

Medizinische Biophysik

14

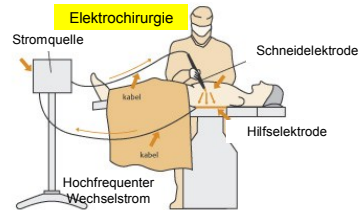
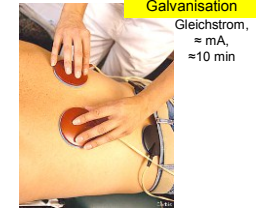
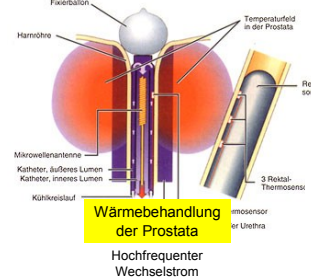
Kurze Rekapitulation der
Elektrizitätslehre 2
Eine kleine medizinische
Signalverarbeitung



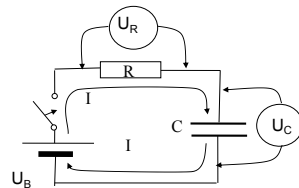
Wärmewirkung des elektrischen Stromes

Stromarbeit: $W = qU = UI t$ $W = UI t$
 Leistung: $P = W/t = UI$ $P = UI$

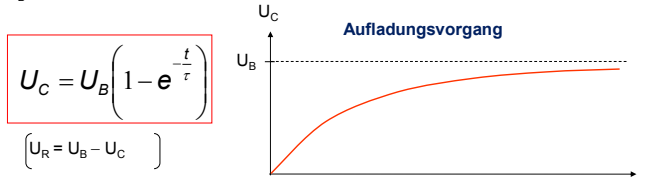
Beispiele:



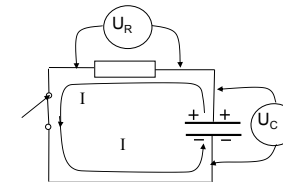
Kondensator in einem Stromkreis: RC Kreis



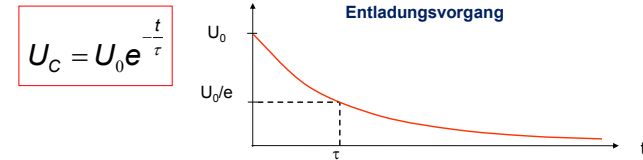
Sei der Kondensator ungeladen vor dem Einschalten des Schalters:
 $U_C = 0$



$\tau = RC$ Zeitkonstante des RC-Kreises

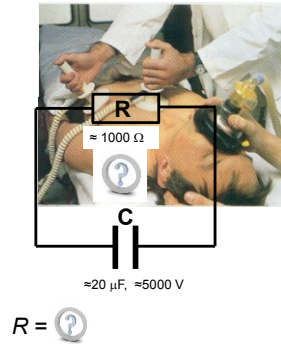


Sei der Kondensator aufgeladen vor dem Einschalten des Schalters:
 $U_C(0) = U_0$



$\tau = RC$
Zeitkonstante des RC-Kreises

Defibrillator:



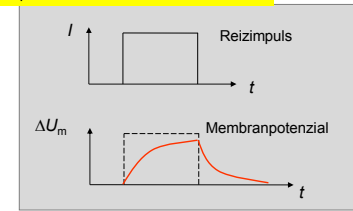
$$U_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

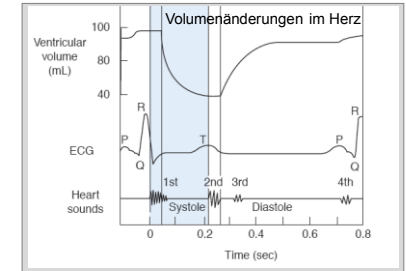
$I_0 =$
 $\tau =$

5

Beispiele für ähnlichen zeitlichen Verlauf:

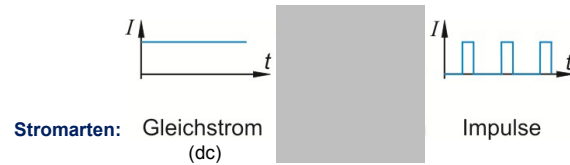


Modellierung dieser Erscheinungen mit RC-Kreisen !



6

Wechselstrom



Stromarten: Gleichstrom (dc)

$$I = I_{\max} \sin(2\pi f \cdot t)$$

$$U = U_{\max} \sin(2\pi f \cdot t)$$

U_{\max} und I_{\max} sind die Scheitelwerte

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

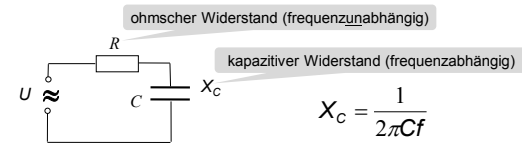
U_{eff} und I_{eff} sind die effektive („durchschnittliche“) Werte

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

durchschnittliche Leistung

7

Widerstände im Wechselstromkreis:



Elektrische Impedanz

(= Gesamtwiderstand von R ; X_C ; (und X_L)): $\frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = Z$

Beispiel: Elektrische Impedanztomographie (EIT) für Lungenüberwachung



8

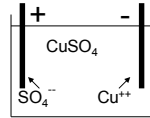
Wirkungen des elektrischen Stromes

- Wärmewirkung



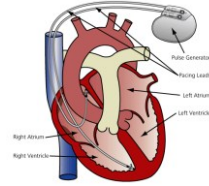
Behandlung mit Kondensatorplatten - hochfrequenter Wechselstrom

- chemische Wirkung



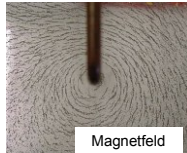
Elektrolyse - Gleichstrom

- biologische Wirkung



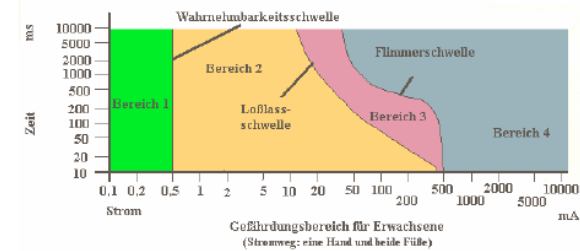
Herzschrittmacher - Stromimpulse

- magnetische Wirkung



Magnetfeld

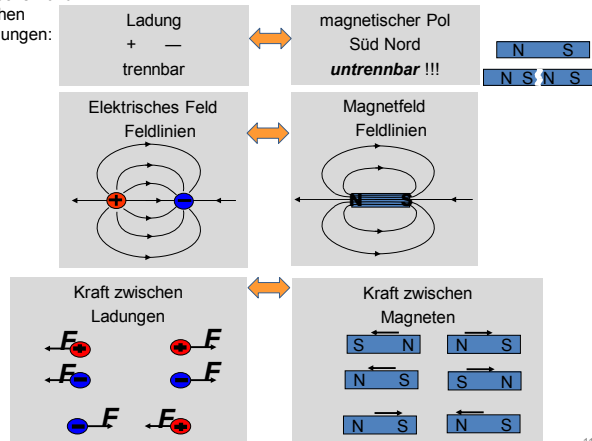
Stromwirkung auf den Menschen



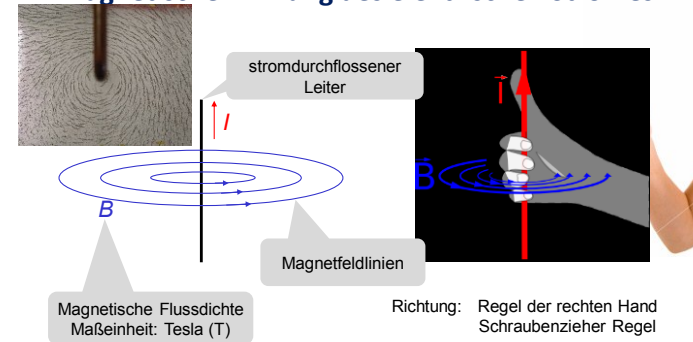
- Bereich 1: Wechselströme in diesem Bereich werden von den meisten Menschen gar nicht wahrgenommen.
- Bereich 2: Es ist ein Kribbeln zu spüren, auch schmerzhafte Verkrampfungen sind möglich. Direkte Schäden sind kaum zu befürchten.
- Bereich 3: Die Stromquelle kann auf Grund von Muskelverkrampfung nicht mehr losgelassen werden.
- Bereich 4: Schwere Schädigung und häufig tödliche Stromwirkung, z.B. durch Herzkammerflimmern

Analogie zwischen magnetischen und elektrischen Erscheinungen:

Magnetismus

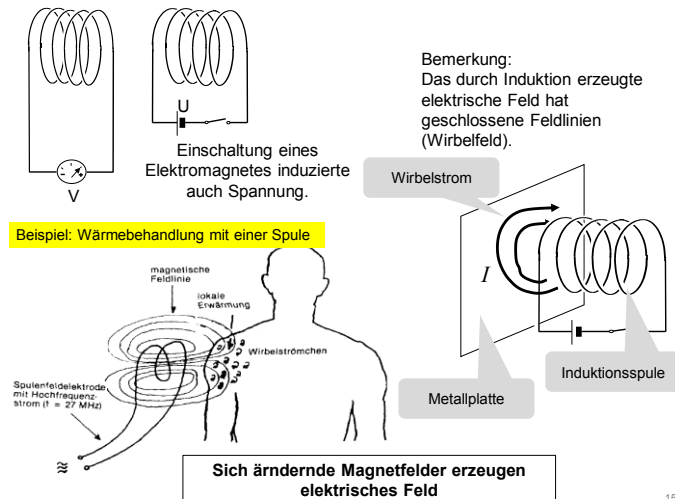
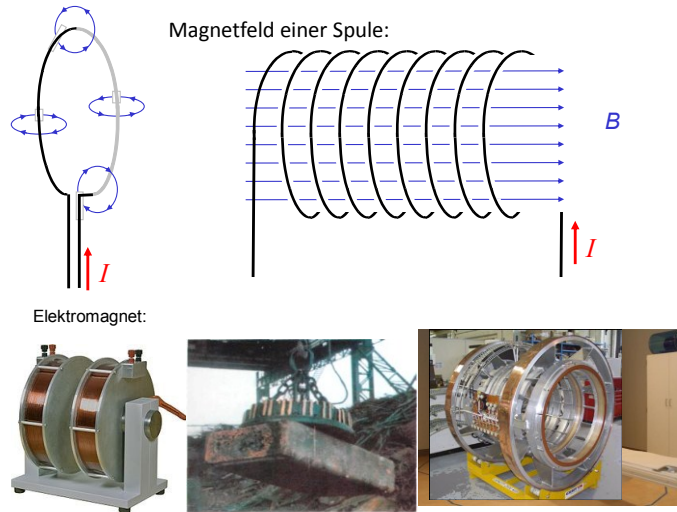


Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes



(Magnetische Feldstärke (H) ~ magnetische Flussdichte (B))

Elektrischer Strom, bewegte el. Ladungen erzeugen Magnetfeld

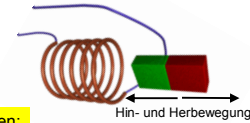


15

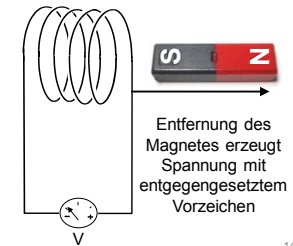
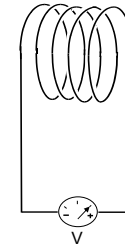
Magnetische Induktion

Bewegte elektrische Ladungen erzeugen Magnetfeld. → Können bewegte Magnete elektrisches Feld erzeugen und dadurch elektrische Ladungen bewegen? (Faraday)

Experiment:



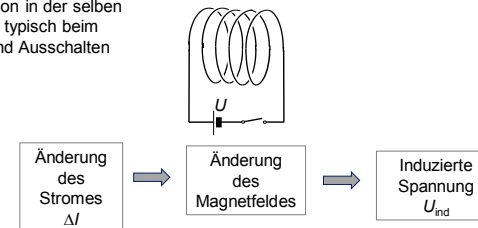
Beobachtungen:



14

Selbstinduktion

Induktion in der selben Spule, typisch beim Ein- und Ausschalten



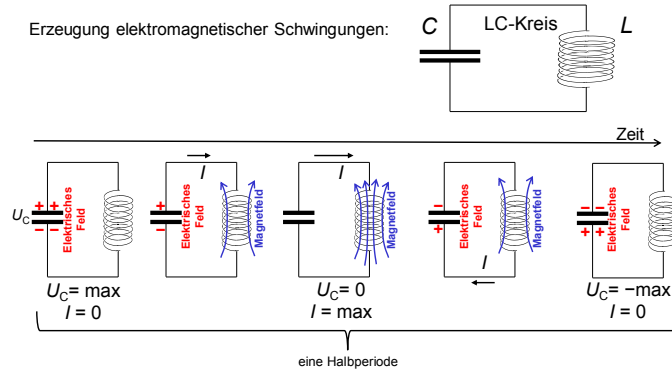
$$U_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Induktivität (L)
Maßeinheit: Henry (H)

16

Schwingkreis — elektromagnetische Schwingungen

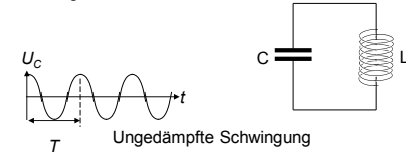
Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen:



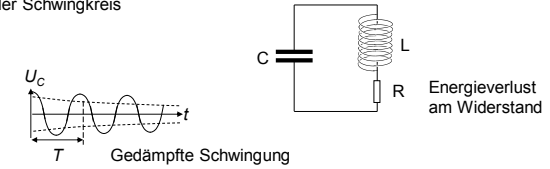
$$\text{Eigenfrequenz: } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

17

Idealer Schwingkreis:

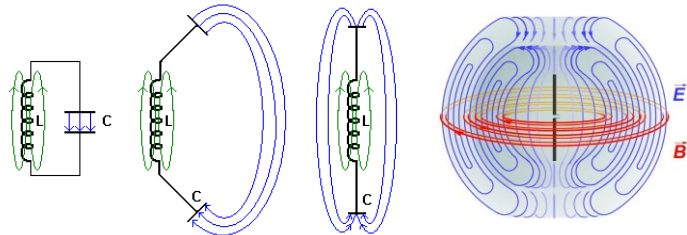


Reeller Schwingkreis

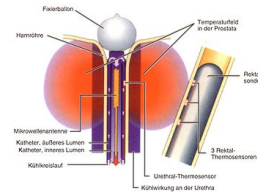


18

Elektromagnetische Welle



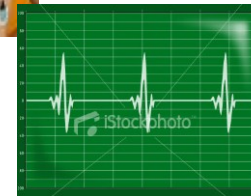
der geschlossene Schwingkreis wird zum offenen Schwingkreis



19

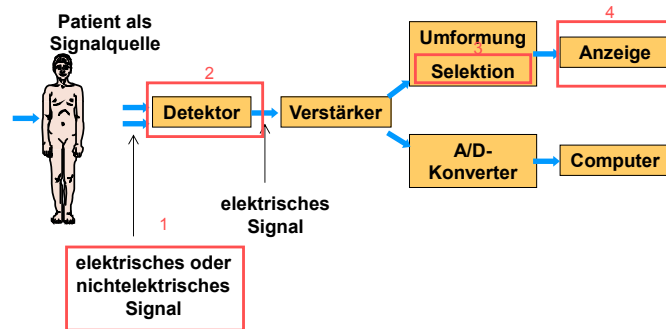
Eine kleine medizinische Signalverarbeitung

1



20

Medizinische Signalanalysekette



21

Signal

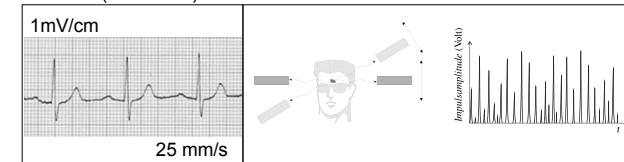
Signal: jede physikalische Größe bzw. ihre Änderung, die Informationen übermittelt.

Beispiel1:

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

Beispiel2:

die detektierte Gamma-Quanten bei der Isotopendiagnostik



Signalstärke:

- Signalleistung (oder Intensität oder Energie)
- Signalimpulszahl

22

Klassifizierung der Signale

nichtelektrisches S.	–	elektrisches S.
statisches S.	–	zeitabhängiges S.
(quasi)periodisches S.	–	nichtperiodisches S.
stochastisches S.	–	nichtstochastisches S.
kontinuierliches S.	–	impulsförmiges S.
analoges S.	–	digitales S.

23

In ausgezeichnete Rolle:

elektrische Signale

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



nichtelektrische Signale
werden in elektrische
Signale umgewandelt

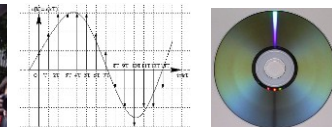


digitale Signale

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



analoge Signale werden
digitalisiert



24

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):

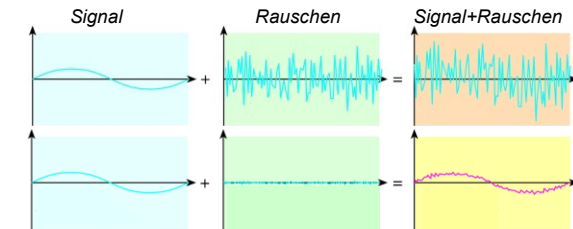
$$S/R = \frac{\text{mittlere Nutzsignalleistung}}{\text{mittlere Rauschleistung}} \quad \text{oder} \quad \frac{\text{Signalimpulszahl}}{\text{Rauschimpulszahl}}$$

- 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

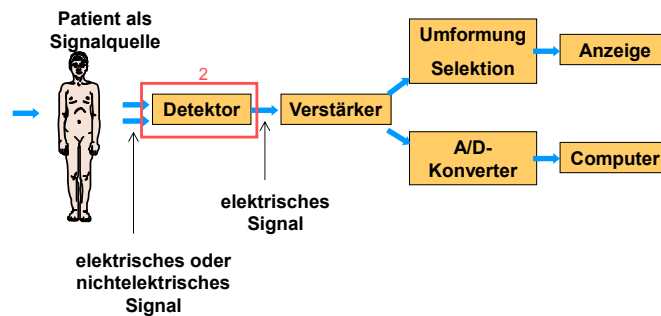
25

Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses

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



26



27

Detektor

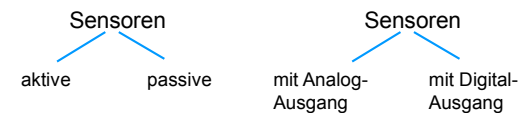
(Sensor, Umformer, Wandler, Transducer, ...)

nichtelektrisches Signal → Detektor → elektrisches Signal

Umwandlung der nichtelektrischen in elektrischen Signale.



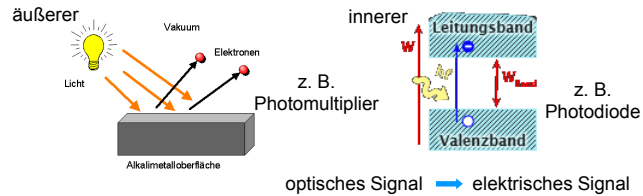
Bei elektrischen Signalen: Detektor → Elektroden



28

Einige Detektor-Effekte

- Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)



- Radio-, Röntgenolumineszenz



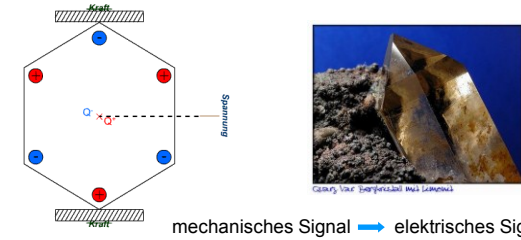
z. B.
NaI(Tl)



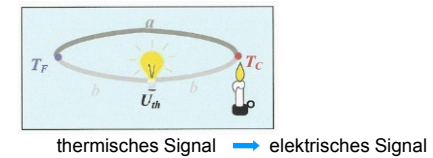
Strahlungssignal → optisches Signal

29

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



- Seebeck-Effekt

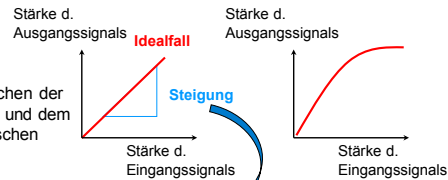


30

Kenngößen des Detektors

- Kennlinie

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



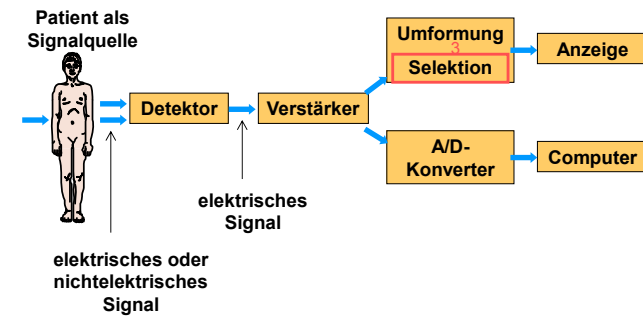
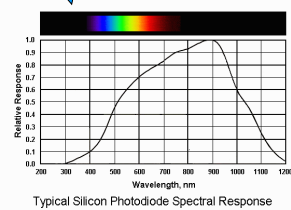
- Empfindlichkeit (Sensitivität)

... ist die Steigung der Kennlinie.

- Empfindlichkeitskurve

- Auflösung

zeitliche, räumliche, ...

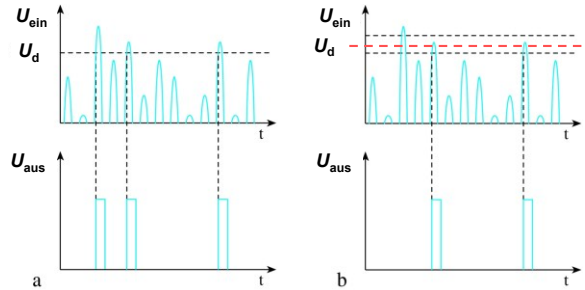


32

Selektierung von Impulssignalen

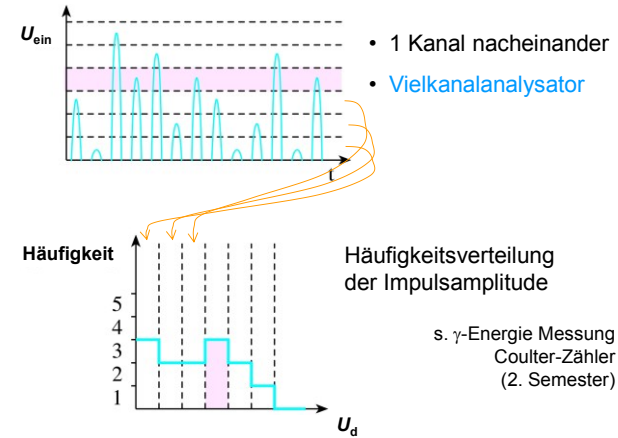
Integraldiskriminator (ID)

Differenzialdiskriminator (DD)



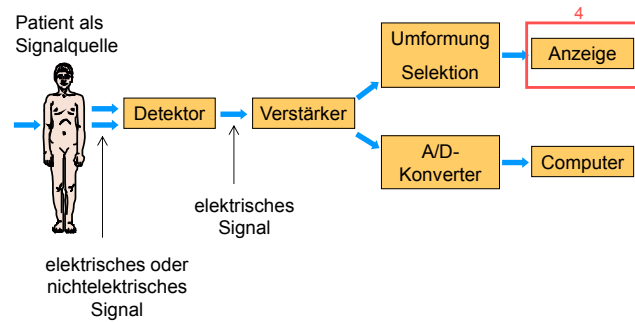
s. Szintillationszähler im Praktikum

33



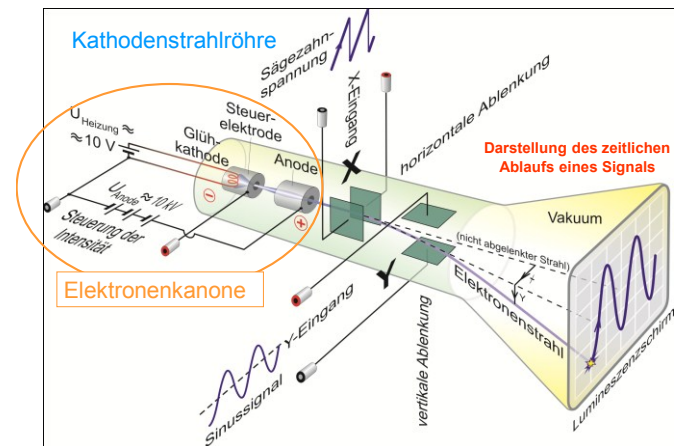
34

Medizinische Signalanalysekette

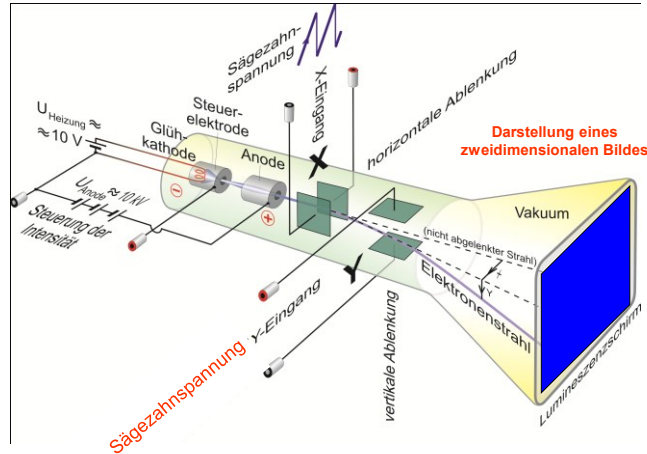


35

Anzeige (auch bei Computern)

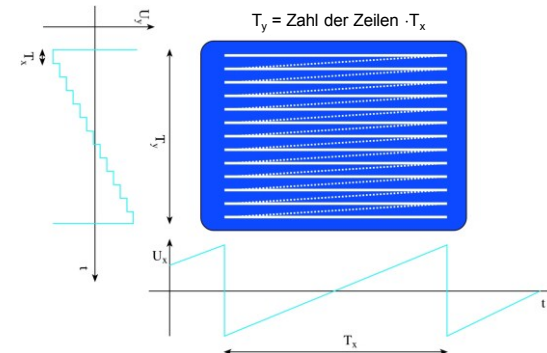


36



37

Darstellung eines zweidimensionalen Bildes (B-Bild)

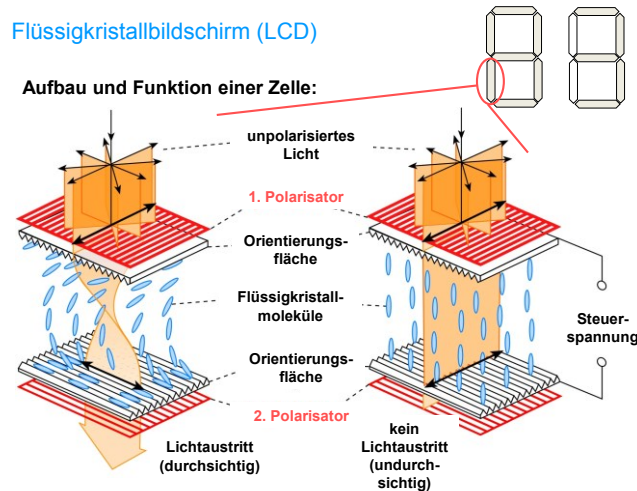


Bildfrequenz: $f_{Bild} = f_y = \frac{1}{T_y}$ \longrightarrow $f_x = \text{Zahl der Zeilen} \cdot f_y$

38

Flüssigkristallbildschirm (LCD)

Aufbau und Funktion einer Zelle:



39

Rechenaufgaben: ■ Praktikumssbuch : 82, 83, 84

- Wie groß ist der Widerstand der Wolframfaser einer Glühlampe der Leistung von 60 W bei einer Spannung von 220 V?
- Der Widerstand eines RC-Kreises beträgt 15 kΩ, die Kapazität des Kondensators ist 20 μF.
 - Bestimmen Sie die Zeitkonstante des RC-Kreises!
 - In welcher Zeit reduziert sich die Spannung des Kondensators auf die Hälfte der Anfangsspannung bei der Entladung des RC-Kreises?
- Eine sinusförmige Wechselspannung hat eine Amplitude von 500 V und eine Periodenzeit von 0,2 ms.
 - Wie groß ist die Frequenz?
 - Wie groß ist der Effektivwert der Spannung?
- Ein Widerstand von 460 Ω wird an eine Wechselspannungsquelle geschaltet. Die Wechselspannung wird mit der Formel $U = 325 \text{ V} \sin(314 \frac{1}{s} \cdot t)$ beschrieben. Berechnen Sie
 - die effektive Spannung
 - die effektive Stromstärke
 - und die durchschnittliche Leistung im dem Schaltkreis.
- Die Kapazität der Haut von 1 cm² Fläche beträgt $5 \cdot 10^{-8} \text{ F}$. Berechnen Sie den kapazitiven Widerstand dieser Haut bei den folgenden Frequenzen: 50 Hz, 1 kHz, und 20 kHz!

Lösungen:

- 807 Ω
- a) 0,3 s, b) 0,21 s
- a) 5 kHz, b) 353 V
- a) 230 V, b) 0,5 A, c) 115 W
- 63,7 kΩ; 3,18 kΩ, und 159 Ω

40