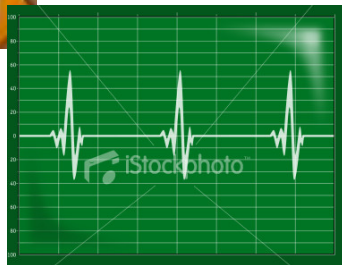


Kleine medizinische Signalverarbeitung



1

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

Zur Erinnerung

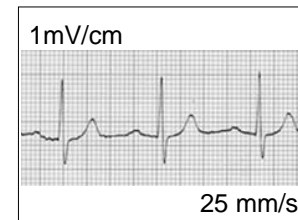
Beispiel1:

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

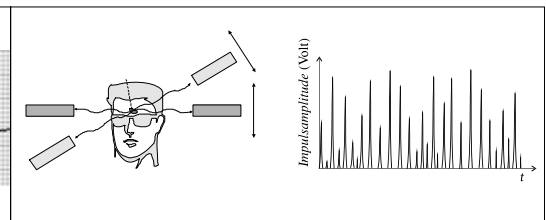
Beispiel2:

die detektierte Gamma-Quanten bei der Isotopendiagnostik

(1)



(2)

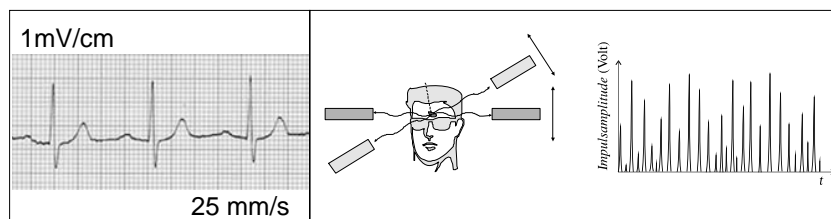


Klassifizierung der Signale

statisches S.
periodisches S.
stochastisches S.
nichtelektrisches S.
analoges S.

— zeitabhängiges S.
— nichtperiodisches S.
— nichtstochastisches S.
— elektrisches S.
— digitales S.

Zur Erinnerung



3

in ausgezeichneter Rolle

elektrische Signale

die nichtelektrische Signale werden in elektrische Signale umgewandelt

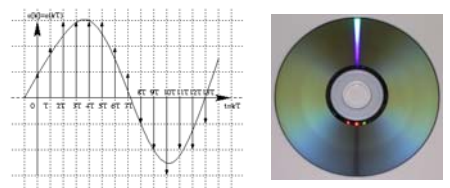
Vorteil der elektrischen S.:
Umwandlung, Verstärkung,
Weiterleitung ist einfach



digitale Signale

die analoge Signale werden digitalisiert

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



4

Zur Erinnerung

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)

$$n = \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ B} = \lg \frac{I_2^2}{I_1^2} \text{ B} = \lg \frac{E_2}{E_1} \text{ B}$$

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

Anstatt der Bel-Zahl die benützte Grösse:

Dezibel-Zahl oder Pegel:

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

Zur Erinnerung

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

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

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

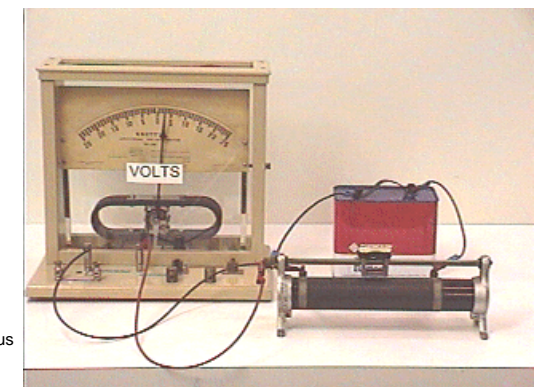
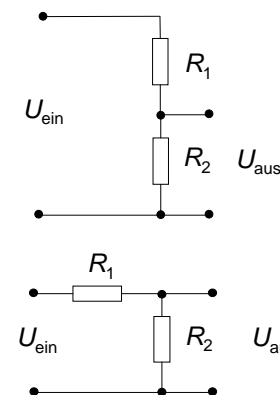
$$\frac{P_2}{P_1} = 100 \Leftrightarrow 10 \lg 100 \text{ dB} =$$

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

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

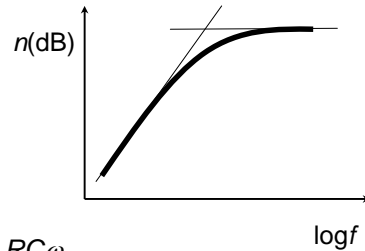
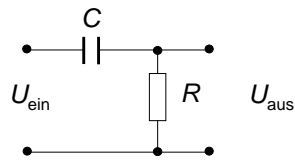
Spannungsteiler



$$U_{\text{aus}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{\text{ein}}$$

8

Hochpass Filter (high-pass filter)



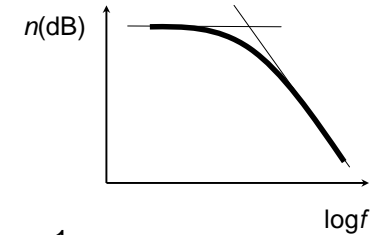
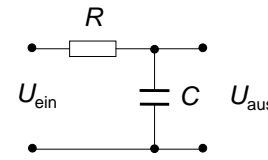
$$U_{\text{aus}} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{C^2 \omega^2} + R^2}} U_{\text{ein}} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + R^2 C^2 \omega^2}} U_{\text{ein}}$$

bei kleiner Frequenzen: wenn $\omega \ll \omega_0$ ($\omega \approx 0$), $U_{\text{aus}} = 0$

bei grosser Frequenzen: wenn $\omega \gg \omega_0$ ($\omega \approx \infty$), $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$

9

Tiefpass Filter (low-pass filter)



$$U_{\text{aus}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}} U_{\text{ein}} = \frac{1}{\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}} U_{\text{ein}}$$

bei kleiner Frequenzen: ha $\omega \ll \omega_0$ ($\omega \approx 0$), $U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$

bei grosser Frequenzen: ha $\omega \gg \omega_0$ ($\omega \approx \infty$), $U_{\text{aus}} = 0$

10

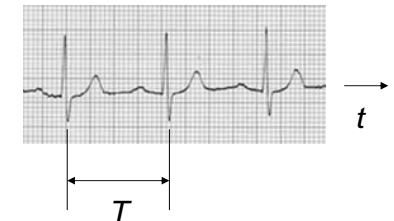
Fourier theorem



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(nzeit), T



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

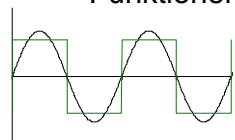
f ist die Frequenz der Sinusfunktion: **Grundfrequenz** (Grundschiwingung)

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

(Linienpektrum)

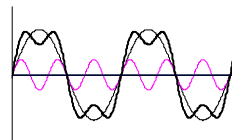
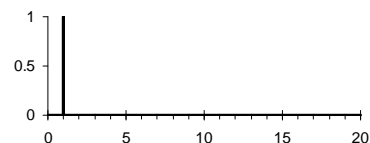
12

Funktionen

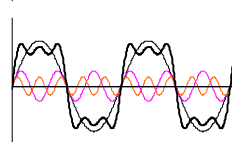
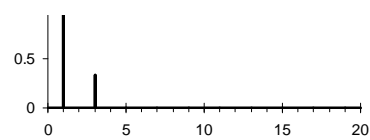


Rechteckf.
Grundfr.

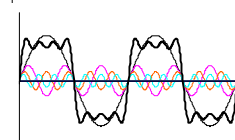
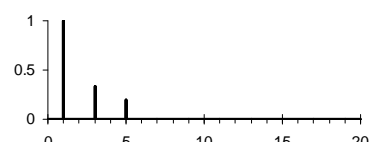
Spektrum



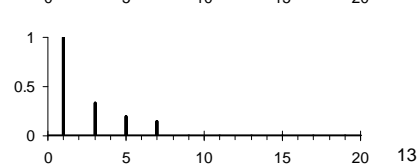
Grundfr.+
3. Oberton



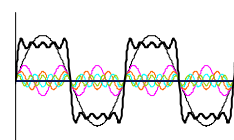
Grundfr.+
3. Oberton+
5. Oberton



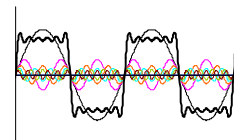
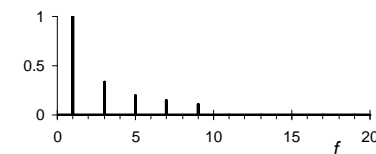
Grundfr.+
3. Oberton+
5. Oberton+
7. Oberton



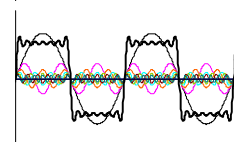
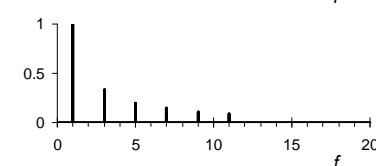
Funktionen



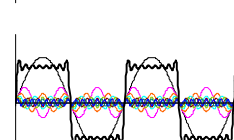
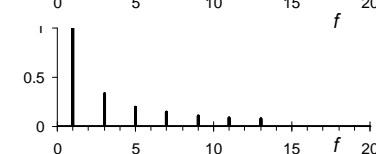
Grundfr.+
3. Oberton+
+...+
9. Oberton



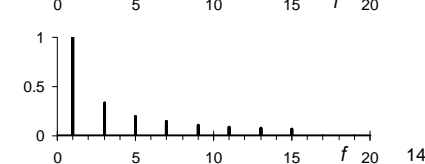
Grundfr.+
3. Oberton+
+...+
11. Oberton



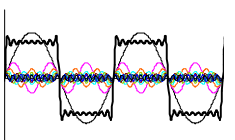
Grundfr.+
3. Oberton+
+...+
13. Oberton



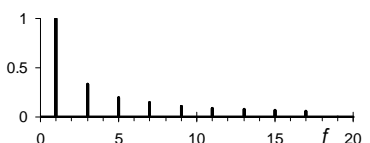
Grundfr.+
3. Oberton+
+...+
15. Oberton



Funktionen

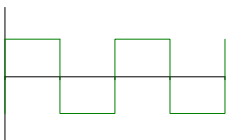


Grundfr.+
3. Oberton+
+...+
17. Oberton

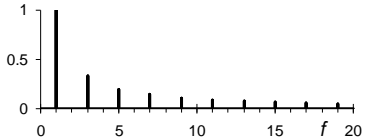


⋮

⋮

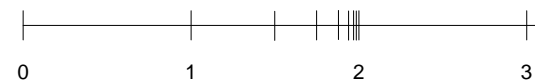


Grundfr.+
3. Oberton+
+...+
17. Oberton+
+...

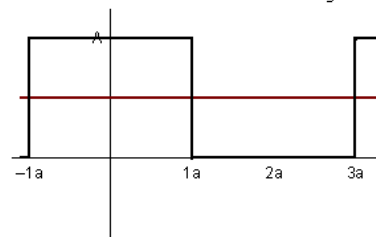


Vgl. Funktionsreihe

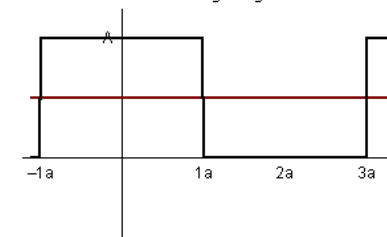
$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2^k} = \frac{1}{2^0} + \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \dots = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2$$



Einzelne Summanden bis zur Ordnung 0

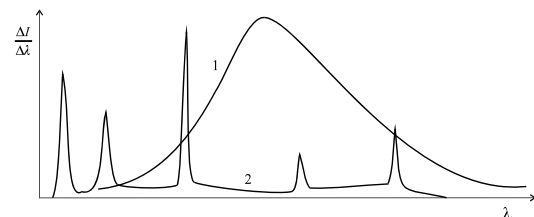


Überlagerung



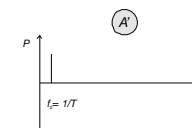
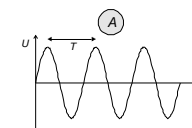
Fourier-Theorem für aperiodische Funktionen (Signale):
 Jede Funktion kann durch eine Summe von Sinus-
 (harmonischen) Funktionen hergestellt werden.
 Das Spektrum: kontinuierliches Spektrum.

vgl. Emissionsspektren



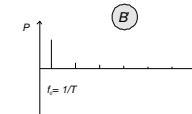
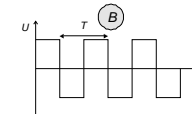
Praktikumsbuch, Messung 4, Abb. 1

Sinus-
Funktion



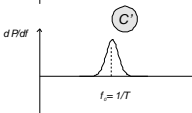
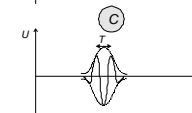
Linienpektrum (1 Linie)

periodische
Funktion



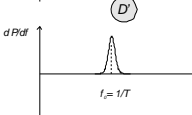
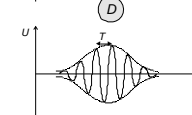
Linienpektrum

ein Paar
Periode



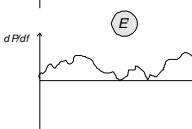
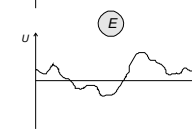
Bandenspektrum

ein Paar
Periode



Anwendung: Puls-
Ultraschall
Bandenspektrum

aperiodische
Funktion



kontinuier. Spektrum

Inisheer

Penny Whistle



Traditional

Air

f_{sinus}

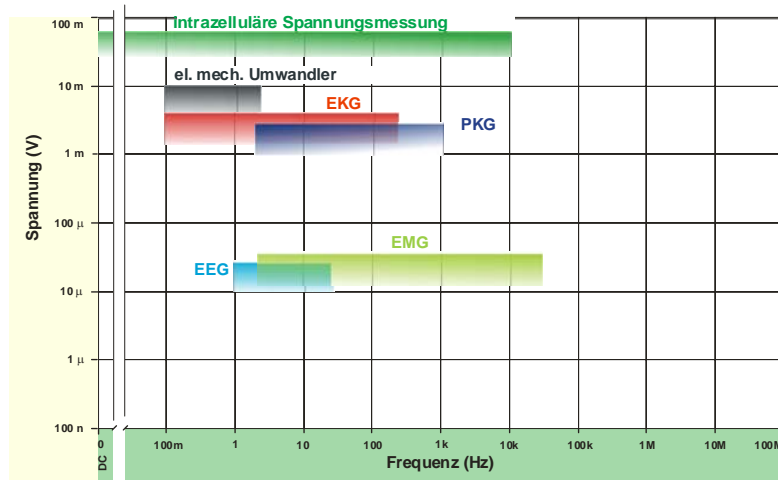


t

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

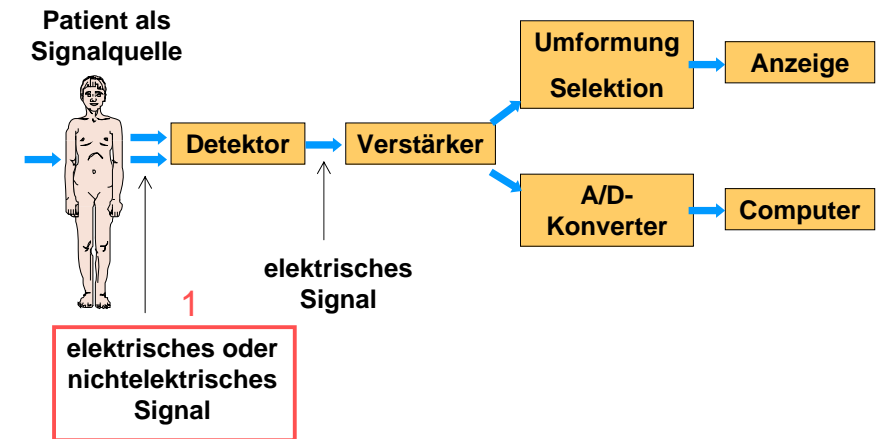
Aktionspotential	Frequenz- bereich (Hz)	Spannung (mV)	Bemerkungen
Einzelzelle	0-10000	50-130	monophasisches Aktionspotential
Elektrokardiographie	0,1-200	0,1-3	
Elektroenzephalographie	1-70	0,001-0,1	
Elektrokortikographie	10-100	0,01-0,1	
Elektromyographie	10-1000	0,1-5	Oberflächen- elektrode
Elektromyographie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

Einige charakteristischen Daten bioelektrischer Potentiale



21

Medizinische Signalanalysekette

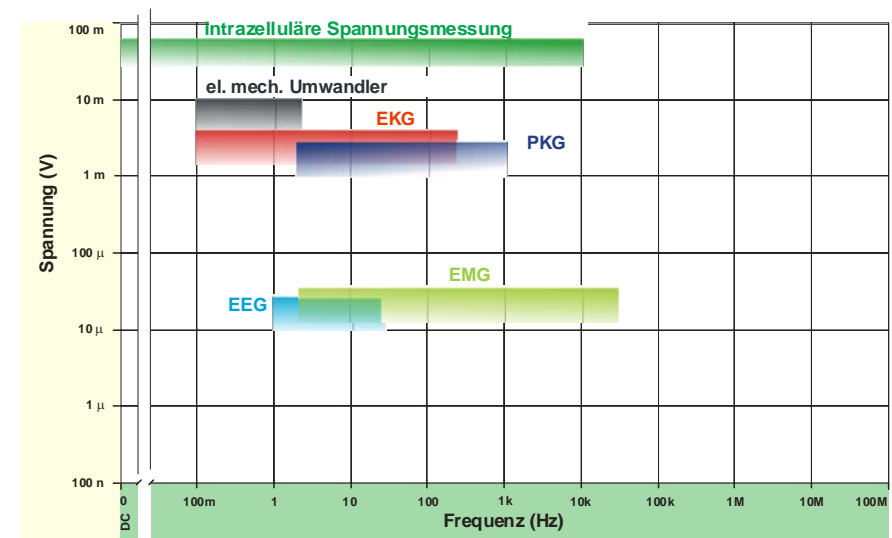


22

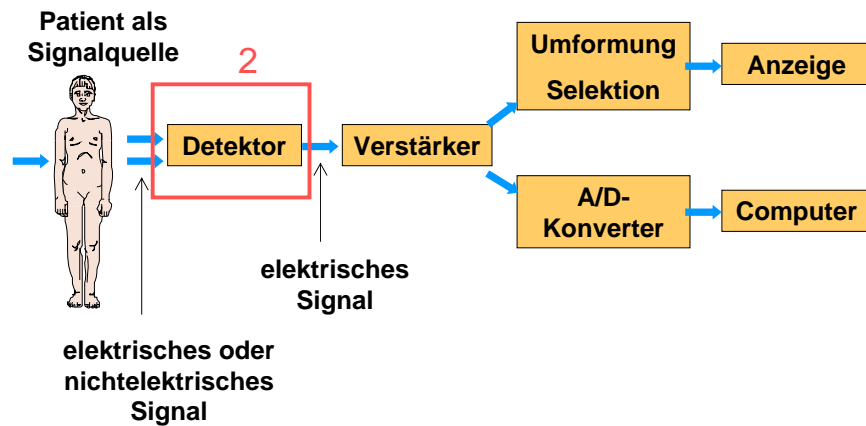
Einige charakteristischen Daten bioelektrischer Potenziale

Aktionspotenzial	Frequenz-bereich (Hz)	Spannung (mV)	Bemerkungen
Einzelzelle	0-10000	50-130	monophasisches Aktionspotenzial
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	Nadelelektrode
Elektroretinographie	0,1-100	0,02-0,3	

23



24



25

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

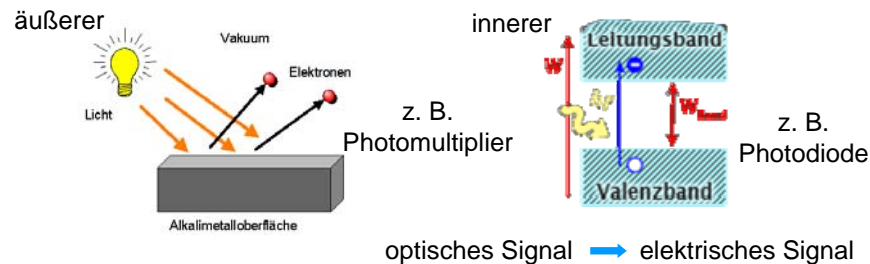
mit Analog-Ausgang

mit Digital-Ausgang

26

Einige Detektor-Effekte

• Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



• Radio-, Röntgenolumineszenz



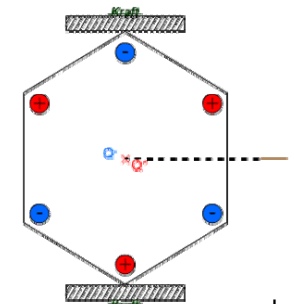
z. B. NaI(Tl)



Strahlungssignal → optisches Signal

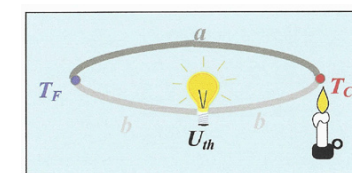
27

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



mechanisches Signal → elektrisches Signal

• Seebeck-Effekt



thermisches Signal → elektrisches Signal

28