

Bildgebende Verfahren in der Medizin II

12. September 2008

Ultraschall

Aufgabe 1. Schallimpedanz

- a) Wie ist die Schallimpedanz definiert? (2 Punkte)
- b) Welche Analogie gibt es zur elektrischen Impedanz? (1 Punkt)
- c) Wie lautet die Wellengleichung? (2 Punkte)
- d) Welche Bedeutung hat die Schallimpedanz bei der Ultraschalldiagnostik? (1 Punkt)
- e) Wie berechnen sich die Koeffizienten für Transmission und Reflexion aus den Schallimpedanzen zweier benachbarter Materialien? (2 Punkte)

Lösung:

- a) Für die Schallimpedanz gilt: (jeweils 1 Punkt für Formel und Begriffe)

$$Z = \frac{\Delta p}{v}$$

mit Δp : Druckänderung
 v : Schallschnelle

- b) Δp korrespondiert mit der elektrischen Spannung U ,
 v korrespondiert mit dem elektrischen Strom I .

- c) Die Wellengleichung lautet: (jeweils 1 Punkt für Formel und Begriffe)

$$\Delta p - \frac{\rho_0}{K} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0,$$

mit $p(x,y,z,t)$: Druck
 ρ_0 : Dichte des Mediums in Ruhe
 K : Kompressionsmodul

Wenn man das Schallfeld eines US-Wandlers berechnet, geht man davon aus, dass jeder Punkt der US-Wandler-Oberfläche eine Kugelwelle aussendet (Huygensches Prinzip).

- d) Unterscheiden sich zwei Gewebetypen stark in der Schallimpedanz, so werden einfallende Wellen stark reflektiert.
- e) Für den Reflexionskoeffizienten R und Translationskoeffizienten T gilt bei senkrechtem Einfall: (jeweils ein Punkt)

$$R = \frac{J_r}{J_0} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad T = \frac{J_t}{J_0} = \frac{4 \cdot Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Aufgabe 2: Auflösung bei der Ultraschall-Bildgebung

- a) In welchem Bereich ist die laterale Auflösung am größten? Wie groß ist dieser Bereich für einen Durchmesser des US-Wandlers von 5 mm und bei einer Wellenlänge in Muskelgewebe von 0,3 mm? (3 Punkte)
- b) Wovon hängt die axiale Auflösung bei der Ultraschalldiagnostik ab (Begründung)? Wo liegt die theoretisch erreichbare axiale Auflösung (Erklärung)? Warum wird diese nicht erreicht und wo liegt die erreichte Auflösung typischerweise? (3 Punkte)

Lösung:

- a) Die laterale Auflösung ist im Fokus-Bereich am größten und nimmt im Nahbereich und Fernbereich ab (1 Punkt). Der Fokus-Bereich liegt zwischen $x/N = 1$ und $x/N = 2$, mit $N = D^2/4\lambda$ (1 Punkt). Für die angegebenen Werte ergibt sich ein Fokusbereich von 20 mm bis 40 mm (1 Punkt).
- b) Die axiale Auflösung ist in erster Näherung proportional zur US-Wellenlänge (1 Punkt). Es erscheinen zwei unterschiedliche Echos, wenn sie an zwei Grenzflächen reflektiert worden sind, deren Abstand größer ist als die halbe Wellenlänge. Die theoretische Grenze liegt damit bei $d = \lambda/2$ (1 Punkt). Allerdings werden die Wellenpakete durch Dispersion verschmiert. Typische erreichbare Auflösungen liegen zwischen 0,4 und 1 mm axial (1 Punkt).

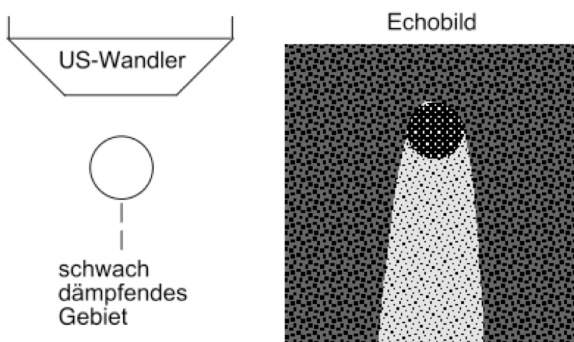
Aufgabe 3: Artefakte in der US-Bildgebung

Welche Artefakte sind für die Us-Bildgebung bekannt? (Mindestens 4 Typen jeweils mit Skizze und kurzer Beschreibung) (8 Punkte)

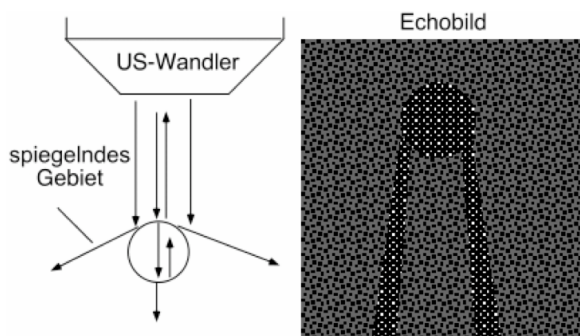
Lösung: (jeweils ein Punkt für Erklärung und Skizze)

Folgende Artefakte sind für die US-Bildgebung typisch:

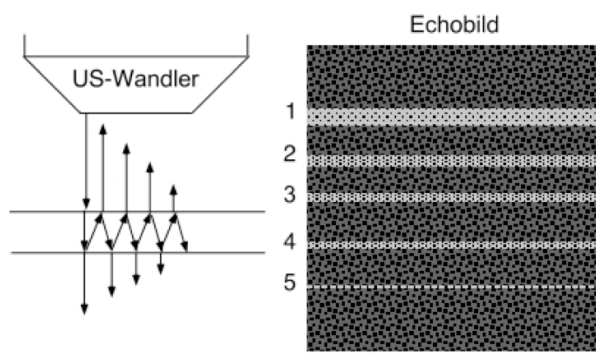
- 1) Hinter schwach dämpfenden Gebieten kommt es zu einer scheinbaren Signal-erhöhung durch die Time-Gain Compensation.



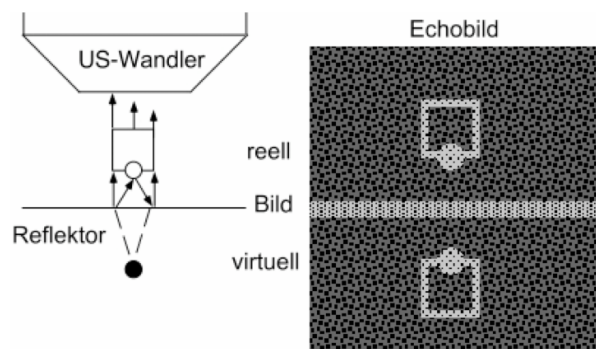
- 2) Hinter schrägen Kanten, die relativ stark spiegeln, kommt es zu Abschattungen.



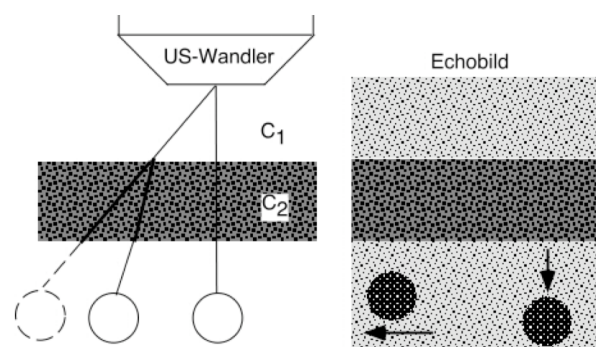
- 3) Bei zwei stark reflektierenden, ungefähr parallelen Grenzflächen kann es zu Mehrfachreflexionen kommen.



- 4) Objekte vor stark reflektierenden Flächen können als virtuelles Bild doppelt erscheinen.



- 5) Objekte hinter Gebieten mit abweichender Schallgeschwindigkeit erscheinen verschoben.



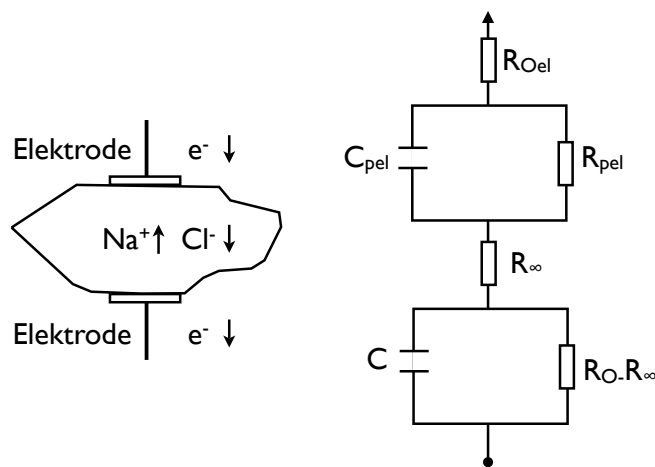
Impedanztomographie

Aufgabe 4: Übergang Elektrode - Haut

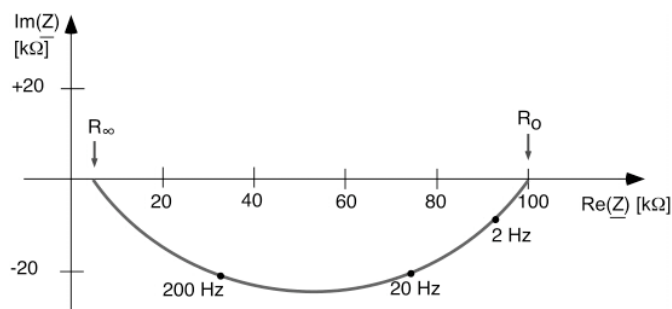
- Geben Sie das vereinfachte Ersatzschaltbild von Elektrode und Körpergewebe an. Beschriften und erklären Sie kurz die Komponenten. (2 Punkte)
- Wie verhalten sich die Impedanzen von Elektrode und Körpergewebe bei zunehmender Frequenz? Skizzieren Sie die Ortskurve der Impedanz von Körpergewebe. (2 Punkte)

Lösung:

- Das Ersatzschaltbild des Übergangs Elektrode-Körper ist eine Reihenschaltung aus einem Widerstand R_{Oel} und einer Parallelschaltung aus R_{pel} und C_{pel} . C , R_{∞} , und $R_{0-\infty}$ fassen die passiven elektrischen Eigenschaften von Körpergewebe zusammen. C_{pel} , R_{Oel} und R_{Oel} stellen die Elektrode dar. (jeweils 1 Punkt für Skizze und Erklärung)



- Mit steigenden Frequenzen nehmen die Impedanzen von Körpergewebe und Elektroden ab. Ortskurve der Haut: (jeweils 1 Punkt für Skizze und Erklärung)

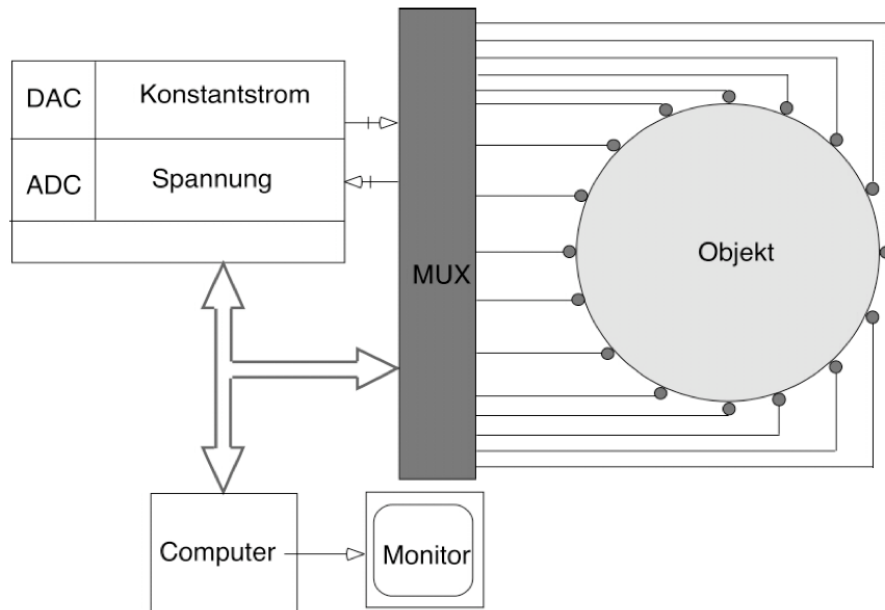


Aufgabe 5: Datenerfassungssystem

- Skizzieren Sie das Datenerfassungssystem für die Impedanztomographie (2 Punkte).
- Welche Strategien für Stromeinspeisung und Spannungsmessung sind Ihnen bekannt? (3 Punkte)

Lösung:

a) Datenerfassungssystem für die Impedanztomographie:



b) Strategien für Stromeinspeisung und Spannungsmessung: *(jeweils 1 Punkt)*

1. Stromeinspeisung über benachbarte Elektroden – ist besonders gut geeignet, um die Leitfähigkeit in Bereichen nahe der Oberfläche zu bestimmen.
2. Stromeinspeisung über gegenüberliegende Elektroden – die Empfindlichkeitsverteilung ist gleichmässiger.
3. Wenn mit allen Elektroden gleichzeitig bestimmte Stromdichte-Muster eingepägt werden, bekommt man besonders gleichmässige Empfindlichkeitsverteilungen.

Optische Tomographie

Aufgabe 6: Tomographie mit Licht

- a) Was wird bei der optischen Tomographie gemessen, und welche physikalischen Gewebeeigenschaften werden dabei abgebildet? *(2 Punkte)*
- b) Wie werden aus den Messungen Bilder rekonstruiert (2 Verfahren, nur in Stichworten)? *(4 Punkte)*

Lösung:

- a) Bei der optischen Tomographie wird an einem Punkt Licht in den Körper eingestrahlt und an vielen anderen die herauskommende Lichtintensität gemessen. Das Muster wird

sukzessive weitergeschaltet. Aus den Lichtintensitäten J werden Schnittbilder von Absorptionskoeffizienten $\mu_a(x,y)$ und Streukoeffizienten $\mu_s(x,y)$ rekonstruiert.

$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

mit $\mu = \mu_a + \mu_s$

- b) Bei der optischen Tomographie werden mit Methoden der Rückprojektion oder durch numerische iterative Verfahren Bilder rekonstruiert.

Bei der *gefilterten Rückprojektion (1 Punkt)* werden die Projektionen der gemessenen Intensitäten in das Bild zurückgeschrieben und entsprechend aufaddiert. Dies führt zu großen Verschmierungen. Um das resultierende Bild schärfer erscheinen zu lassen, wird anschließend das Ergebnis hochpassgefiltert. (1 Punkt)

Bei den *numerischen Methoden (1 Punkt)* beginnt man mit einer Taylor-Entwicklung der gesuchten Absorptionskoeffizienten um die „normalen Werte“ herum.

$$\vec{I} = F[\vec{p}^0] + F'[\vec{p}^0] \cdot (\vec{p} - \vec{p}^0)^T + \dots$$

dabei sind: I die Zahlenfolge der gemessenen Lichtintensitäten,
p die Zahlenfolge der gesuchten Absorptions- und Streukoeffizienten,
p⁰ die Zahlenfolge der „normalen“ Absorptions- und Streukoeffizienten,
F der nichtlineare Operator, der das Vorwärts-Problem löst.

F' ist im diskreten Fall die Jacobi-Matrix, deren Koeffizienten numerisch, z.B. mit der Finiten Differenzen Methode gelöst werden müssen. Das Minimum der Fehlerfunktion kann nun z.B. mit der „Newton-Raphson-Methode“ oder mit einer „Gradienten-Abstiegs-Methode“ bestimmt werden. (1 Punkt)

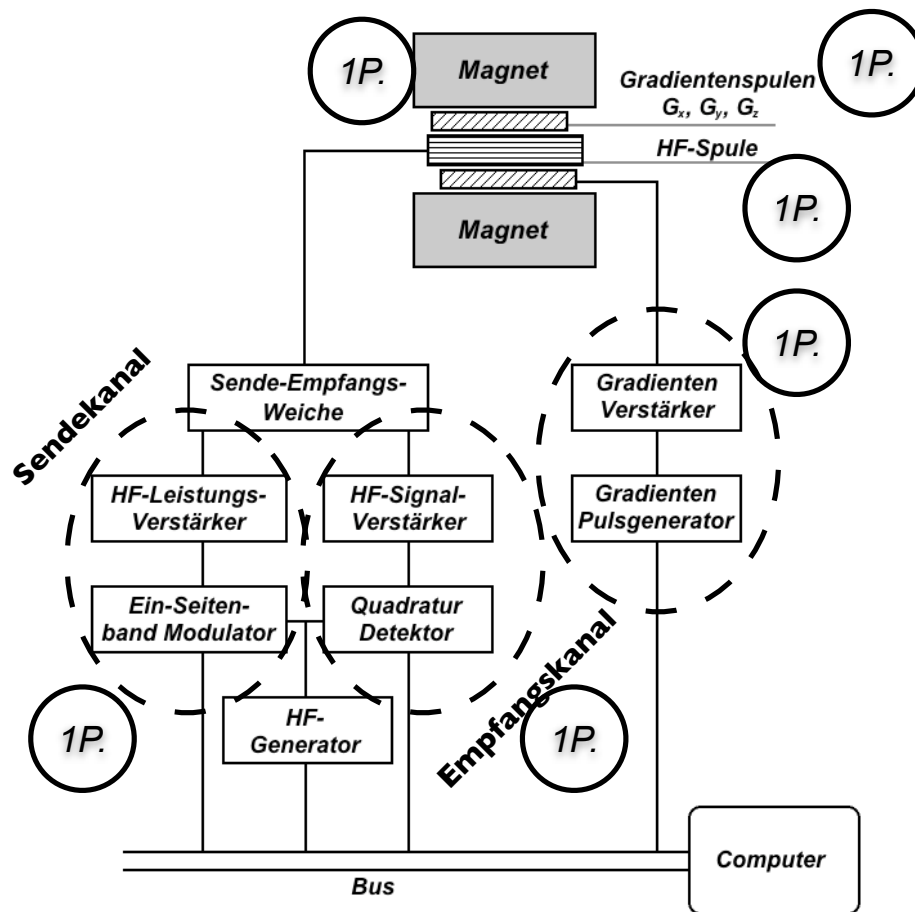
Magnetresonanztomographie

Aufgabe 7: MR-System

- a) Skizzieren Sie ein MR-Tomographie-System („Hardware“) und beschriften Sie die Komponenten. (6 Punkte)
- b) Im Rohr des MR-Systems befinden sich zwei verschiedene Spulensysteme. Wie heißen sie und wozu sind sie da? Skizzieren Sie jeweils einen typischen Aufbau. (4 Punkte)
- c) Warum verwendet man wo immer möglich Oberflächenspulen zur Detektion? (2 Punkte)
- d) Welche Verbesserungen und welche Verschlechterungen bringen höhere Feldstärken des konstanten Magnetfeldes? (3 Punkte)

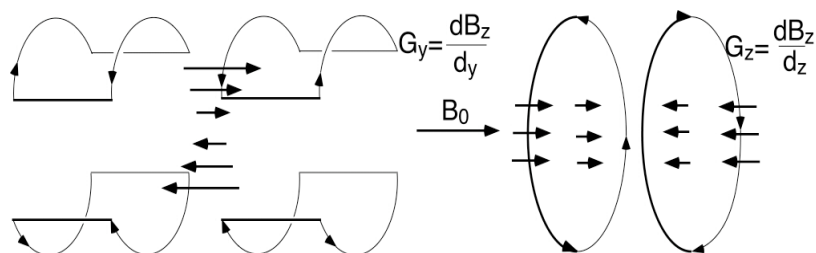
Lösung:

a) MR-Tomographie-System:

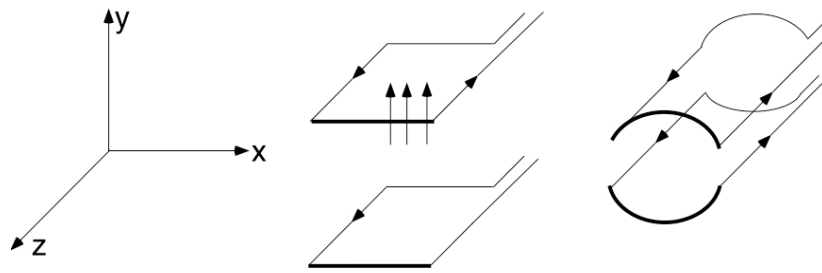


b) Im Magneten befinden sich Gradientenspulen und eine HF-Spule. Die Gradientenspulen erzeugen Magnetfeldgradienten G_x, G_y, G_z (1 Punkt). Die HF-Spule erzeugt ein zum Grundfeld transversales rotierendes Wechselfeld im Bereich der Larmorfrequenz der Kernspins (1 Punkt).

Beispiel Gradientenspule (1 Punkt):



Beispiel: HF-Spule (1 Punkt):



c) Jedes Gewebe-Voxel im Empfangsbereich der Spule trägt zum Rauschen bei (1 Punkt).
Es ist daher vorteilhaft nur Signale von denjenigen Voxeln zu empfangen, die eine wichtige Bildinformation enthalten (1 Punkt).

d) Wirkung höherer Feldstärken:

- + Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses
- - verlängerte Aufnahmezeiten durch verlängerte Längsrelaxationszeiten T_1 .
- - Stärkere Absorption im Körper
- - Stärkere Erwärmung
- - Ungleichförmige Ausleuchtung

Aufgabe 8: Free Induction Decay

Gegeben sei die Pulsfolge:

$$0 < t < t_1: B_T = 10 \mu\text{T}$$

$$t_1 < t < t_2: B_T = 0$$

$$t_2 < t < t_3: B_T = 10 \mu\text{T}$$

a) Wie lange muss B_T jeweils eingeschaltet sein, um einen Flipwinkel von 90° zu erreichen? (2 Punkte)

b) Zeichnen Sie die Pulsfolge in ein Schaubild (1 Punkt).

c) Skizzieren Sie darunter die Längs- und Quermagnetisierung M_T und M_z zum einen für den Fall $t_2 - t_1 \gg T_1$ und zum andern für den Fall $t_2 - t_1 \ll T_1$. (4 Punkte)

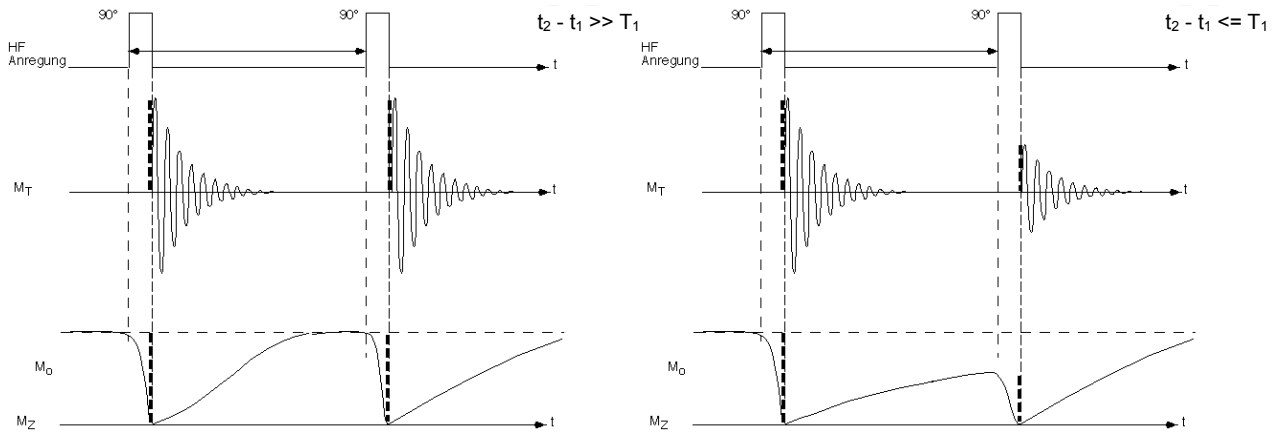
d) Durch welche Formel lassen sich die Einhüllende von M_T und M_z jeweils beschreiben? (2 Punkte)

Lösung:

a) (jeweils 1 Punkt für Formel und richtiges Ergebnis)

$$\alpha = \gamma \cdot B_T \cdot t \rightarrow t = \frac{\alpha}{\gamma \cdot B_T} = \frac{\pi/2}{2\pi \cdot 42.6 \text{ MHz/T} \cdot 10 \mu\text{T}} = 0.59 \text{ ms}$$

b) ,c)



d) Blochgleichung für Längsrelaxation nach 90°-Impuls (1 Punkt):

$$M_z(t) = M_{z0} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right)$$

Blochgleichung für Querrelaxation (1 Punkt):

$$M_T(t) = M_{T0} e^{-\frac{t}{T_2^*}}$$

Aufgabe 9: Größen, die den Kontrast beeinflussen

Bei der MRT lassen sich unterschiedliche Gewebeeigenschaften durch bestimmte Parameter der Pulssequenzen hervorheben. Vervollständigen Sie nachfolgende Tabelle, indem Sie angeben, ob die jeweiligen Zeiten „lang“ oder „kurz“ sein sollen. Geben Sie für T_R und T_E an, mit welcher Relaxationszeit die angegebenen Zeiten verglichen werden

(6 Punkte)

	protonengewichtet		T_1 - gewichtet		T_2 - gewichtet	
T_R	kurz	lang	kurz	lang	kurz	lang
	im Vergleich zu ____		im Vergleich zu ____		im Vergleich zu ____	
T_E	kurz	lang	kurz	lang	kurz	lang
	im Vergleich zu ____		im Vergleich zu ____		im Vergleich zu ____	

Lösung:

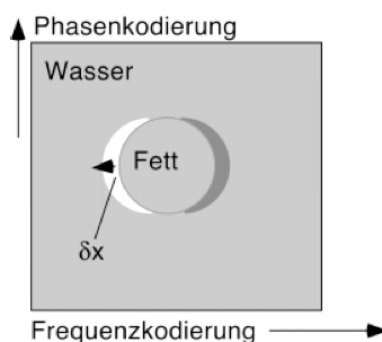
	protonengewichtet		T ₁ - gewichtet		T ₂ - gewichtet	
T _R	kurz	lang	kurz	lang	kurz	lang
	im Vergleich zu T_1		im Vergleich zu T_1		im Vergleich zu T_1	
T _E	kurz	lang	kurz	lang	kurz	lang
	im Vergleich zu T_2		im Vergleich zu T_2		im Vergleich zu T_2	

Aufgabe 10: Artefakte bei der MRT

Warum kann die chemische Verschiebung zu Artefakten führen (kartesische Abtastung)?
Wie sehen diese Artefakte typischerweise aus (Skizze mit Beschriftung)? (4 Punkte)

Lösung:

Die lokale chemische Umgebung um ein Proton herum schirmt das Grundfeld verschieden stark ab. Protonen präzidieren auf unterschiedlichen Frequenzen, je nachdem in welches Molekül sie eingebaut sind. Bei der kartesischen Abtastung steckt die Ortsinformation entlang einer Achse in der Frequenz, mit der die Spins präzidieren. Daher führt die chemische Verschiebung zu Verschiebungen entlang der Achse der Frequenzkodierung. (2 Punkte für Text und Skizze)



Aufg:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
Pkte:	8	6	8	4	5	6	15	9	6	4	71