

Medizinische Biophysik

14

Kurze Rekapitulation der
Elektrizitätslehre 2
Eine kleine medizinische
Signalverarbeitung



1

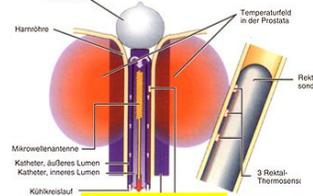
Wärmewirkung des elektrischen Stromes

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

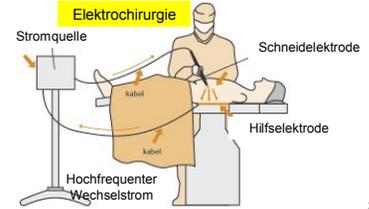
Galvanisation
Gleichstrom,
≈ mA,
≈ 10 min



Beispiele:



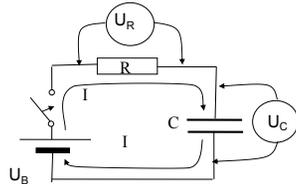
Wärmebehandlung der Prostata
Hochfrequenter Wechselstrom



Elektrochirurgie

2

Kondensator in einem Stromkreis: RC Kreis



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

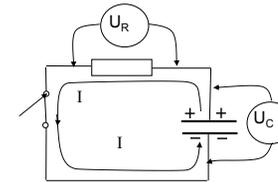
$$U_C = U_B \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$[U_R = U_B - U_C]$$



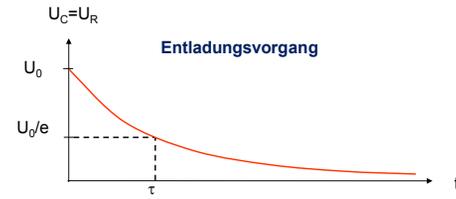
$\tau = RC$ Zeitkonstante des RC-Kreises

3



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

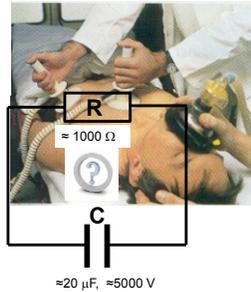
$$U_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$



$\tau = RC$
Zeitkonstante des RC-Kreises

4

Defibrillator:



$R = ?$

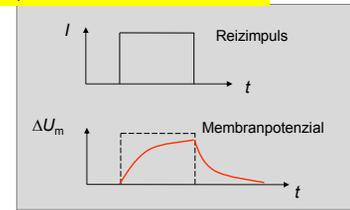
$$U_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

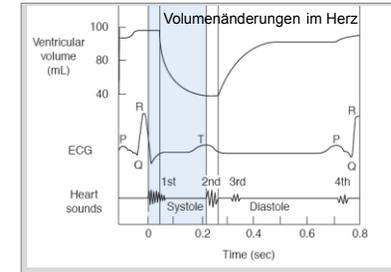
$I_0 = ?$
 $\tau = ?$

5

Beispiele für ähnlichen zeitlichen Verlauf:

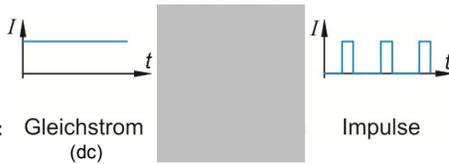


Modellierung dieser Erscheinungen mit RC-Kreisen !



6

Wechselstrom



Stromarten: Gleichstrom (dc)

Impulse

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

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

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

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

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

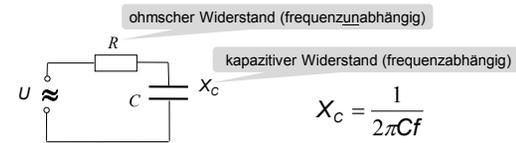
U_{eff} und I_{eff} sind die effektive („durchschnittliche“) Werte

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

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



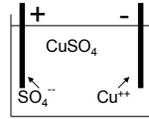
8

Wirkungen des elektrischen Stromes

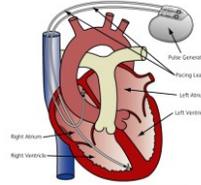
- Wärmewirkung
- chemische Wirkung
- biologische Wirkung



Behandlung mit Kondensatorplatten - hochfrequenter Wechselstrom

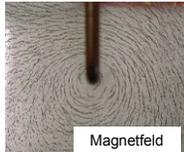


Elektrolyse - Gleichstrom



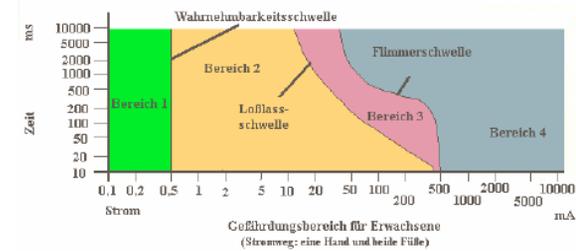
Herzschrittmacher - Stromimpulse

- magnetische Wirkung



Magnetfeld

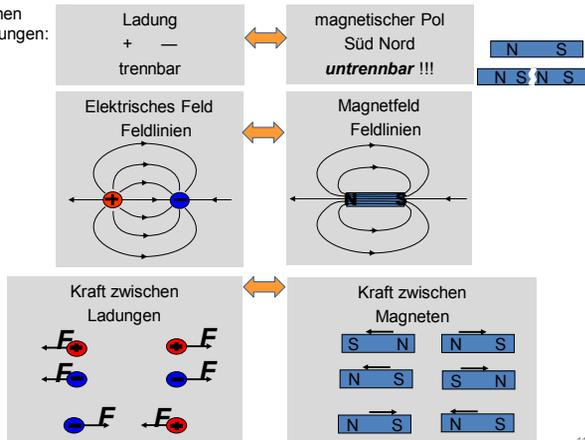
Stromwirkung auf den Menschen



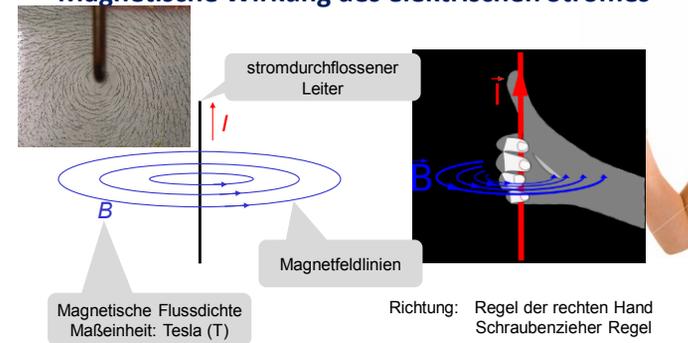
- Bereich 1: Wechselströme in diesem Bereich werden von den meisten Menschen gar nicht wahrgenommen.
- Bereich 2: Es ist ein Kribbeln zu spüren, auch schmerzhafte Verkrampfungen sind möglich. Direkte Schäden sind kaum zu befürchten.
- Bereich 3: Die Stromquelle kann auf Grund von Muskelverkrampfung nicht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

Analogie zwischen magnetischen und elektrischen Erscheinungen:

Magnetismus

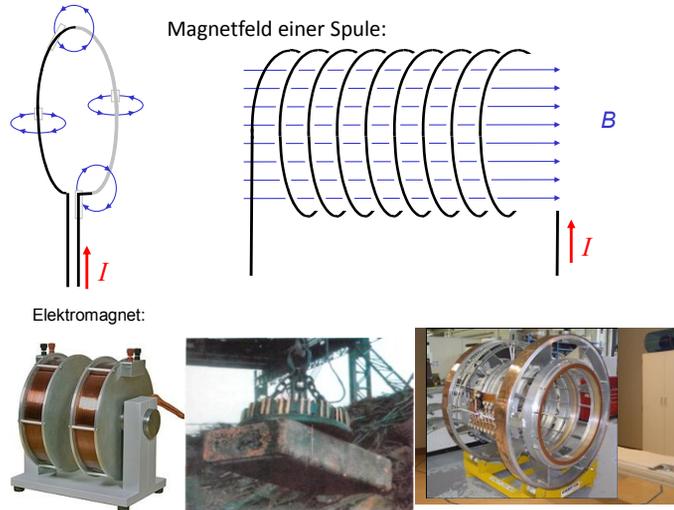


Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes



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

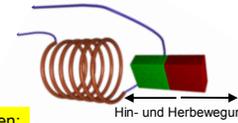
Elektrischer Strom, bewegte el. Ladungen erzeugen Magnetfeld



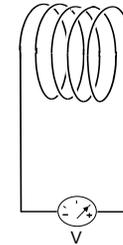
Magnetische Induktion

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

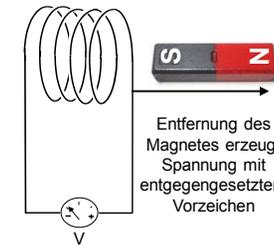
Experiment:



Beobachtungen:

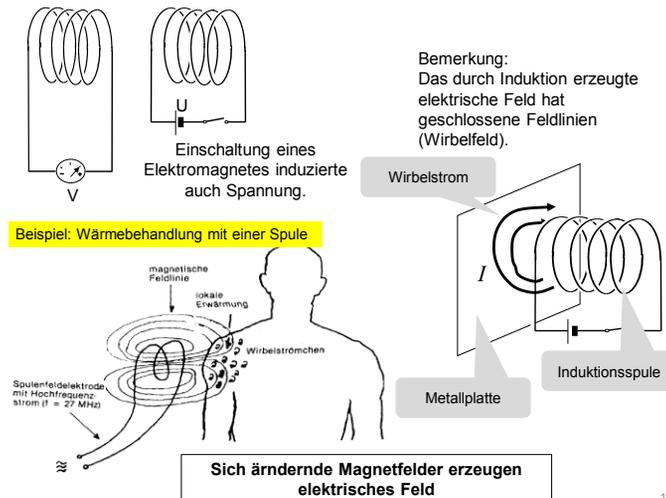


Annäherung des Magnetes erzeugt Spannung!



Entfernung des Magnetes erzeugt Spannung mit entgegengesetztem Vorzeichen

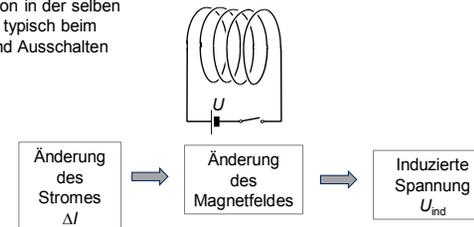
14



15

Selbstinduktion

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



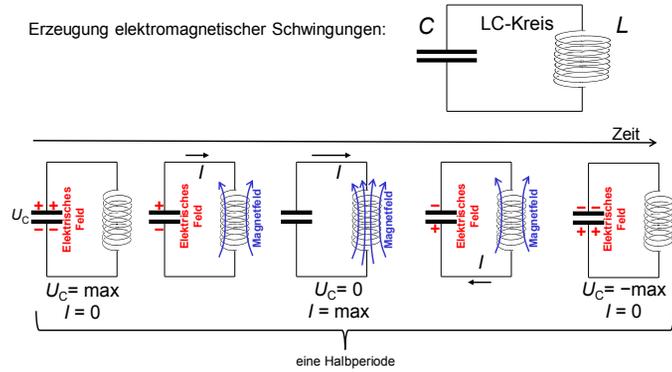
$$U_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Induktivität (L)
Maßeinheit: Henry (H)

16

Schwingkreis – elektromagnetische Schwingungen

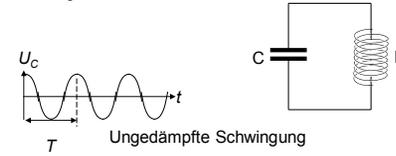
Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen:



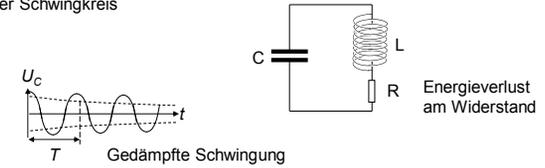
$$\text{Eigenfrequenz: } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

17

Idealer Schwingkreis:

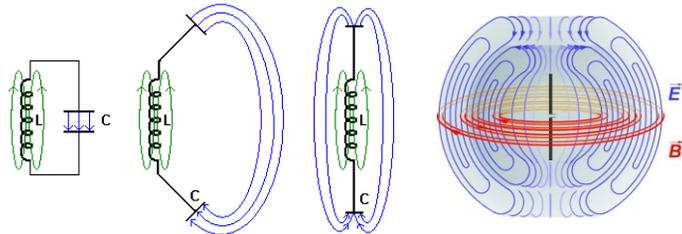


Reeller Schwingkreis

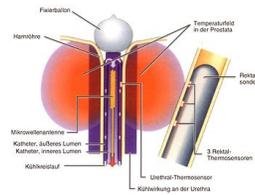


18

Elektromagnetische Welle



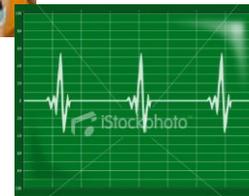
der geschlossene Schwingkreis wird zum offenen Schwingkreis



19

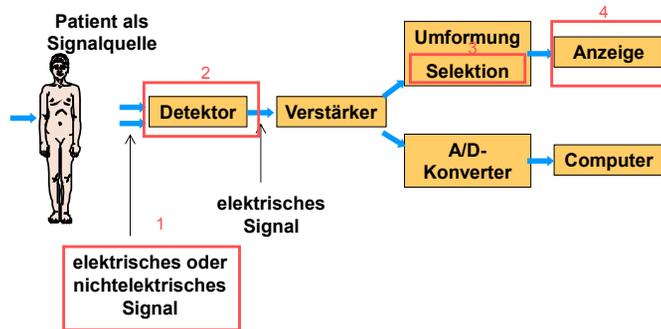
Eine kleine medizinische Signalverarbeitung

1



20

Medizinische Signalanalysekette



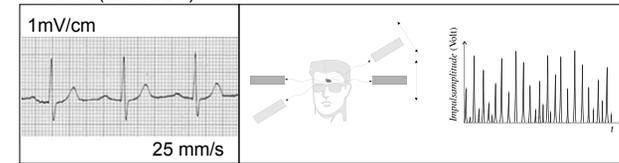
21

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 ausgezeichneter Rolle:

elektrische Signale

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



nichtelektrische Signale
werden in elektrische
Signale umgewandelt

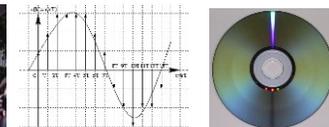


digitale Signale

Vorteil der digitalen S.:
Speicherung ist einfach,
Rausch kann minimali-
siert 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):

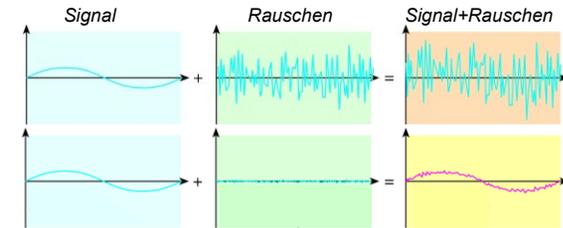
$$S/R = \frac{\text{mittlere Nutzsignalleistung}}{\text{mittlere Rauschleistung}} \quad \text{oder} \quad \frac{\text{Signalimpulszahl}}{\text{Rauschimpulszahl}}$$

- 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

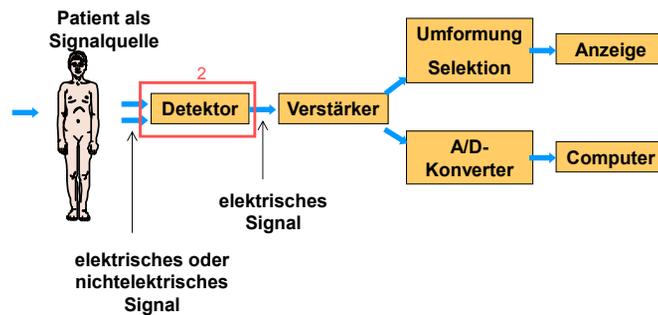
25

Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses

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



26



27

Detektor

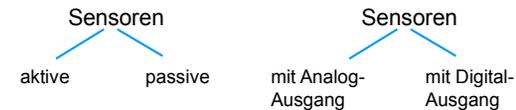
(Sensor, Umformer, Wandler, Transducer, ...)



Umwandlung der nichtelektrischen in elektrischen Signale.

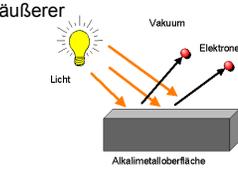
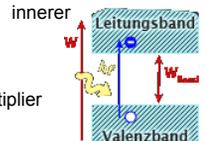


Bei elektrischen Signalen: Detektor → Elektroden



28

Einige Detektor-Effekte

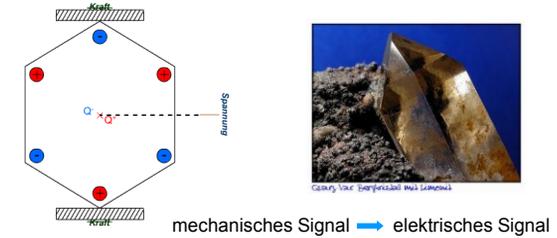
- **Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)**
 - äußerer: 
 - z. B. Photomultiplier
 - innerer: 
 - z. B. Photodiode

optisches Signal → elektrisches Signal
- **Radio-, Röntgenolumineszenz**
 -  z. B. NaI(Tl)
 - 

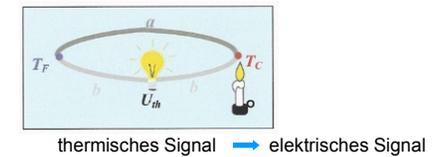
Strahlungssignal → optisches Signal

29

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

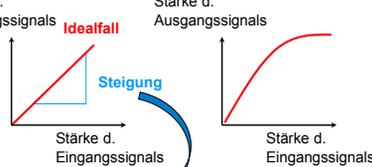
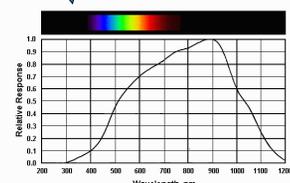


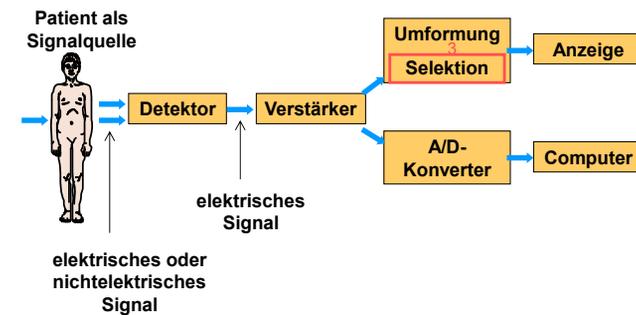
- **Seebeck-Effekt**



30

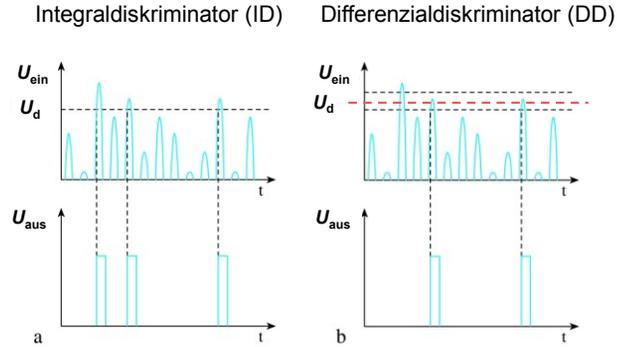
Kenngößen des Detektors

- **Kennlinie**
 - ... beschreibt den Zusammenhang zwischen der zu messenden Größe und dem resultierenden elektrischen Ausgangssignal.
 - 
- **Empfindlichkeit (Sensitivität)**
 - ... ist die Steigung der Kennlinie.
- **Empfindlichkeitskurve**
 - 
 - Typical Silicon Photodiode Spectral Response
- **Auflösung**
 - zeitliche, räumliche, ...



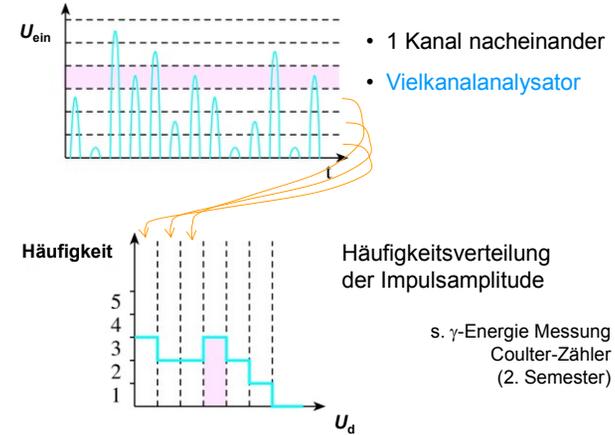
32

Selektierung von Impulssignalen



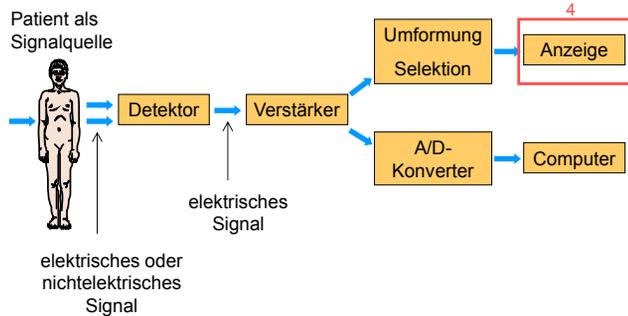
s. Szintillationszähler im Praktikum

33



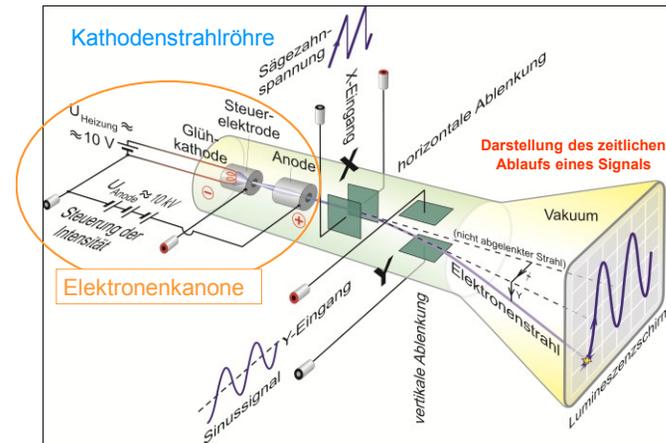
34

Medizinische Signalanalysekette

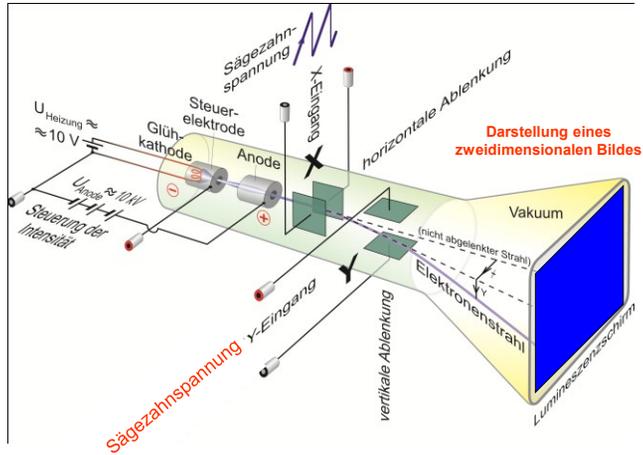


35

Anzeige (auch bei Computern)

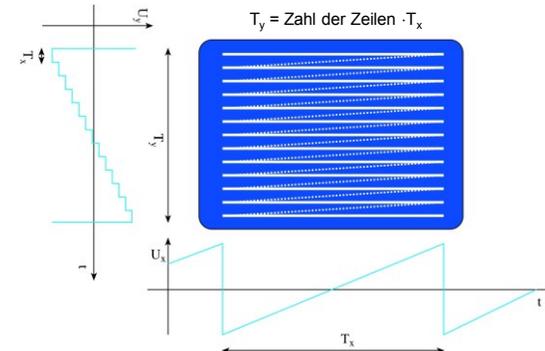


36



37

Darstellung eines zweidimensionalen Bildes (B-Bild)

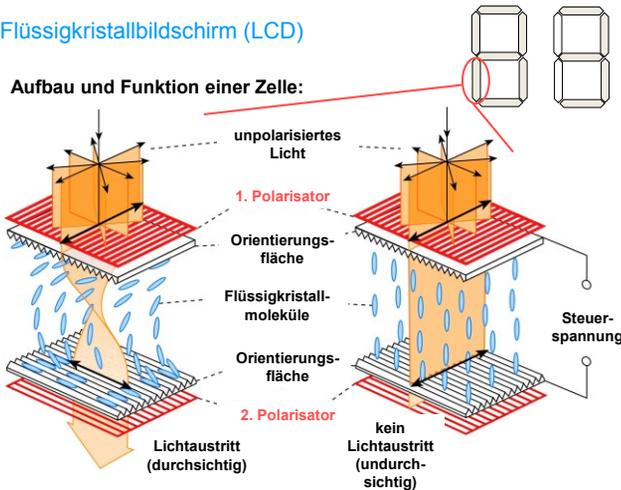


Bildfrequenz: $f_{Bild} = f_y = \frac{1}{T_y}$ \longrightarrow $f_x = \text{Zahl der Zeilen} \cdot f_y$

38

Flüssigkristallbildschirm (LCD)

Aufbau und Funktion einer Zelle:



39

Rechenaufgaben: ■ Praktikumsbuch : 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 k Ω , die Kapazität des Kondensators ist 20 μ F.
 - 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 Periodendzeit 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 $\cdot 10^{-9}$ F. Berechnen Sie den kapazitiven Widerstand dieser Haut bei den folgenden Frequenzen: 50 Hz, 1kHz, 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 k Ω ; 3,18 k Ω , und 159 Ω

40