

Bildgebende Verfahren in der Medizin II

22. September 2011

Ultraschall

Aufgabe 1

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

Lösung

- a) $I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu x)$ (1 Punkt)
- b) $\mu = \mu_a + \mu_b$
mit
 μ : Schwächungskoeffizient
 μ_a : Absorptionskoeffizient
 μ_b : Streukoeffizient (1 Punkt)
- c) 1-50 MHz (1 Punkt)
- d) Der Schwächungskoeffizient nimmt mit steigender Ultraschallfrequenz zu. (1 Punkt)
(Für Muskelgewebe gilt:
bei 1 MHz ist die Abschwächung 1 dB/cm
bei 2 MHz ist die Abschwächung 2 dB/cm)

Aufgabe 2

- a) Erklären Sie die Funktionsweise eines Phased-Array Messkopfes und zeichnen Sie das zugehörige Blockschaltbild. (6 Punkte)
- b) Nennen Sie weitere Typen von Ultraschall-Messköpfen für 2D-US-Systeme? (2 Punkte)
- c) Welche Vorteile hat das Phased-Array gegenüber den anderen Verfahren? (3 Punkte)

Lösung

- a) Beim Phased-Array kann jedes Wandler-Element einer Reihe sowohl beim Senden als auch beim Empfangen mit einer individuell einstellbaren Verzögerung angesteuert werden. (1 Punkt)
Die von jedem Wandler-Element abgestrahlten Kugelwellen haben so eine genau definierte Phasenverschiebung (1 Punkt).
- b) Mechanische Wandler, Linear-Array, Curved-Array (2 Punkte)

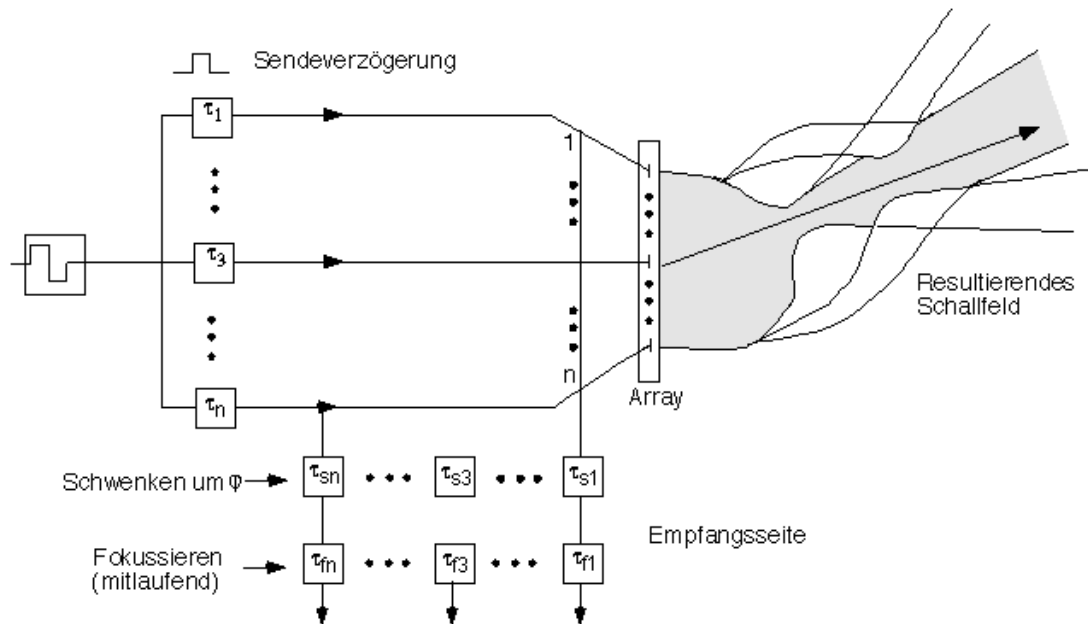


Abb. 1: zu Aufgabe 2 a (4 Punkte)

c) Die Vorteile des Phased-Array sind folgende:

Da alle Wandler gleichzeitig abstrahlen, kann eine hohe Leistung abgestrahlt werden und trotzdem eine hohe räumliche Auflösung erzielt werden (1 Punkt) .

Durch die Phasenverschiebung ist eine zusätzliche Fokussierung möglich und damit eine höhere Auflösung. (1 Punkt)

Dynamische Fokussierung: Der Empfang kann dynamisch auf Tiefe fokussiert werden, aus der gerade die Echos kommen. (1 Punkt)

Aufgabe 3

Bei der Anwendung der US-Scanner müssen auch Sicherheitsaspekte berücksichtigt werden. Auf welche zwei Arten können die US-Wellen den Körper schädigen? Beschreiben Sie kurz die jeweilige Wirkung. (4 Punkte)

Lösung

US-Wellen können den Körper auf zwei Arten schädigen:

durch Wärmeentwicklung (1 Punkt)

durch Kavitation (1 Punkt)

Wärme entsteht lokal proportional zur absorbierten Schallintensität, wird aber durch Blutströmung und Wärmeleitung abgeführt. (1 Punkt) Kavitation wird ein Effekt genannt, bei dem in der Unterdruckphase einer Schallwelle im Gewebe Gasbläschen entstehen, die dann in der Druckphase kollabieren. Hierbei werden Zellen zerstört. (1 Punkt)

Impedanztomographie

Aufgabe 4

Bei der Impedanz-Tomographie wird die Bildrekonstruktion mit der gefilterten Rückprojektion verwendet. Beschreiben Sie das Verfahren (Erklärung und Skizze mit Elektrodenanordnung und Äquipotentiallinien). (6 Punkte)

Lösung

Im ersten Schritt wird die relative Abweichung der gemessenen Spannungen V_m von den Spannungen eines homogenen leitfähigen Zylinders V_H bestimmt (1 Punkt):

$$V_r = \frac{V_m - V_H}{V_H} = \frac{\rho_m - \rho_H}{\rho_H} = \rho_r \quad (1)$$

Hierbei wird angenommen, dass das gesamte Gebiet, das zwischen den Äquipotentiallinien liegt, die durch die beiden Messelektroden gehen, eine Leitfähigkeitsänderung ρ_r aufweist. (1 Punkt) Der

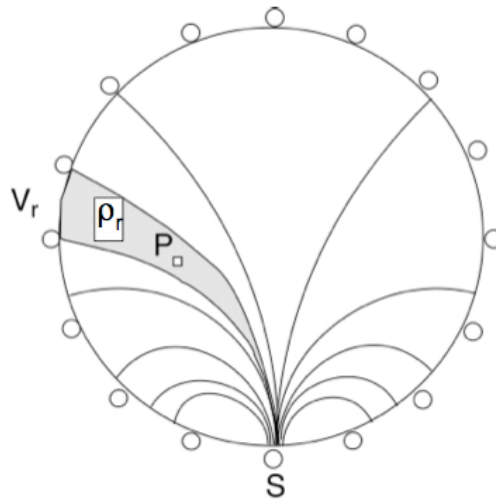


Abb. 2: zu Aufgabe 4 (2 Punkte)

Bereich zwischen den Äquipotentiallinien wird als eine Projektion aufgefasst (grauer Bereich in der Skizze). Bei der Verarbeitung wird somit für jede Projektion ρ_r in das Bild zurückgeschrieben. Das endgültige Bild entsteht durch Aufaddieren der Einträge innerhalb der Pixel. (1 Punkt)

Gefilterte Rückprojektion bedeutet, dass das Bild nachträglich Hochpass gefiltert wird, um Details stärker hervorzuheben. (1 Punkt)

Aufgabe 5

Die Impedanztomographie stellt eine hoffnungsvolle Möglichkeit zur Überwachung der Belüftung der Lunge dar.

- Beschreiben Sie wie das Verfahren für diese Anwendung im Vergleich zum Standard-Verfahren aus Aufgabe 4 angepasst werden kann, um die Qualität der Bilder zu verbessern. (2 Punkte)

- b) Gibt es weitere Anwendungsmöglichkeiten für diese Technik in der Medizin (1 Punkt)?

Lösung

- a) Beim „Dynamic Imaging“ wird an Stelle der relativen Spannungsänderung bezogen auf einen homogen leitfähigen Zylinder die relative Spannungsänderung wie folgt definiert:

$$V_r = \frac{V_{\text{ein}} - V_{\text{aus}}}{V_{\text{aus}}} \quad (2)$$

mit:

V_{ein} : gemessene Spannung im eingeatmeten Zustand

V_{aus} : gemessene Spannung im ausgeatmeten Zustand (2 Punkte)

- b) Eine weitere Möglichkeit wäre die Überwachung der Herzfunktion, als Grundlage würde der systolische und der diastolische Zustand des Herzens dienen (1 Punkt).

Bioelektrische Quellen

Aufgabe 6

- a) Wie ist das Lead-Field für ein Elektrodenpaar definiert und wie kann es interpretiert werden? (Formel und Erklärung) (4 Punkte)
- b) Was besagt das Reziprozitätstheorem bei der Abbildung bioelektrischer Ströme? (Erklärung und Skizze) (4 Punkte)

Lösung

- a) Das Lead-Field ist ein Vektorfeld mit folgender Eigenschaft:

$$V = \vec{p}(x, y, z) \cdot \vec{a}(x, y, z) \quad (1 \text{ Punkt})$$

V : messbare Spannung eines Elektrodenpaares

$\vec{a}$: Leadfield

$\vec{p}$: Stromdipol am Ort (x, y, z) (1 Punkt) Das Skalarprodukt aus dem Vektor eines Stromdipols am Ort (x, y, z) mit dem Vektor des Lead-Fields am Ort (x, y, z) ergibt die Spannung, die man an einem bestimmten Elektrodenpaar messen kann (1 Punkt). Damit ist das Lead-Field eine Art Empfindlichkeitsfaktor, der angibt, mit welcher Stärke ein Stromdipol zu einem Signal an einem Elektrodenpaar beiträgt (1 Punkt).

- b) Das Reziprozitätstheorem besagt, dass das Lead-Field eines Elektrodenpaares bis auf einen konstanten Faktor identisch ist mit der Stromdichte im Körper, wenn man durch die Messelektroden einen Strom schicken würde. (2 Punkte)

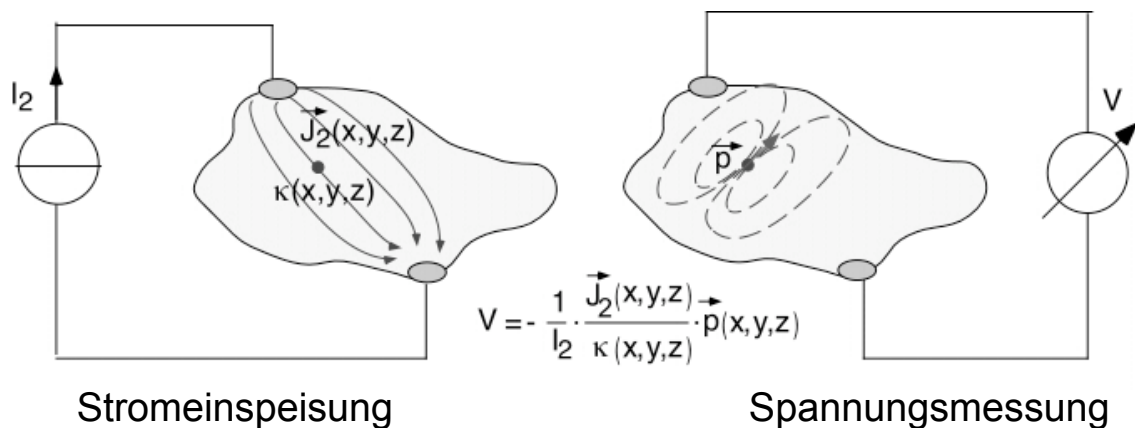


Abb. 3: zu Aufgabe 6b (2 Punkte)

Magnetresonanztomographie (MRT)

Aufgabe 7

Gegeben ist ein homogenes Magnetfeld $B_z = 0,5 \text{ T}$, dem ein Gradientenfeld $G_z = 10 \text{ mT/m}$ überlagert ist. Im Koordinatenursprung gilt $B_{z,\text{gesamt}} = 0,5 \text{ T}$. Mit welcher Frequenz f präzidieren die Spins im ruhenden und im rotierenden Koordinatensystem bei $z = 20 \text{ mm}$? ($\gamma^* = 42,58 \text{ MHz/T}$) (4 Punkte)

Lösung

Es gilt:

$$\omega = 2\pi f = \gamma \cdot B_z + \gamma \cdot G_z \cdot z \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (3)$$

$$\rightarrow f_{\text{hom}} = \gamma^* \cdot B_z = 42,58 \text{ MHz/T} \cdot 0,5 \text{ T} = 21,29 \text{ MHz} \quad (4)$$

$$\rightarrow f_{\text{rot}} = \gamma^* \cdot G_z \cdot z = 42,58 \text{ MHz/T} \cdot 10 \text{ mT/m} \cdot 0,02 \text{ m} = 8,52 \text{ kHz} \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (5)$$

Damit beträgt die Frequenz im ruhenden Koordinatensystem:

$$f_{\text{ruh}} = f_{\text{hom}} + f_{\text{rot}} = 21,29 \text{ MHz} + 8,52 \text{ kHz} = 21,29852 \text{ MHz} \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (6)$$

Die Frequenz im rotierenden Koordinatensystem beträgt:

$$f_{\text{rot}} = 8,52 \text{ kHz} \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (7)$$

Aufgabe 8

Ein transversales magnetisches Wechselfeld mit $B_T = 10 \mu\text{T}$ wird für $t = 1 \text{ ms}$ eingeschaltet. Um welchen Flipwinkel (in Grad) wird die Magnetisierung M_{z0} gekippt? ($\gamma^* = 42,58 \text{ MHz/T}$) (4 Punkte)

Lösung

für den Flipwinkel gilt:

$$\alpha = \gamma \cdot B_T \cdot t \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (8)$$

$$= 42,58 \text{ MHz/T} \cdot 2\pi \cdot 10 \mu\text{T} \cdot 1 \text{ ms} \quad (9)$$

$$= 2,67 \text{ rad} \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (10)$$

$$\rightarrow \frac{x}{360^\circ} = \frac{2,67 \text{ rad}}{2\pi} \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (11)$$

$$\rightarrow x = 153^\circ \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (12)$$

Aufgabe 9

- Erklären Sie den Begriff Längsrelaxationszeit T_1 ? (2 Punkte)
- Erklären Sie den Begriff Querrelaxationszeit T_2 ? (2 Punkte)
- Erklären Sie den Begriff Querrelaxationszeit T_2^* ? (2 Punkte)
- In welcher Größenordnung liegen typische Zeiten T_1 und T_2 bei Körpergewebe? (2 Punkte)
- Wie können T_1 , T_2 bzw. T_2^* gemessen werden (jeweils ein Messverfahren)? (3 Punkte)

Lösung

- Die Längsrelaxationszeit T_1 ist die charakteristische Zeit, in der die z-Komponente der Magnetisierung zum Wert im thermischen Gleichgewicht zurückkommt (1 Punkt). Z.B. gilt nach einem 90° Puls:

$$M_z(t) = M_{z0} \cdot (1 - \exp(-t/T_1)) \quad (13)$$

T_1 wird durch Spin-Gitter-Wechselwirkung bestimmt (1 Punkt).

- 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 (1 Punkt).

$$M_T(t) = M_{T0} \cdot \exp(-t/T_2) \quad \text{Gilt, falls B ideal homogen} \quad (14)$$

T_2 wird durch die Spin-Spin-Wechselwirkung bestimmt (1 Punkt).

- Die Querrelaxationszeit T_2^* ist die charakteristische Zeit, in der die Quermagnetisierung M_T tatsächlich zerfällt (1 Punkt).

$$M_T = M_{T0} \cdot \exp(-t/T_2^*) \quad (15)$$

T_2^* ist kleiner als T_2 , da alle Spins ein etwas anderes Feld sehen, und daher aus der Phase laufen (1 Punkt).

- Typische Zeiten im Körper: T_1 zwischen 0,1 s und 1 s, T_2 zwischen 0,01 s und 0,1 s (2 Punkte).
- Messung von T_1 : z.B. FID-Signal (Free Induction Decay) nach zwei 90° Pulsen im Abstand T_R :

$$\text{FID} = \text{FID}(0) \cdot (1 - \exp(-T_R/T_1)) \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (16)$$

Ä Messung von T_2 : Spin-Echo-Signal zu verschiedenen Echozeiten T_E (1 Punkt)

Messung von T_2^* : Einhüllende des FID-Signals. Die Echohöhe nach mehreren Gradienten-Echos zerfällt exponentiell mit T_2^* (1 Punkt).

Aufgabe 10

Nennen Sie 4 Größen, die das Signal zu Rauschverhältnis (SNR) bei der MRT beeinflussen und geben Sie qualitativ die Abhängigkeit an (4 Punkte).

Lösung

4 Größen + Abhängigkeit, Formel ist nicht gefragt

$$\text{SNR} = M_{T0}(r) \cdot \left(\frac{\omega_0 \cdot \mu_0 \cdot Q}{4kT \cdot V_{\text{eff}} \cdot \Delta f} \right)^{1/2} \cdot (N_m \cdot N_p \cdot N_a)^{1/2} \cdot 10^{-(\delta + F_r)/20} \cdot \exp(-T_E/T_2) \cdot dv \quad (17)$$

mit:

$M_{T0}(r)$: Sättigungsmagnetisierung

Q : Güte der Spule

V_{eff} : Volumen das die Empfangsspule ausleuchtet

Δf : Messbandbreite

N_m : Zahl der Samples

N_p : Anzahl der Phasenkodierungen

N_a : Anzahl der Mittelungen $\delta + F_r$: Rauschbeitrag des Empfangskreises

T_E/T_2 : Verhältnis Echo zu Relaxationszeit

dv : Volumen des Voxels

Aufgabe 11

- Wie ist der mathematische Zusammenhang zwischen dem Messsignal $S(k_x, k_y)$ im k-Raum und der Quermagnetisierung $M'_{T0}(x, y)$ definiert? Benennen Sie den Zusammenhang und geben Sie die entsprechende Formel an. (2 Punkte)
- In Abbildung 4 ist die Quermagnetisierung $M'_{T0}(x, y)$ eines Objekts dargestellt. Markieren Sie diejenigen Bereiche im k-Raum in denen bei der Aufnahme dieses Objekts durch ein MRT-System hohe Signalintensität zu erwarten ist. (Beschriften Sie die Achsen des k-Raumes!) (2 Punkte)
- Geben sie den Amplitudenverlauf des Messsignales $|S(k_x, k_y)|$ (Betrag) entlang der 1. Winkelhalbierenden im k-Raum im Eindimensionalen an, indem sie die Amplitude über dem Weg auftragen. (Anmerkung: Die 1. Winkelhalbierende ist in diesem Fall diejenige Gerade im k-Raum, für die gilt $k_x = k_y$) (2 Punkte)

Lösung

- Das Messsignal im k-Raum ist die zweidimensionale Fouriertransformierte der Quermagnetisierung (1 Punkt)

$$S(k_x, k_y) = \iint M'_{T0}(x, y) \cdot \exp(-jk_x x - k_y y) dx dy \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (18)$$

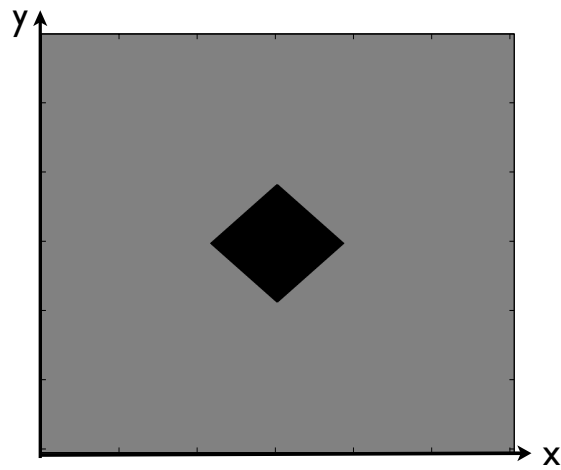


Abb. 4: zu Aufgabe 11 b)

- b) Die für 2D-Fouriertransformation des dargestellten Objektes ist die Intensität auf den beiden Winkelhalbierenden am höchsten (Siehe Abbildung 5) (2 Punkte)? (Für die Lösung ist es ausreichend die beiden Winkelhalbierenden anzugeben)

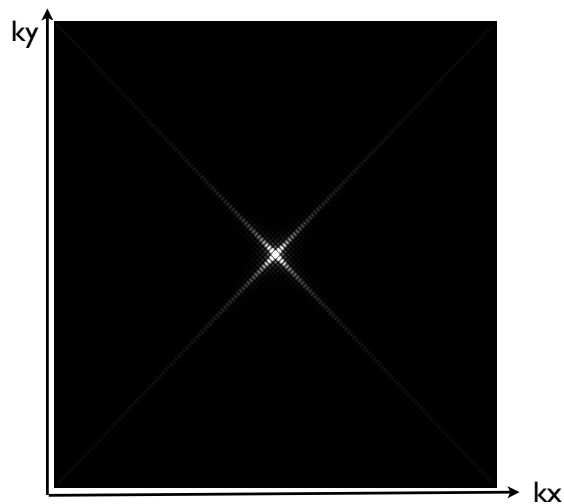


Abb. 5: Loesung Aufgabe 11b)

- c) Der Verlauf entlang der 1. Winkelhalbierenden entspricht dem Betrag der Fouriertransformierten einer Rechteckfunktion, was dem Betrag einer $\text{Si}(x)$ -Funktion entspricht (siehe Abbildung 6). (1 Punkt)

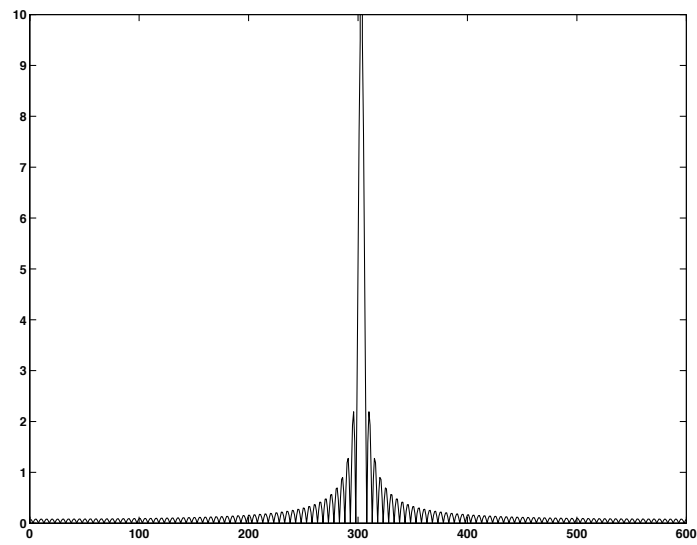


Abb. 6: Loesung Aufgabe 11c)

<i>Aufg.</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	Σ
<i>Punkte</i>	<i>4</i>	<i>11</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>11</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>65</i>