopplung** (positive R.k. – gleiche Phase):

$$\beta > 0, V_R > V$$

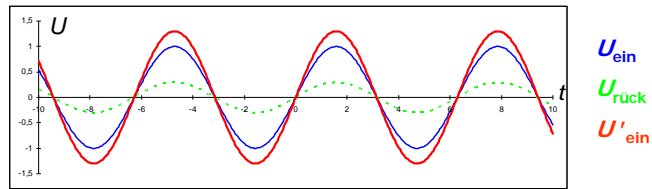
**Gegenkopplung** (negative R.k. – entgegengesetzte Phase):

$$\beta < 0, V_R < V$$

16

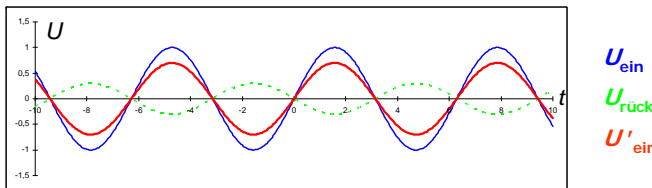
**Mitkopplung** (positive R.k. – gleiche Phase):

$\beta > 0, V_R > V$  → Sinusoszillator ( $\beta V = 1$ , Verstärkung: „unendlich“)  
→ Ultraschall(generator), Wärmetherapie(gen.)

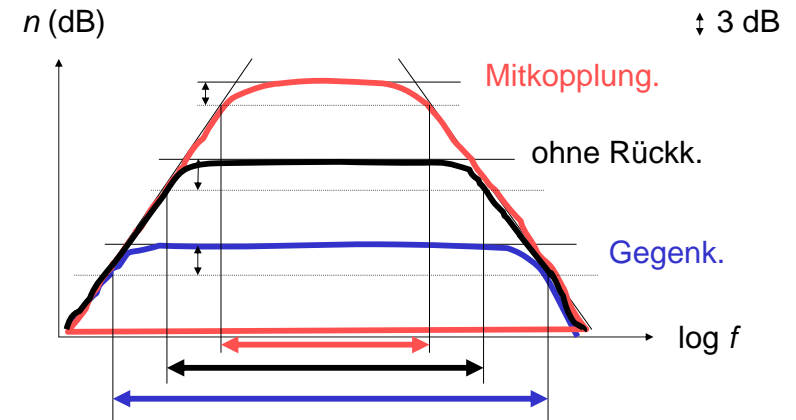


**Gegenkopplung** (negative R.k. – entgegengesetzte Phase):

$\beta < 0, V_R < V$  → alle Verstärker von hoher Qualität



17



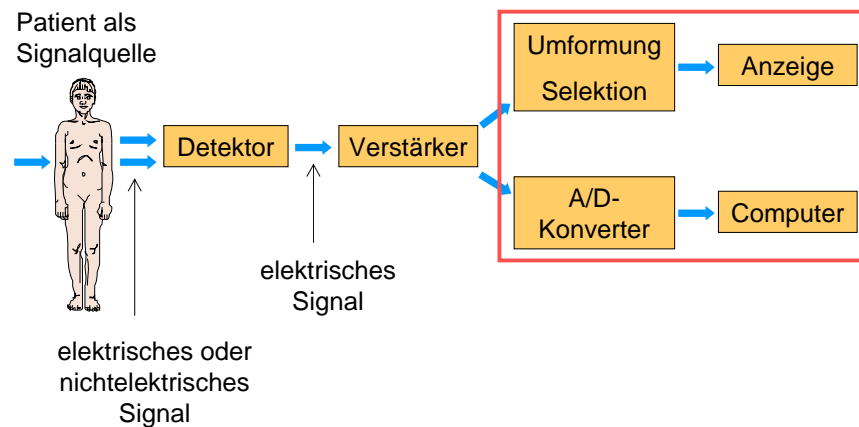
**Mitkopplung:** Übertragungsband – schmaler (Nachteil)

**Gegenkopplung:** Übertragungsband – breiter (Vorteil)

18

## Medizinische Signalanalysekette

4

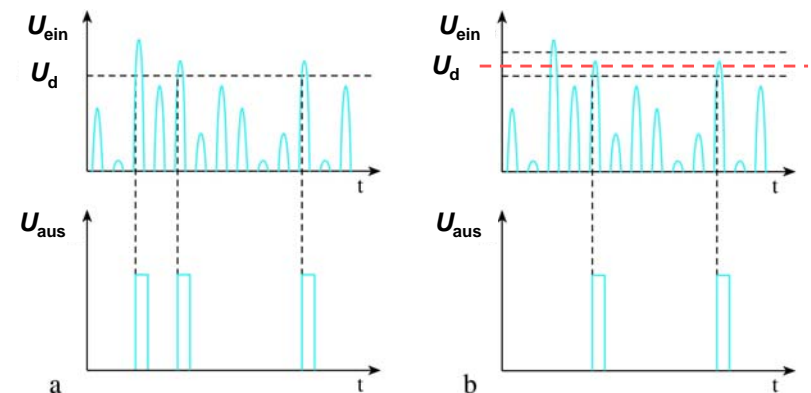


19

## Selektierung von Impulssignalen

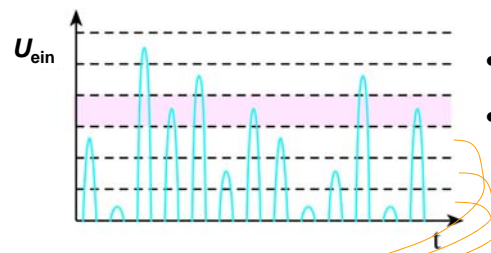
Integraldiskriminator (ID)

Differenzialdiskriminator (DD)

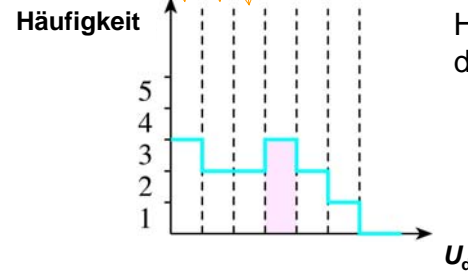


s. monostabiler Multivibrator (2. Semester)

20



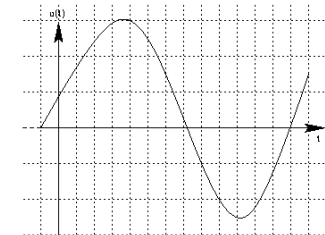
- 1 Kanal nacheinander
- Vielkanalanalysator



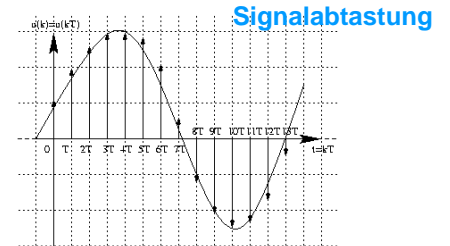
Häufigkeitsverteilung der Impulsamplitude

s.  $\gamma$ -Energie Messung  
Coulter-Zähler  
(2. Semester)

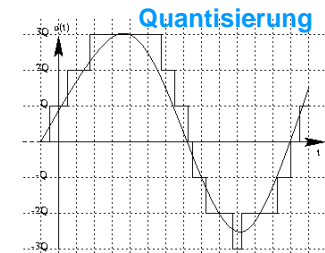
## A/D-Konversion



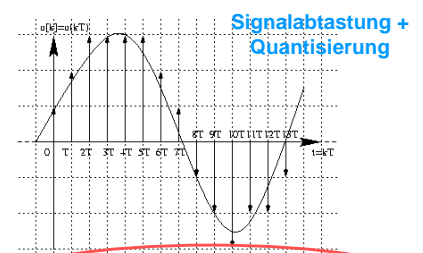
analoges Signal: zeit- und wertkontinuierliches S.



zeitdiskretes, wertkontinuierliches S.

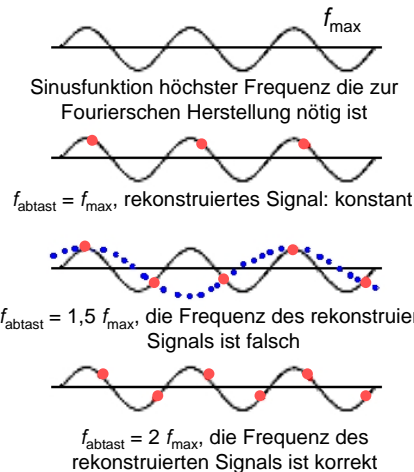


wertdiskretes, zeitkontinuierliches S.



digitales Signal: zeit- und wertdiskretes S.

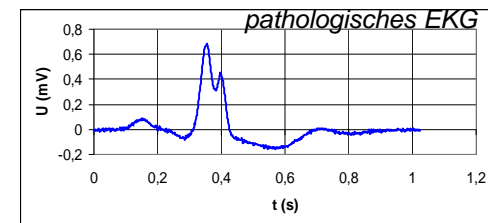
**zeitdiskretes Signal:** man kennt den Signalwert nicht in allen Zeitpunkten



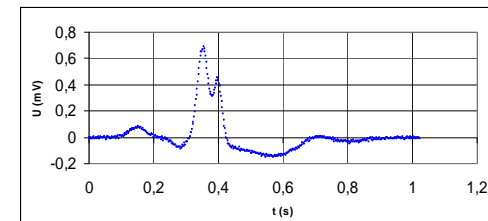
### Nyquist-Shannon Abtasttheorem:

Ein Signal einer Maximalfrequenz  $f_{\text{max}}$  muss mit einer Frequenz größer als  $2f_{\text{max}}$  abgetastet werden, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust rekonstruieren kann.

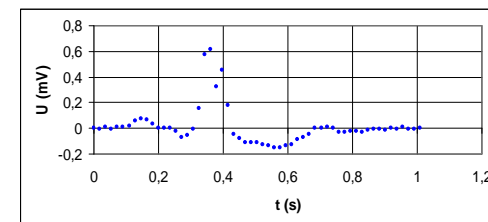
(z.B.: hifi,  $f_{\text{max}} = 20 \text{ kHz}$   
 $f_{\text{abtast}} = 44,1 \text{ kHz} > 2 \cdot 20 \text{ kHz}$ )



analoges Signal  $f_{\text{max}} = 200 \text{ Hz}$

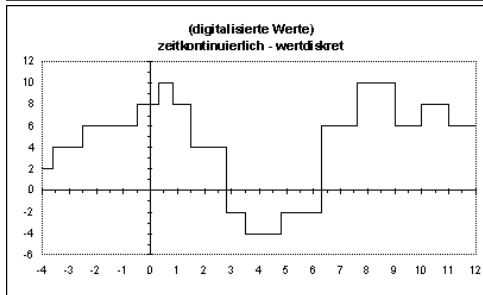
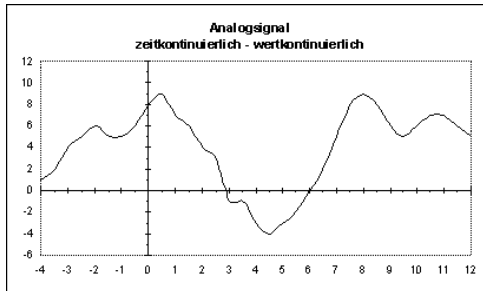


zeitdiskretes Signal  
 $f_{\text{abtast}} = 500 \text{ Hz} > 2 f_{\text{max}}$



zeitdiskretes Signal  
 $f_{\text{abtast}} = 50 \text{ Hz} < 2 f_{\text{max}}$

**wertdiskretes Signal:** der Wert des Signals kann nicht beliebig groß sein



**binäres Signal =**  
zwei Werte (Zustände)

1 bit  $\rightarrow$  2 Werte  $2^1$

2 bit  $\rightarrow$  4 Werte  $2^2$

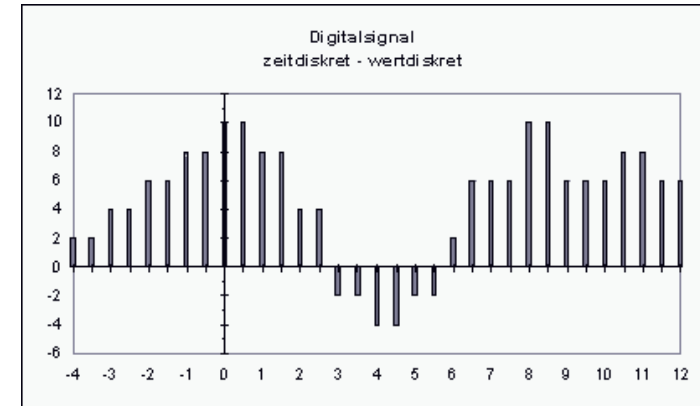
3 bit  $\rightarrow$  8 Werte  $2^3$

...

(z.B.: hifi, 16 bit =  $2^{16} = 65\,536$   
(CD Standard)  
24 bit =  $2^{24} = 16\,777\,216$   
("beste" Tonkarte)

25

**Digitalsignal:** zeit- und wertdiskretes Signal



- wesentlich geringere Störanfälligkeit
- eine fast vollständige regenerierbarkeit entlang der Übertragungsstrecke

26