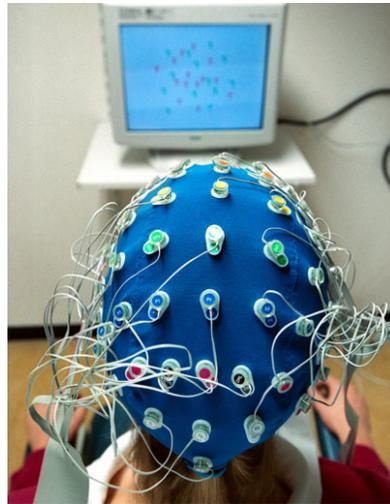


Signalverarbeitung

1. Klassifizierung und charakterisierung der Signale
2. Signalverarbeitungskette



Klassifizierung und charakterisierung der Signale

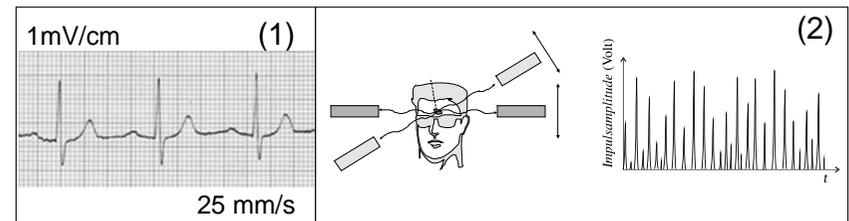
Signal: eine Grösse, die **Information** trägt, weiterleitet oder speichert.

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. |

in ausgezeichneter Rolle

elektrische Signale

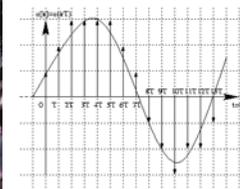
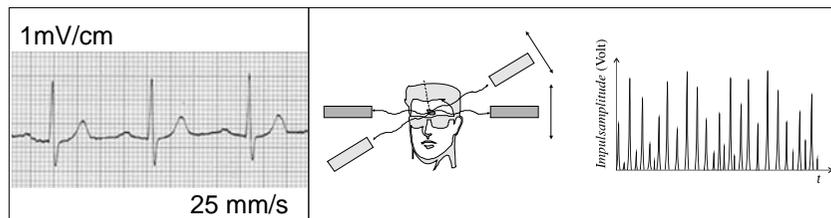
digitale Signale

die nichtelektrische Signale werden in elektrische Signale umgewandelt

die analoge Signale werden digitalisiert

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

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



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:

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

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

$$\begin{aligned} n &= 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB} = 10 \cdot \lg \frac{U_2^2 / R_2}{U_1^2 / R_1} \text{ dB} = \\ &= 10 \cdot \lg \frac{U_2^2}{U_1^2} \text{ dB} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} \text{ dB} \end{aligned} \quad \begin{matrix} \uparrow \\ R_2 \approx R_1 \end{matrix}$$

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

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

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

vgl. Halbwerts-Zeit/Dicke

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

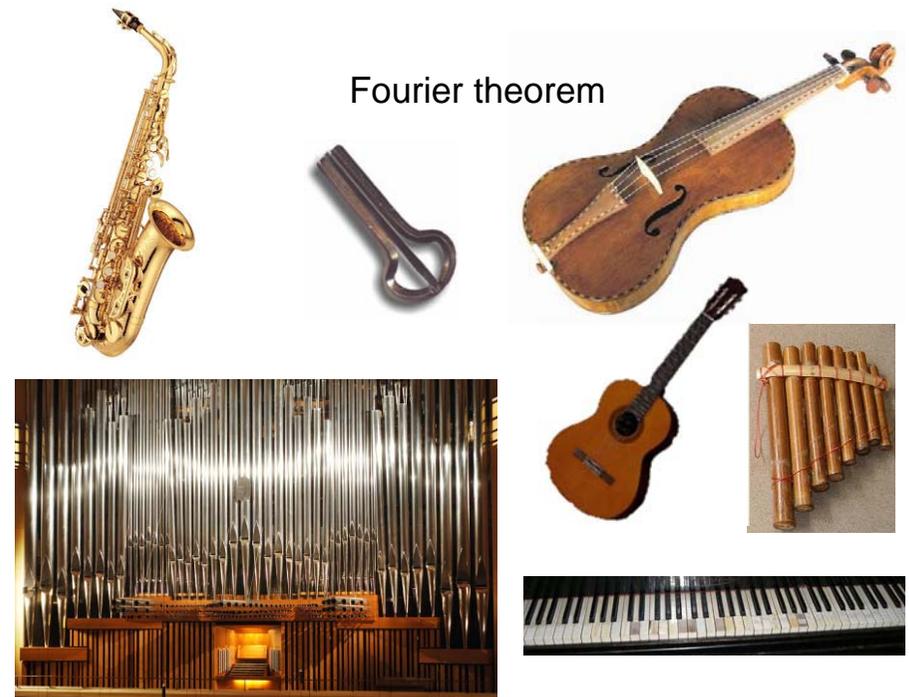
$$= 10 \cdot 1 \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

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

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

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

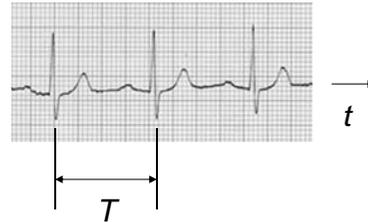
Fourier theorem



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



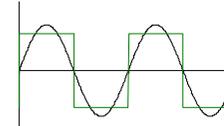
$1/T=f$, wo f ist die Frequenz

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

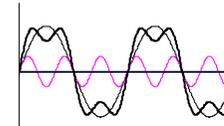
$2f, 3f, 4f, \dots$: **Obertöne** (Oberschwingungen)

(Linienpektrum)

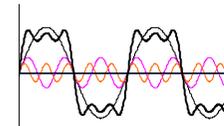
Funktionen



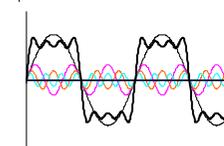
Rechteckf. Grundfr.



Grundfr.+ 3. Oberton

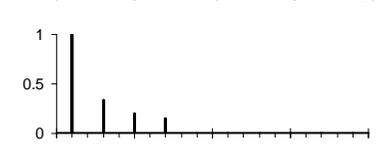
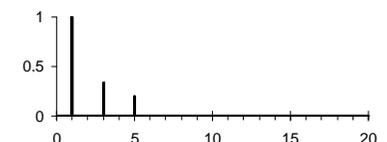
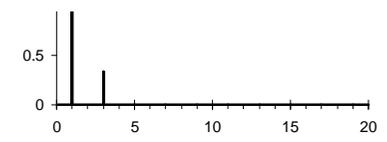
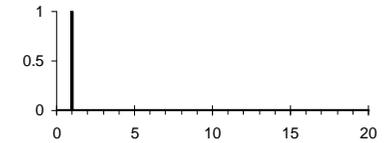


Grundfr.+ 3. Oberton+ 5. Oberton

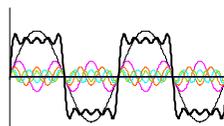


Grundfr.+ 3. Oberton+ 5. Oberton+ 7. Oberton

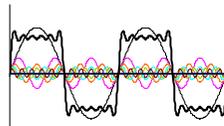
Spektrum



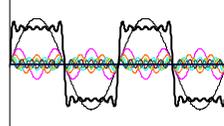
Funktionen



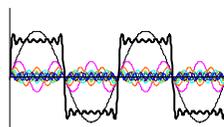
Grundfr.+ 3. Oberton+ ...+ 9. Oberton



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

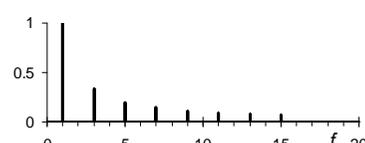
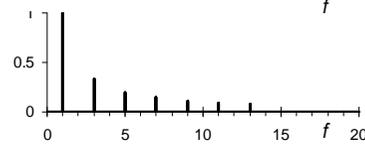
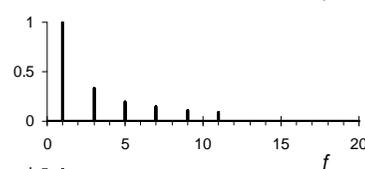
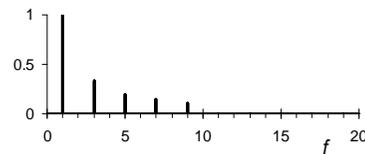


Grundfr.+ 3. Oberton+ ...+ 13. Oberton

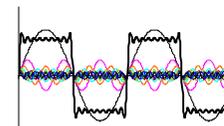


Grundfr.+ 3. Oberton+ ...+ 15. Oberton

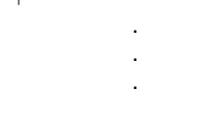
Spektrum



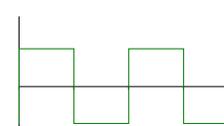
Funktionen



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



Grundfr.+ 3. Oberton+ ...+ 19. Oberton

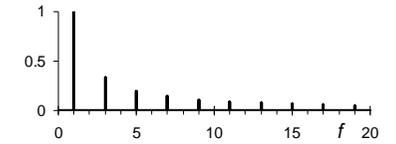
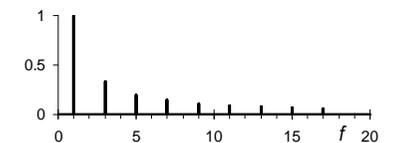


Grundfr.+ 3. Oberton+ ...+ 21. Oberton



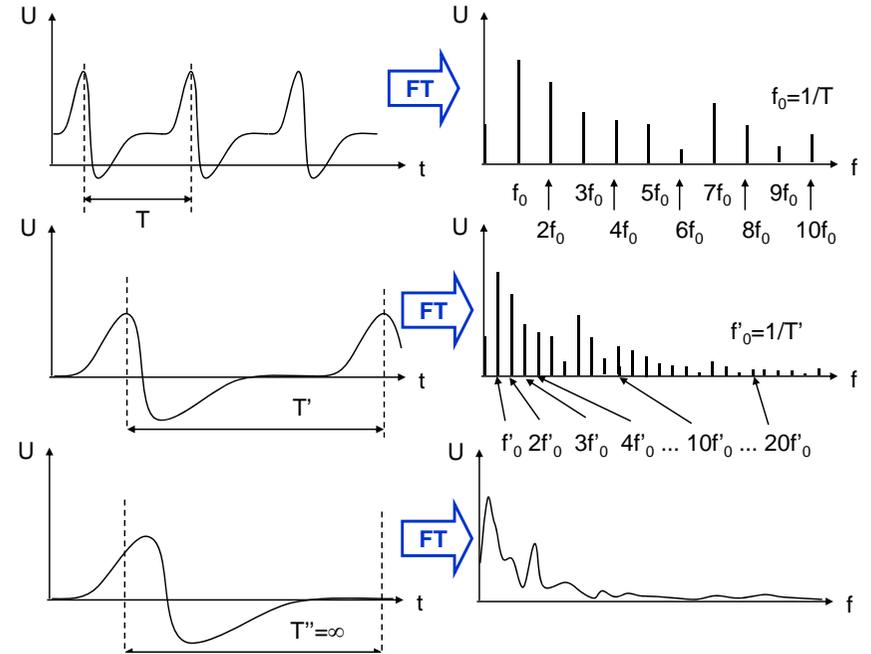
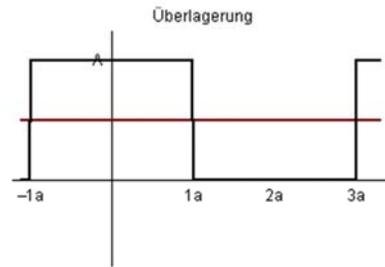
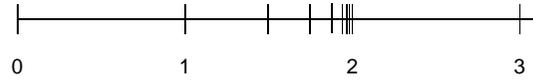
Grundfr.+ 3. Oberton+ ...+ 23. Oberton

Spektrum



Vgl. Funktionsreihe

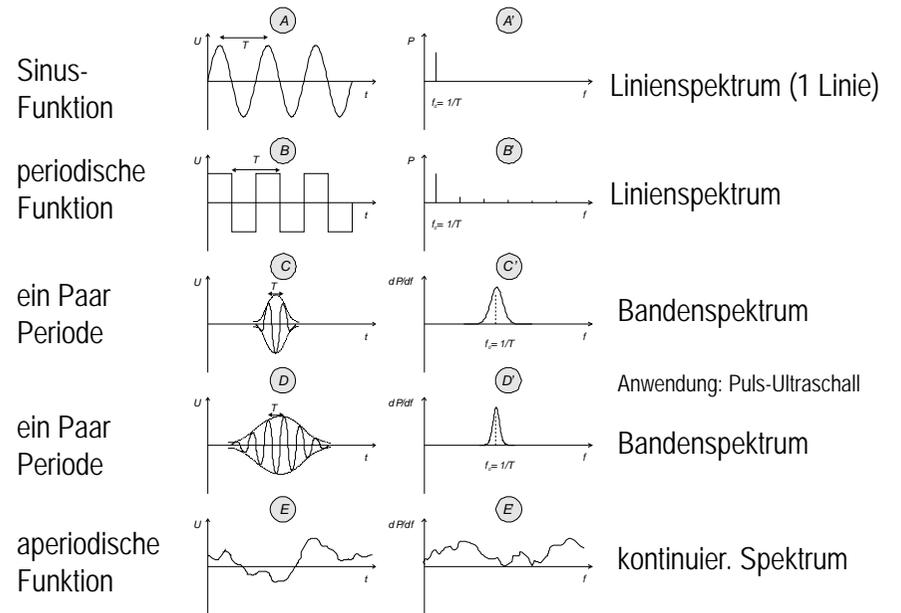
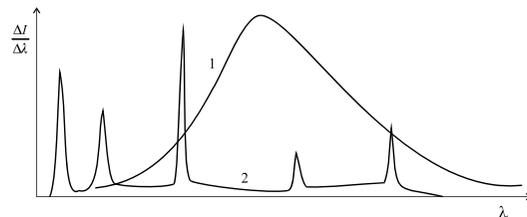
$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2^k} = \frac{1}{2^0} + \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2$$



Fourier-Theorem für aperiodische Funktionen (Signale):

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

vgl. Emissionsspektren



Inisheer

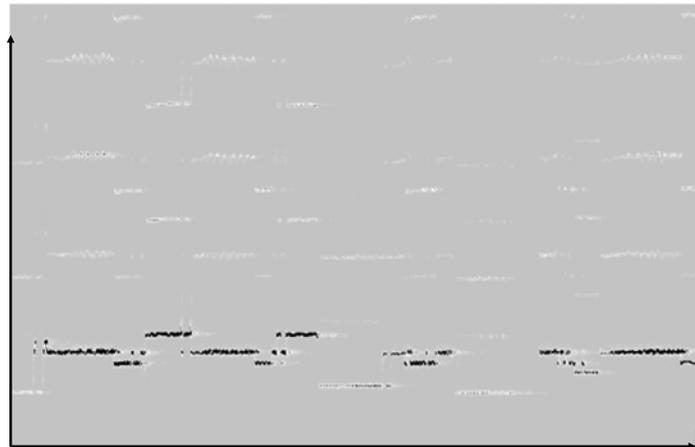
Penny Whistle



Traditional

Air

f_{sinus}



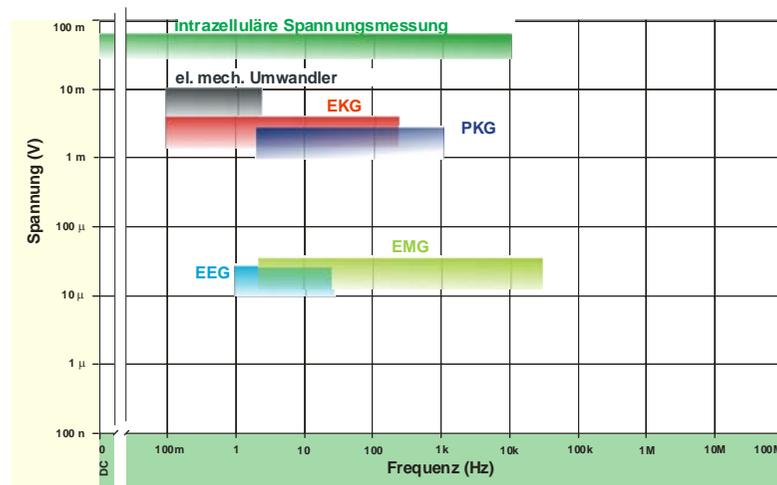
t

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	

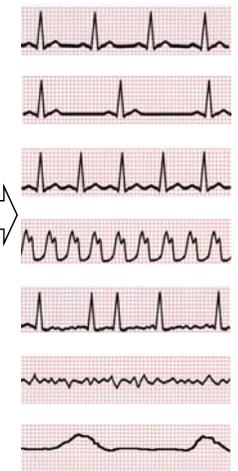
18

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

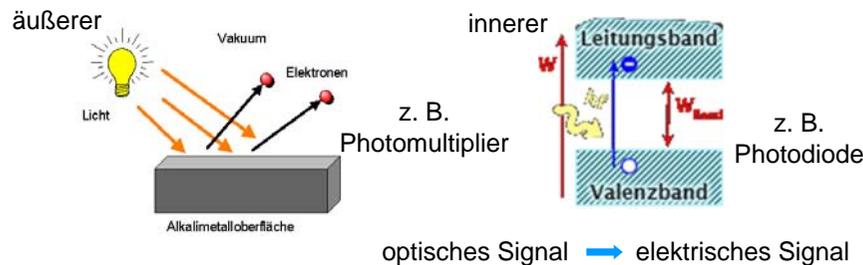
aktive passive

Sensoren

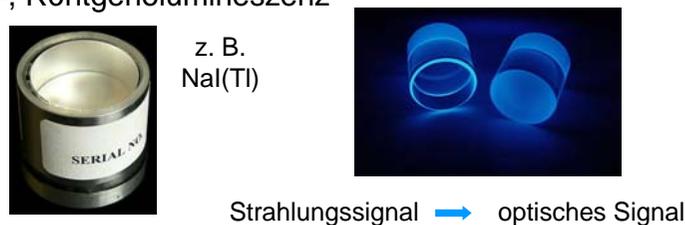
mit Analog-Ausgang mit Digital-Ausgang

Einige Detektor-Effekte

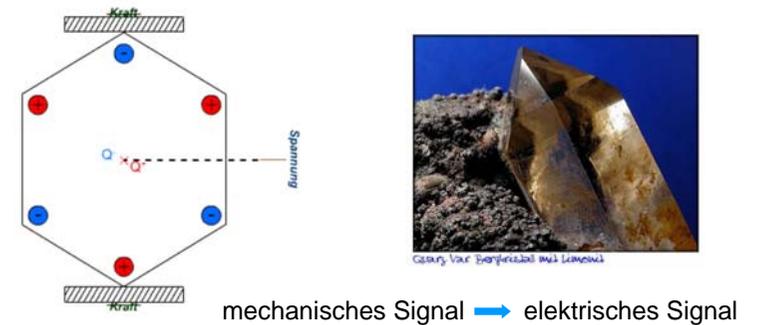
- Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



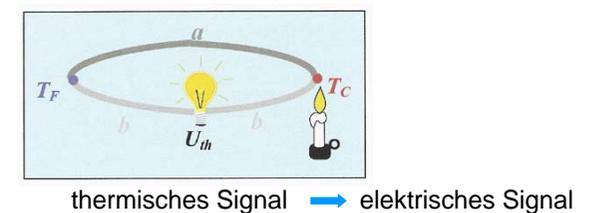
- Radio-, Röntgenlumineszenz



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

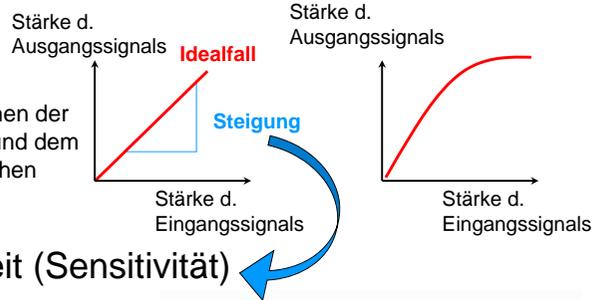


- Seebeck-Effekt



Kenngrößen des Detektors

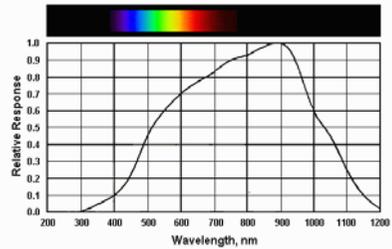
- **Kennlinie**
... beschreibt den Zusammenhang zwischen der zu messenden Größe und dem resultierenden elektrischen Ausgangssignal.



- **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

Beispiel für verschiedene S/R-Werte:

Signal/Rausch = 1

dbiueridduedeanuskicknedjnuidcdhotqviearla
snttrwgomrdtulaigcohaaffümrdcaasuwoadsc
dbirecmceqnjsucqhdeonaaaautsfichjnuednm
napcmhfeknj

Signal/Rausch = 5

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
caswad sdiemcenscqhenauihnenmachfen

Signal/Rausch = 11

diecidetensindnichtfvmerantwortlichfürdasw
asdiemenschenauihnenmaochenm

Signal/Rausch = 5

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
dcaswad sdiemcenscqhenauihnenmachfen

dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
dcaswad sdiemcenscqhenauihnenmachfen

Filtern

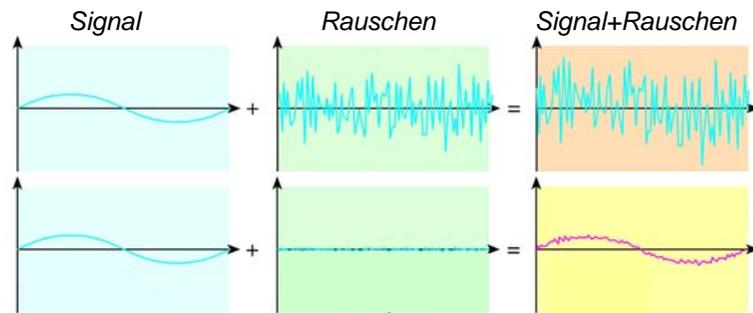
dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffür
dcaswad sdiemcenscqhenauihnenmachfen

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 i h n e n m a c h e n

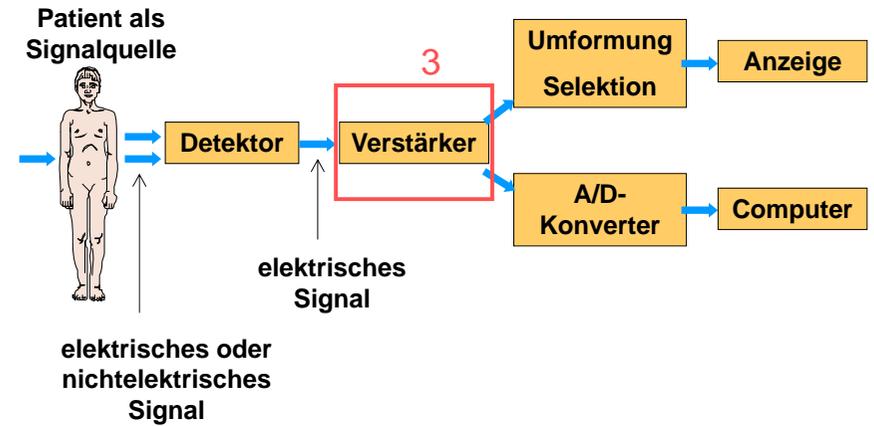
(Werner Heisenberg)

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

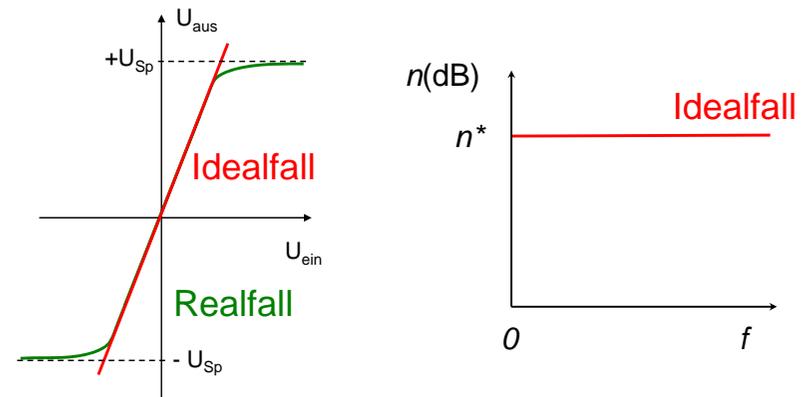
Spannungsverstärkungsfaktor $V_U = \frac{U_{\text{aus}}}{U_{\text{ein}}}$

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

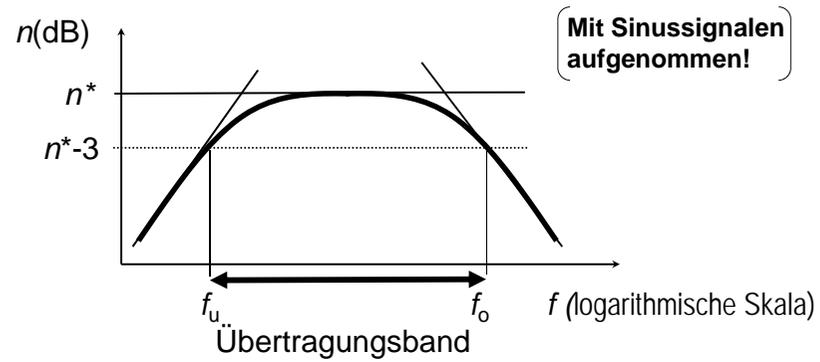
Frequenzübertragungsfunktion (Frequenzgang, Frequenz-Antwort-Funktion, Übertragungskennlinie)



32

Frequenzübertragungsfunktion

(Frequenzgang, Frequenz-Antwort-Funktion, Übertragungskennlinie)



f_u : untere Grenzfrequenz f_o : obere Grenzfrequenz

→ n^*, f_u, f_o

