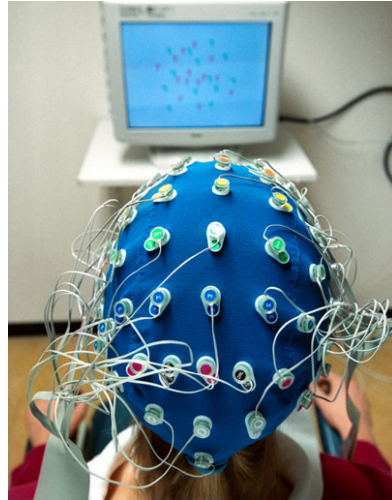


Signalverarbeitung

1. Klassifizierung und charakterisierung der Signale
2. Signalverarbeitungskette



Klassifizierung und charakterisierung der Signale

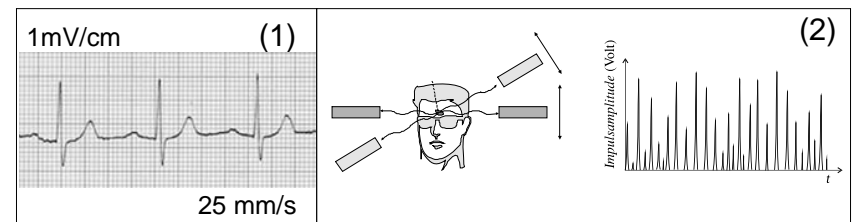
Signal: eine Grösse, die **Information** trägt, weiterleitet oder speichert.

Beispiel1:

elektrische Spannung, die infolge der Herz-/Gehirntätigkeit auf der Körper-/Schädeloberfläche erscheint (EKG/EEG)

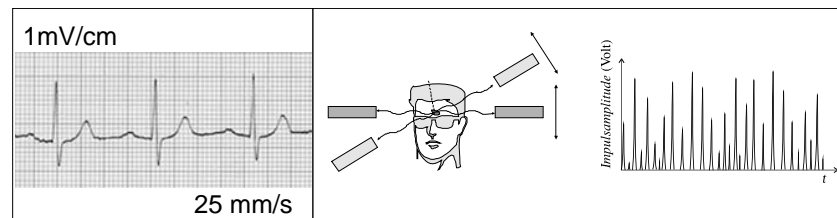
Beispiel2:

die detektierte Gamma-Quanten bei der Isotopendiagnostik



Klassifizierung der Signale

- | | | |
|----------------------|---|------------------------|
| periodisches S. | – | nichtperiodisches S. |
| stochastisches S. | – | nichtstochastisches S. |
| nichtelektrisches S. | – | elektrisches S. |
| analoges S. | – | digitales S. |



3

in ausgezeichneter Rolle

elektrische Signale

die nichtelektrische Signale werden in elektrische Signale umgewandelt

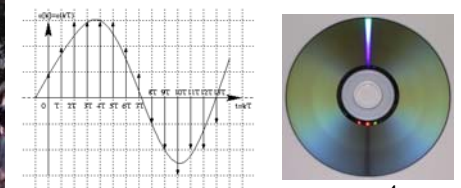
Vorteil der elektrischen S.:
Umwandlung, Verstärkung, Weiterleitung ist einfach



digitale Signale

die analoge Signale werden digitalisiert

Vorteil der digitalen S.:
Speicherung ist einfach, Rauschen kann minimalisiert werden



4

Grösse (und Einheit), die für die Vergleichung der Maße der Signale verwendet wird:

Bel-Zahl: n (nach Alexander Graham Bell)

Einheit von n : Bel (B)

$$n = \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ B} = \lg \frac{I_2}{I_1} \text{ B} = \lg \frac{E_2}{E_1} \text{ B}$$

Zehnerlogarithmus des Quotienten von zwei Leistungen (oder Intensitäten, oder Energien)

Anstatt der Bel-Zahl die benützte Grösse:

Dezibel-Zahl oder Pegel:

$$n = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}$$

5

charakteristische Grösse: Leistung (o. Intensität/ Energie),
technische Grösse: (elektrische) Spannung

Zusammenhang zwischen der Leistung und der Spannung:

$$P = U \cdot I = U^2 / R \quad (\text{Ohm : } U = R \cdot I)$$

Dezibel Zahl mit Spannungsverhältnis

$$\boxed{n} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{U_2^2 / R_2}{U_1^2 / R_1} \text{ dB} =$$

$$= 10 \cdot \lg \frac{U_2^2}{U_1^2} \text{ dB} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB}$$

$R_2 \approx R_1$

6

$$\frac{P_2}{P_1} = 2 \Leftrightarrow 10 \lg 2 \text{ dB} =$$

$$= 10 \cdot 0,3 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{2} \Leftrightarrow -3 \text{ dB}$$

vgl. Halbwerts-Zeit/Dicke

$$\frac{P_2}{P_1} = 10 \Leftrightarrow 10 \lg 10 \text{ dB} =$$

$$= 10 \cdot 1 \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

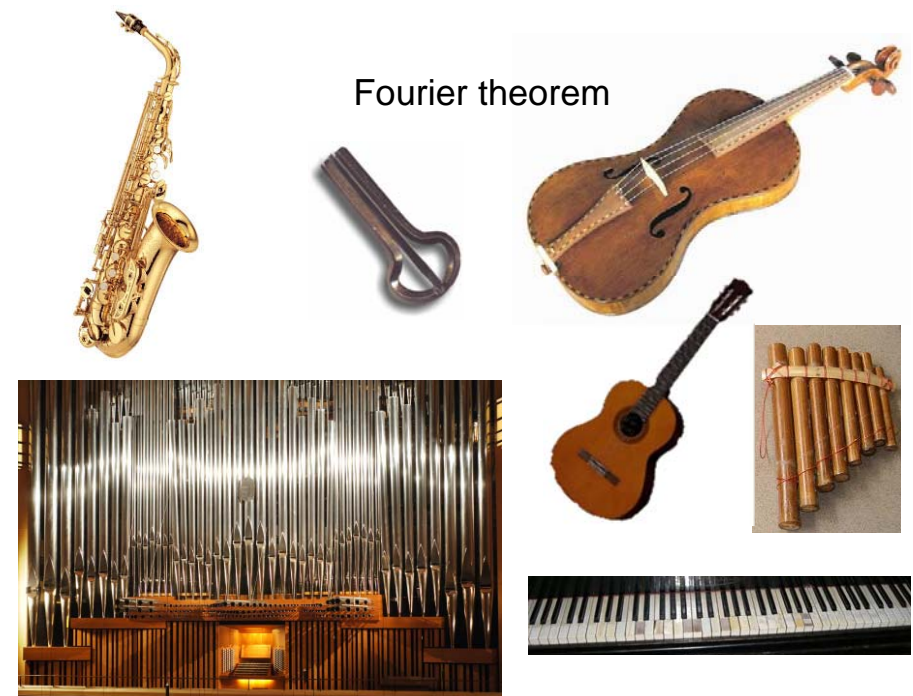
$$\frac{P_2}{P_1} = 100 \Leftrightarrow 10 \lg 100 \text{ dB} =$$

$$= 10 \cdot 2 \text{ dB} = 20 \text{ dB}$$

U_2/U_1	P_2/P_1	dB
1,414	2	3
2	4	6
	8	9
3,16	10	10
	20	13
10	100	20
	$1000=10^3$	30
$100=10^2$	$10000=10^4$	40
$1000=10^3$	10^6	60

7

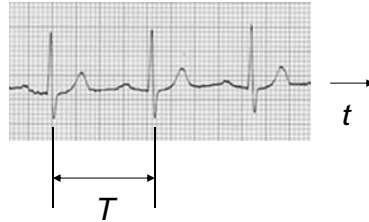
Fourier theorem



Fourier-Theorem für **periodische** Funktionen (Signale):

Jede periodische Funktion kann durch eine Summe von Sinus- (harmonischen) Funktionen (Grundfrequenz + Obertöne) hergestellt werden.

periodische Funktion: es gibt eine Periode(zeit), T



$1/T=f$, wo f ist die Frequenz

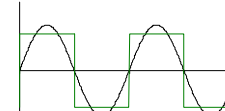
f ist die Frequenz der Sinusfunktion: **Grundfrequenz** (Grundschiwingung)

$2f, 3f, 4f, \dots$: **Obertöne** (Oberschwingungen)

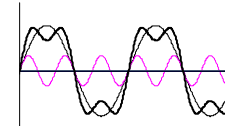
(Linienspektrum)

9

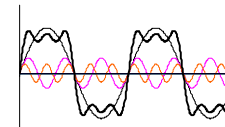
Funktionen



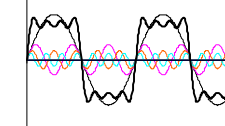
Rechteckf.
Grundfr.



Grundfr.+
3. Oberton

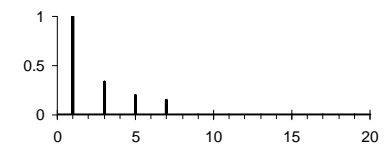
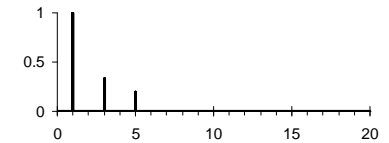
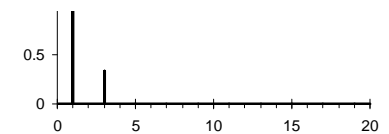
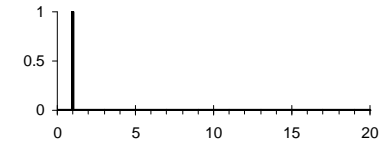


Grundfr.+
3. Oberton+
5. Oberton

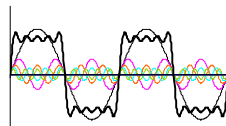


Grundfr.+
3. Oberton+
5. Oberton+
7. Oberton

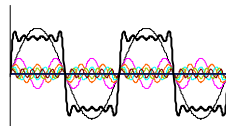
Spektrum



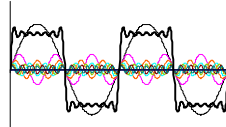
Funktionen



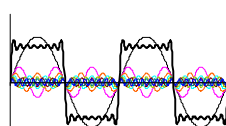
Grundfr.+
3. Oberton+
...+
9. Oberton



Grundfr.+
3. Oberton+
...+
11. Oberton

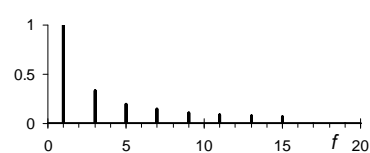
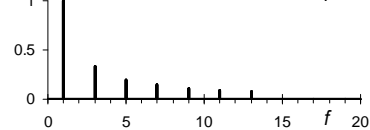
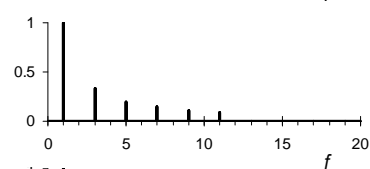
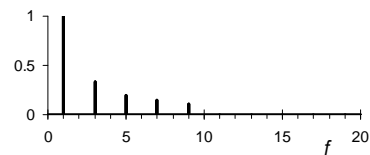


Grundfr.+
3. Oberton+
...+
13. Oberton

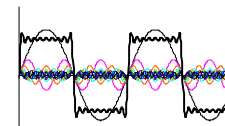


Grundfr.+
3. Oberton+
...+
15. Oberton

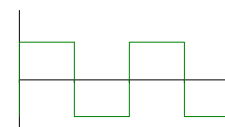
Spektrum



Funktionen

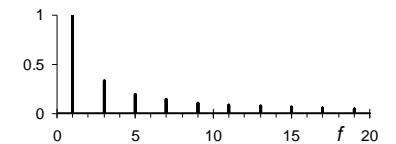
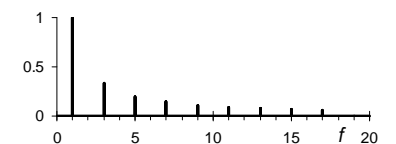


Grundfr.+
3. Oberton+
...+
17. Oberton



Grundfr.+
3. Oberton+
...+
17. Oberton+
...

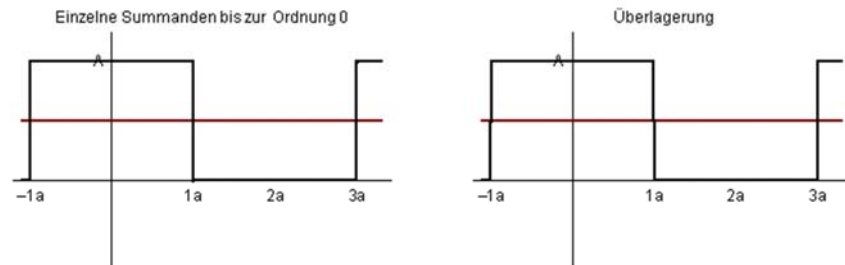
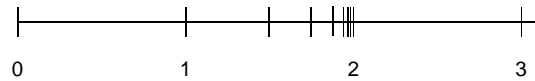
Spektrum



12

Vgl. Funktionsreihe

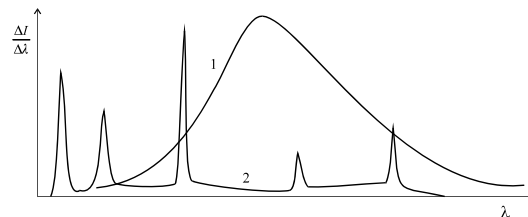
$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2^k} = \frac{1}{2^0} + \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2$$



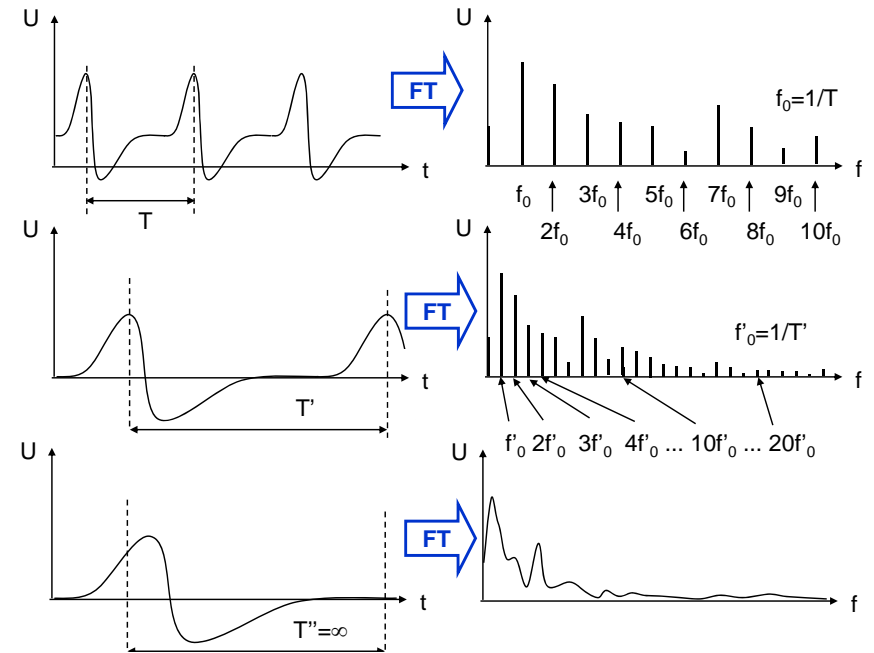
13

Fourier-Theorem für aperiodische Funktionen (Signale):
 Jede Funktion kann durch eine Summe von Sinus-
 (harmonischen) Funktionen hergestellt werden.
 Das Spektrum: kontinuierliches Spektrum.

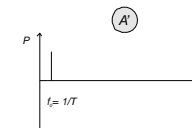
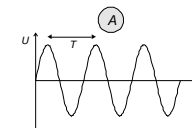
vgl. Emissionsspektren



15

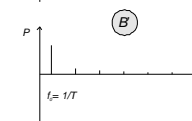
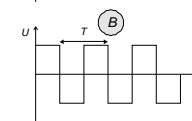


Sinus-
Funktion



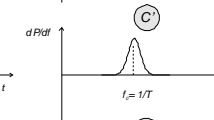
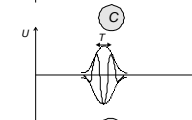
Linienpektrum (1 Linie)

periodische
Funktion



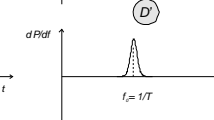
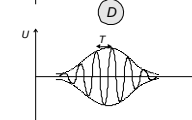
Linienpektrum

ein Paar
Periode



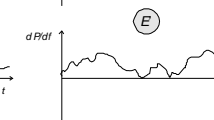
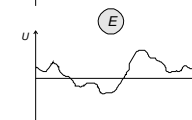
Bandenspektrum

ein Paar
Periode



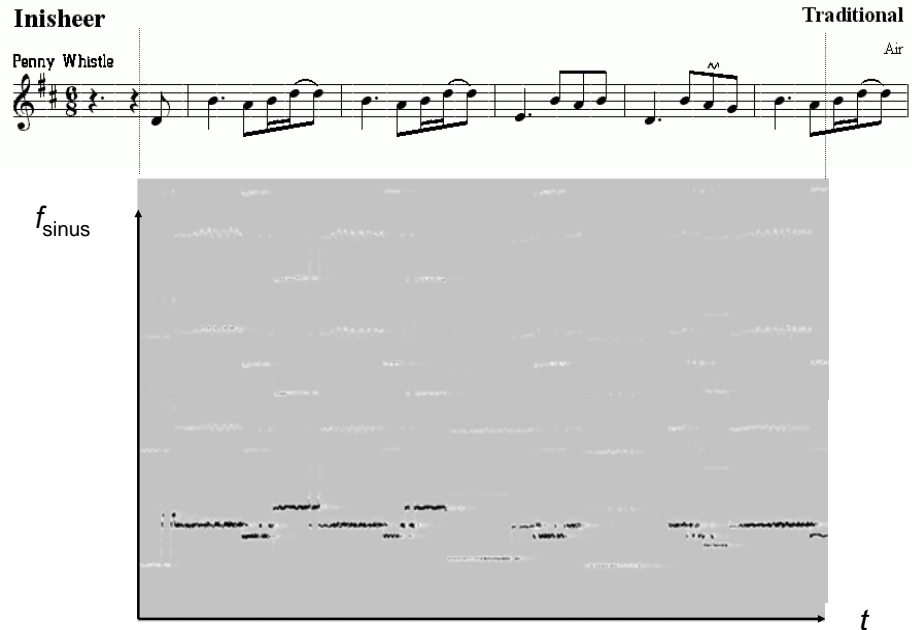
Bandenspektrum

aperiodische
Funktion



kontinuier. Spektrum

16

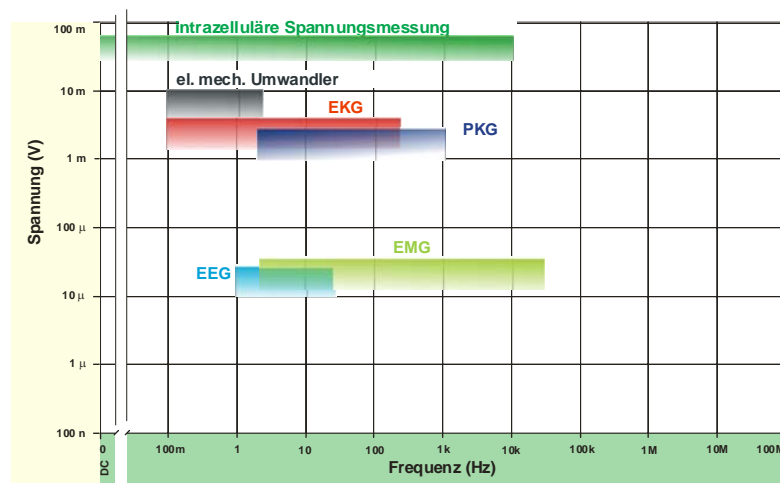


Einige charakteristischen Daten bioelektrischer Potentiale (Rontó-Tarján, Tabelle 7.4)

Aktionspotential	Frequenzbereich (Hz)	Spannung (mV)	Bemerkungen
Einzelzelle	0-10000	50-130	monophasisches Aktionspotential
Elektrokardiographie	0,1-200	0,1-3	
Elektroenzephalographie	1-70	0,001-0,1	
Elektrokortikographie	10-100	0,01-0,1	
Elektromyographie	10-1000	0,1-5	Oberflächen-elektrode
Elektromyographie	10-10000	0,05-5	Nadelektrode
Elektroretinographie	0,1-100	0,02-0,3	

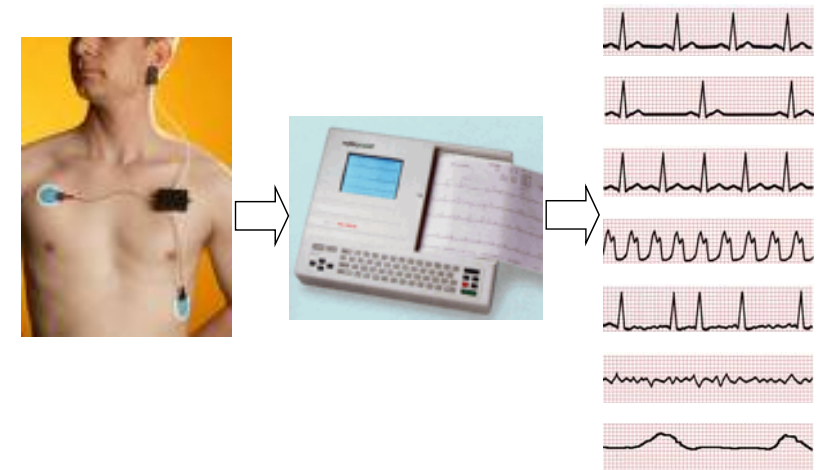
18

Einige charakteristischen Daten bioelektrischer Potentiale



19

Signalverarbeitungskette



20

Detektor

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

nichtelektrisches Signal → **Detektor** → elektrisches Signal

Umwandlung der nichtelektrischen in elektrischen Signale.



Bei elektrischen Signalen: Detektor → Elektroden



Sensoren

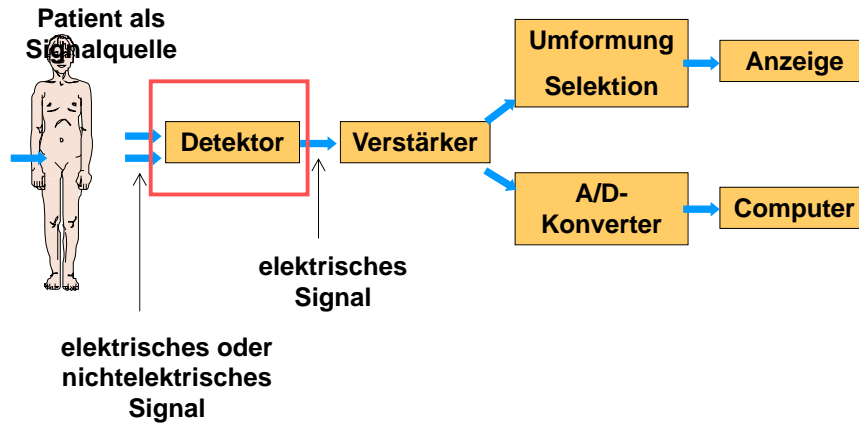
aktive

passive

Sensoren

mit Analog-Ausgang

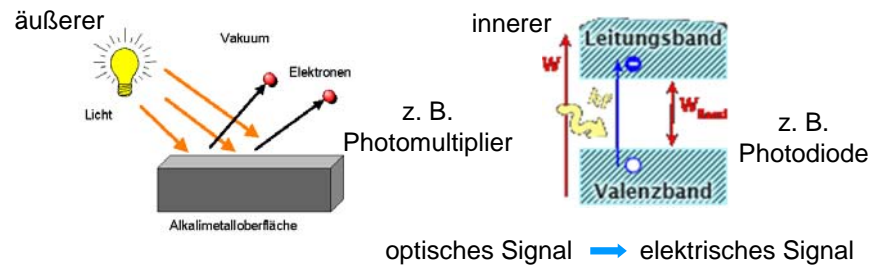
mit Digital-Ausgang



21

Einige Detektor-Effekte

• Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



• Radio-, Röntgenolumineszenz



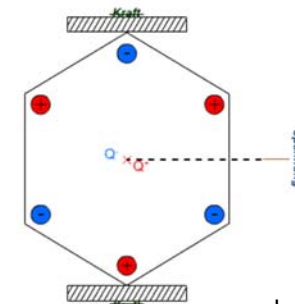
z. B. NaI(Tl)



Strahlungssignal → optisches Signal

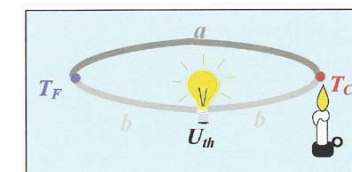
23

• Piezoelektrischer Effekt (griech. *piézēin* - pressen, drücken)



mechanisches Signal → elektrisches Signal

• Seebeck-Effekt



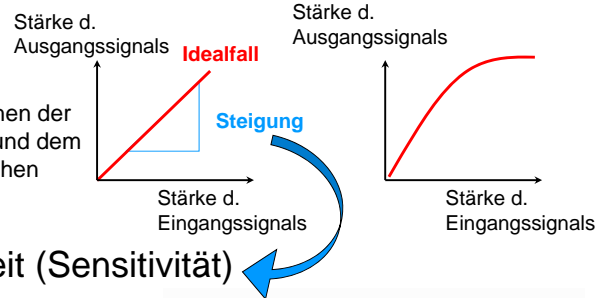
thermisches Signal → elektrisches Signal

24

Kenngrößen des Detektors

Kennlinie

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



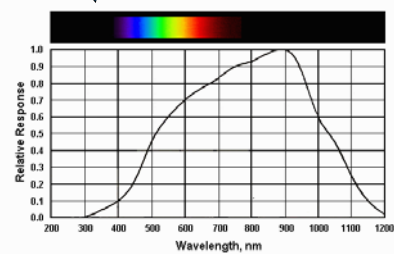
Empfindlichkeit (Sensitivität)

... ist die Steigung der Kennlinie.

Empfindlichkeitskurve

Auflösung

zeitliche, räumliche, ...



Typical Silicon Photodiode Spectral Response

25

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

26

Beispiel für verschiedene S/R-Werte:

Signal/Rausch = 1

dbiueriddueadeanuskicknedjnuidcdhotqviearla
snttrwgomrdtulaigcoahffümrdcaasuwoadsc
dbirecmceqnjsucqhdeonaaautsfichjnuednm
napcmhfeknj

Signal/Rausch = 5

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
caswadtdiemcenscqhenausihnenmachfen

Signal/Rausch = 11

dieidetensindnichtfvmverantwortlichfürdasw
asdiemenschenausihnenmaochenm

27

Signal/Rausch = 5

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
dcaswadtdiemcenscqhenausihnenmachfen

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
dcaswadtdiemcenscqhenausihnenmachfen

Filtern

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
dcaswadtdiemcenscqhenausihnenmachfen

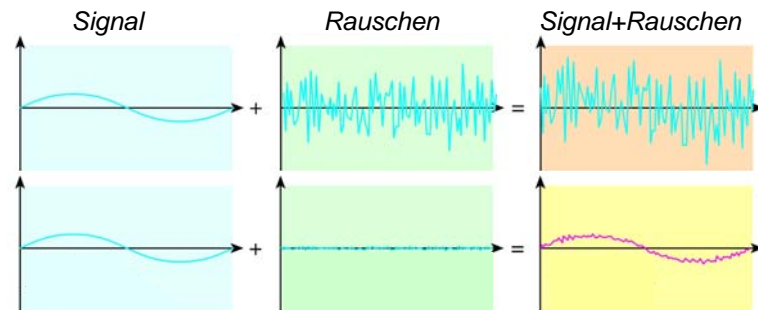
d i e i d e e n s i n d n i c h t v e r a n t w o r t l i c h f ü r
d a s w a s d i e m e n s c h e n a u s i h n e n m a c h e n

(Werner Heisenberg)

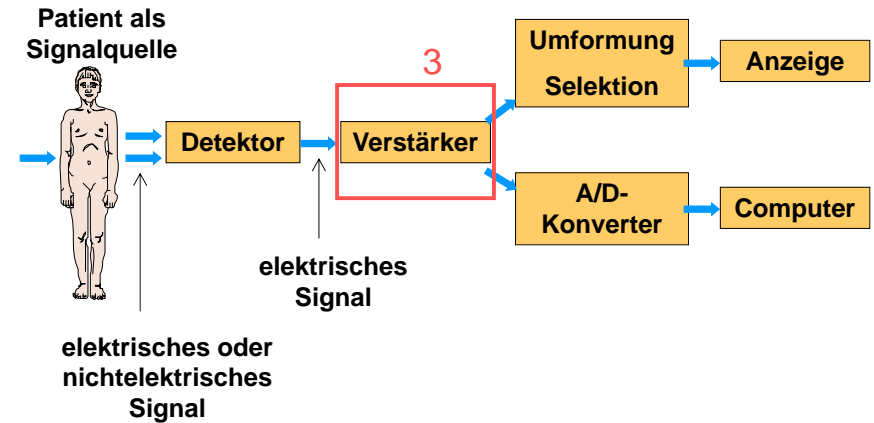
28

Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses

- Anheben der Signalstärke
- Verminderung des Rauschens
 - Abschirmung
 - Filterung
 - Mittelung



29



30

(elektrischer) Verstärker



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

Charakteristische Parameter:

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

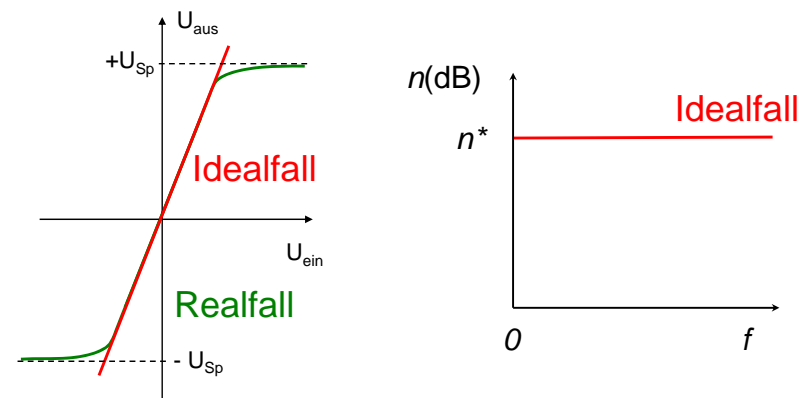
Spannungsverstärkungsfaktor $V_U = \frac{U_{\text{aus}}}{U_{\text{ein}}}$

Verstärkung mit Dezibel-Zahl:

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

31

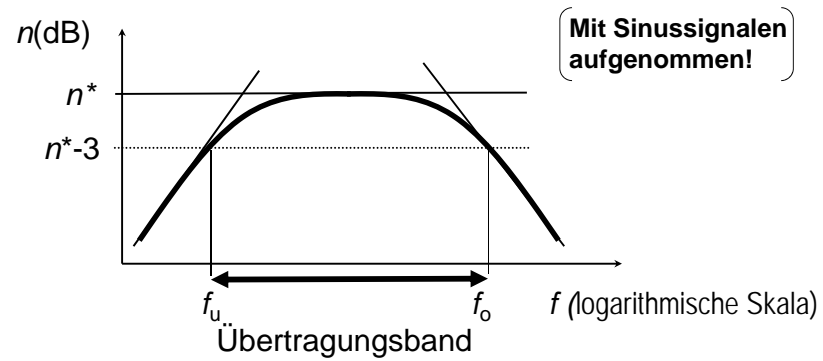
Frequenzübertragungsfunktion (Frequenzgang, Frequenz-Antwort-Funktion, Übertragungskennlinie)



32

Frequenzübertragungsfunktion

(Frequenzgang, Frequenz-Antwort-Funktion, Übertragungskennlinie)

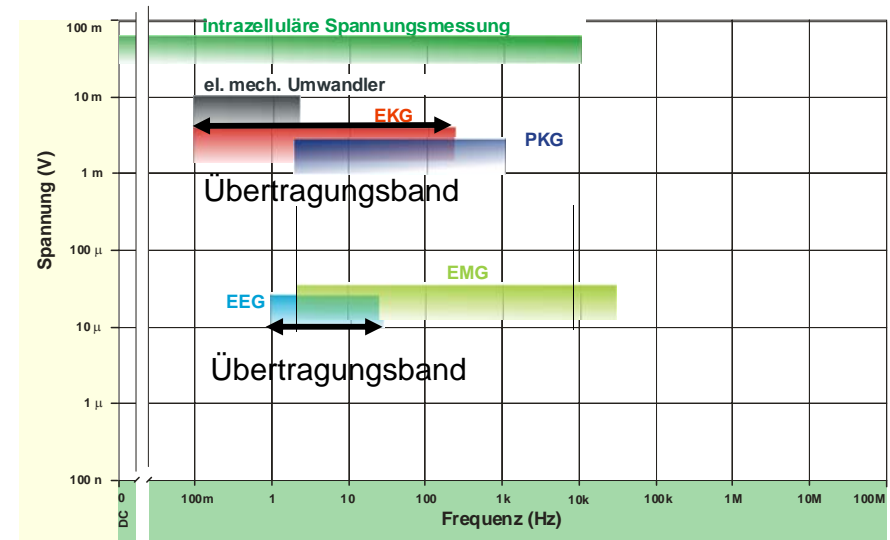


f_u : untere Grenzfrequenz

f_o : obere Grenzfrequenz

→ n^*, f_u, f_o

33



34