

Klausur „Bildgebende Verfahren in der Medizin II“ am 30.09.2004

Ultraschall

- 1) a) Geben Sie die Beziehung zwischen der Schallintensität und der Eindringtiefe in homogenen Gewebe an.
b) Aus welchen Anteilen setzt sich der Absorptionskoeffizient μ zusammen?
c) In welchem Frequenzbereich liegen die US-Signale bei der Bildgebung?
d) Wie hängt μ von der Ultraschallfrequenz ab (qualitativ)?

a) $I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$ μ : Schwächungskoeffizient (1 Punkt)

b) $\mu = \mu_a + \mu_s$ μ_a : Absorptionskoeffizient
 μ_s : Streukoeffizient (1 Punkt)

c) 1 MHz bis 50 MHz (1 Punkt)

d) Der Schwächungskoeffizient nimmt mit steigender Ultraschallfrequenz zu.
(für Muskelgewebe gilt: bei 1 MHz ist die Abschwächung 1 dB/cm,
bei 2 MHz ist die Abschwächung 2 dB/cm)
(1 Punkt)

- 2) a) In welchem Bereich ist die laterale Auflösung am größten und von welchen Größen hängt die laterale und axiale Auflösung bei der Ultraschalldiagnostik ab (Begründung)?

b) Wo liegt die theoretische erreichbare axiale Auflösung?

c) Welche Auflösung wird heute typisch erreicht?

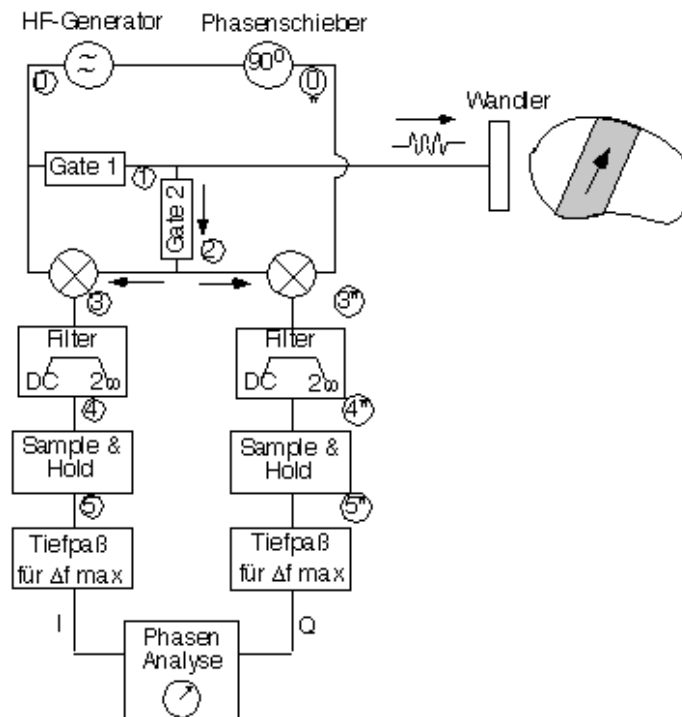
a) Die laterale Auflösung ist im "Fokus-Bereich" am größten und nimmt im Nahbereich und Fernbereich ab.
Fokus-Durchmesser und Fokusbereich lassen sich berechnen, wenn man annimmt, dass von jedem Punkt der Wandleroberfläche Kugelwellen ausgehen, die sich am Messort überlagern (Huygens-Prinzip). Die axiale Auflösung ist proportional zur US-Wellenlänge. (2 Punkte)

b) Die theoretische Grenze liegt bei $d = \lambda/2$. (1 Punkt)

c) Typische erreichbare Auflösungen liegen z.B. bei 5 MHz bei 1 mm lateral und 0,5 mm axial. (1 Punkt)

- 3) a) Skizzieren Sie ein „Pulsed-Wave“-Doppler-Ultraschall-System mit Quadratur-Detektor. Beschriften Sie die Komponenten und erläutern Sie die Signalanalyse.
- b) Warum werden zwei Auswerte-Kanäle benötigt?

a) Skizze „Pulsed-Wave“-Doppler-Ultraschall (5 Punkte)



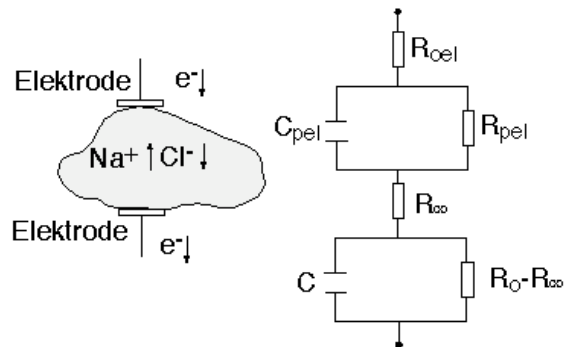
Mit Gate 1 wird ein kurzer US-Puls in den Körper abgegeben, Gate 2 schneidet aus dem Echo ein Gebiet (z.B. eine Ader) heraus. Beim Mischen entsteht die Summen- und die Differenzfrequenz zwischen Sende- und Empfangssignal. Die Summenfrequenz wird mit dem Tiefpass eliminiert. Die Differenzfrequenz enthält die Dopplerfrequenz, allerdings wegen des Gate 2 nur stückweise. Die vollständige Dopplerfrequenz wird mit dem Sample & Hold und dem Tiefpass rekonstruiert (Signal I).

- b) Mit einem einzigen Mischer kann die Richtung der Blutflussgeschwindigkeit nicht ermittelt werden ($\cos \alpha = \cos -\alpha$). Der zweite Auswertekanal, in dem mit einem um 90° phasenverschobenen Signal heruntergemischt wird, ergibt ein Signal Q. Läuft Q dem Signal I vor, so ist $\Delta\omega$ negativ, läuft Q dem Signal I nach, so ist $\Delta\omega$ positiv. (2 Punkte)

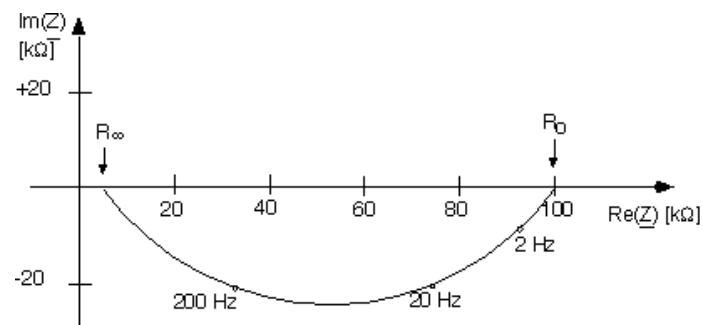
Impedanz-Tomographie

- 4) a) Geben Sie das vereinfachte Ersatzschaltbild von Elektrode und Körpergewebe an. (2 Punkte)
- b) Skizzieren Sie die Ortskurve der Impedanz von Körpergewebe. (2 Punkte)

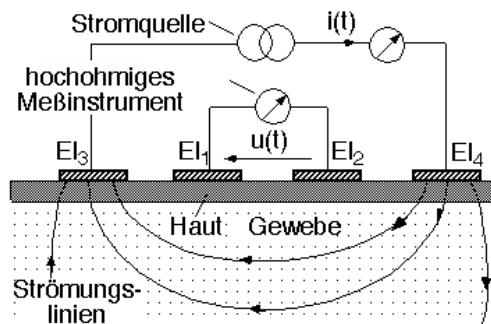
a)



b)



- 5) Mit welchem Messverfahren kann der Beitrag der Elektrodenimpedanz zum Messsignal vernachlässigbar klein gemacht werden? (Skizze und Begründung)? (4 Punkte)



Bei der Vierelektrodenteknik wird über ein Elektrodenpaar der Strom eingespeist. Über ein anderes Elektrodenpaar wird mit einem hochohmigen Messgerät die Spannung gemessen. Da über diese Elektroden fast kein Strom fließt, fällt der Spannungsabfall über den Elektroden nicht ins Gewicht.

Abbildung elektrischer Ströme

- 6) Wie ist ein Stromdipol definiert (Erklärung) und in welcher Einheit wird er gemessen? (3 Punkte)

Definition des Stromdipols

$$\vec{J}_i dv = I \cdot \vec{d};$$

$\vec{J}_i$: eingeprägte Stromdichte

dv : Volumenelement

I : Stromstärke in einem Volumenelement

$\vec{d}$: Kantenlänge des Volumenelements, durch das der Strom I fließt.

Einheit des Stromdipols: $A \cdot m$.

- 7) Mit welchen Gleichungen wird das inverse Problem beschrieben und was ist die größte Schwierigkeit bei der Lösung des inversen Problems? (2 Punkte)

$$\underline{\underline{A}} \cdot \vec{x} = \vec{b}$$

$\underline{\underline{A}}$ = lead field matrix

direktes Problem:

$\vec{x}$ = Vektor der Quellen

$\vec{b}$ = Vektor der gemessenen Potentiale

inverses Problem: $\vec{x} = \underline{\underline{A}}^{-1} \cdot \vec{b}$

Kleinste Ungenauigkeiten im Messsignal (z.B. Rauschen) führen zu sehr großen Fehlern bei den rekonstruierten Quellen. Es gibt "stille Quellen", die kein Messsignal erzeugen.

Optische Tomographie

- 8) Was versteht man unter Diaphanographie? (1 Punkt)

Das zu untersuchende Gewebe wird Licht durchstrahlt und ein Schattenbild aufgezeichnet. Bei Anregung mit intensitätsmoduliertem Licht kann ein Bild der Modulationstiefe oder der Phasenverschiebung dargestellt werden.

MR-Tomographie

- 9) Gegeben ist ein homogenes Feld von $B_z = 0,5 \text{ T}$, dem ein Gradientenfeld G_z von 10 mT/m überlagert ist. Im Koordinatenursprung ist $B_z = 0,5 \text{ T}$. Mit welcher Frequenz präzidieren die Spins im ruhenden und im rotierenden Koordinatensystem bei $z = 20 \text{ mm}$ ($\gamma^* = 42,58 \text{ MHz/T}$)?

Präzession im Gradientenfeld:

$$2\pi f = \omega = \gamma \cdot B_{00} + \gamma \cdot G_z \cdot z$$

$$f_1 = \gamma^* \cdot B_{00} = 42,58 \cdot \frac{\text{MHz}}{\text{T}} \cdot 0,5 \text{ T} = 21,29 \text{ MHz} \quad (2 \text{ Punkte})$$

$$f_2 = \gamma^* \cdot G_z \cdot z = 42,58 \cdot \frac{\text{MHz}}{\text{T}} \cdot \frac{10 \text{ mT}}{\text{m}} \cdot 0,02 \text{ m} = 8,52 \text{ kHz}$$

Frequenz im ruhenden Koordinatensystem:

$$21,29 \text{ MHz} + 8,52 \text{ MHz} = \underline{21,29 \text{ MHz}} \quad (1 \text{ Punkt})$$

Frequenz im rotierenden Koordinatensystem:

$$\underline{8,52 \text{ MHz}} \quad (1 \text{ Punkt})$$

- 10) a) Was ist die Längsrelaxationszeit T_1 ? (2 Punkte)
b) Was ist die Querrelaxationszeit T_2 ? (2 Punkte)
c) Was ist die Querrelaxationszeit T_2^* ? (2 Punkte)
d) In welcher Größenordnung liegen typische Zeiten T_1 und T_2 bei Körpergewebe? (2 Punkte)
e) Wie kann man jeweils T_1 , T_2 und T_2^* messen (jeweils ein Messverfahren)? (3 Punkte)

- a) Die Längsrelaxationszeit T_1 ist die charakteristische Zeit, in der die z-Komponente der Magnetisierung zum Wert im thermischen Gleichgewicht zurückkommt. Z.B. gilt nach einem 90° Puls:

$$M_z(t) = M_{z0}(1 - \exp(-t/T_1)).$$

T_1 wird durch die Spin-Gitter-Wechselwirkung bestimmt.

- b) Die Querrelaxationszeit T_2 ist die charakteristische Zeit, in der die Quermagnetisierung M_T zerfallen würde, wenn die Spins in einem ideal homogenen Magnetfeld wären.

$$M_T = M_{T0}(\exp(-t/T_2)) \quad (\text{B ideal homogen})$$

T_2 wird durch die Spin-Spin-Wechselwirkung bestimmt.

- c) Die Querrelaxationszeit T_2^* ist die charakteristische Zeit, in der die Quermagnetisierung M_T tatsächlich zerfällt.

$$M_T = M_{T0}(\exp(-t/T_2^*))$$

T_2^* ist kleiner als T_2 , da alle Spins ein etwas anderes Feld sehen, und daher „aus der Phase laufen“.

- d) Typische Zeiten im Körper:

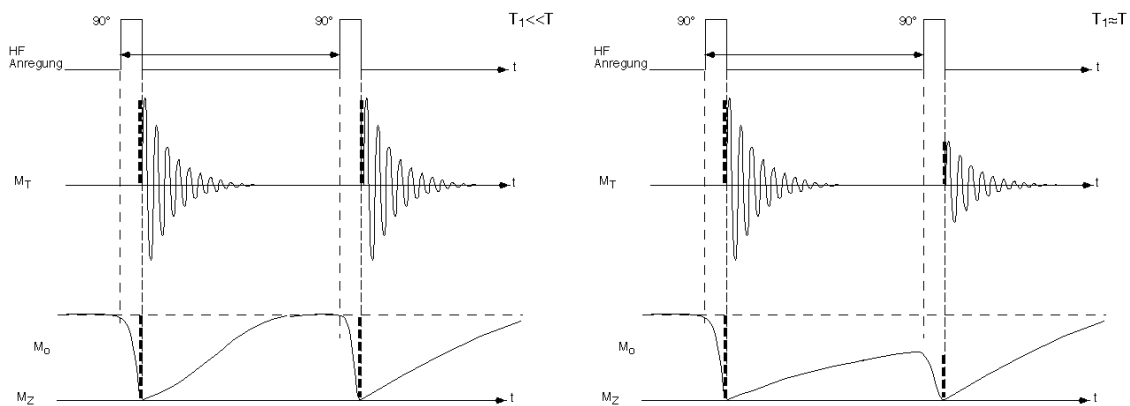
T_1 zwischen 0,1 s und 1 s, T_2 zwischen 0,01 und 0,1 s.

- e) Messung von T_1 : z.B. FID-Signal (Free Induction Decay) nach zwei 90° Pulsen im Abstand T_R :
 $FID(T_R) = FID(0)(1 - \exp(-T_R / T_1))$

Messung von T_2 : Spin-Echo-Signal zu verschiedenen Echozeiten T_E

Messung von T_2^* : Einhüllende des FID-Signals, Echohöhe nach Mehreren Gradienten-Echos

- 11) Skizzieren Sie M und das "Free Induction Decay" (FID) Signal nach den zwei 90° -Pulsen für den Fall $T_1 \ll T$ und für $T_1 \gg T$. (4 Punkte)



- 12) Wie erhält man protonendichte-gewichtete, T_1 -gewichtete und T_2 -gewichtete Bilder bei der Spin-Echo-Pulssequenz? (6 Punkte)

Protonendichte-gewichtet: T_R lang (z.B. 2000 ms)
 T_E kurz (z.B. 15 ms)

T_1 -gewichtet: T_R kurz (z.B. 200 ms)
 T_E kurz (z.B. 15 ms)

T_2 -gewichtet: T_R kurz (z.B. 200 ms)
 T_E lang (z.B. 100 ms)

13) a) Von welchen Größen hängt die Auflösung in x, y und z-Richtung bei der MR-Tomographie ab? (4 Punkte)

b) Wie kann man die Auflösung vergrößern? (2 Punkte)

a)

$$\Delta x = \frac{\pi}{\gamma G_x T_s}$$

Die Auflösung in x-Richtung hängt vom Gradienten G_x und von der Messzeit T_s ab. Bei der Spin-Echo-Sequenz beschreibt die Einhüllende des Echos die Modulationsübertragungsfunktion.

$$\Delta y = \frac{\pi}{\gamma G_y T_y}$$

Die Auflösung in y-Richtung hängt vom Gradienten G_y und von der Einschaltzeit T_y ab.

b) Die Auflösung kann durch stärkere Gradienten G_x und G_y vergrößert werden. Gleichzeitig muss die Bandbreite sowohl beim Anregen als auch beim Auslesen vergrößert werden.

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Punkte	4	4	7	4	4	3	2	1	4	11	4	6	6

Gesamt 60 Punkte