

Vorlesung: Bildgebende Verfahren in der Medizin II

Leiter: Prof. Dr. rer. nat. Olaf Dössel 2. Prüfer: Dipl.-Ing. Matthias Keller

Klausur

1. Oktober 2013
Beginn: 8:00 Uhr

Familienname:	AUFKLEBER
Vorname:	
Matrikel-Nr.:	

Angaben zur Klausur:

Die Arbeitszeit beträgt 2 Stunden; Hilfsmittel sind nicht erlaubt, außer einem Taschenrechner.

Der Lösungsweg muss vollständig angegeben und nachvollziehbar sein!
Dokumentieren Sie Ihre Überlegungen, geben Sie erläuternde Kommentare!
Verwenden Sie nur dokumentenechtes Schreibzeug!

Die maximal erreichbaren Punkte pro Aufgabe sind der Tabelle zu entnehmen.

Aufgabe:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Gesamt
Punkte:	9	10	15	9	7	5	6	10	12	6	9	98
erreicht:												

Note:_____

1 Ultraschall

Frage 1

(9 Punkte)

Allgemeine Fragen zu Ultraschall und Wellenausbreitung.

- (a) Geben Sie die formale Definition des Reflektionskoeffizienten R und des Transmissionskoeffizienten T an. Wie hängen diese von der Schallimpedanz Z ab? (2 Punkte)
- (b) Ultraschallwellen in einem Medium mit einer Dichte $\rho_{0,1} = 1.02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ und einem Kompressionsmodul von $K_1 = 2.434 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ fallen senkrecht auf eine glatte ebene Grenzschicht zu einem Medium mit einer Dichte von $\rho_{0,2} = 1.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ und einem Kompressionsmodul von $K_2 = 2.203 \times 10^{10} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$. Wieviel Prozent der Schallintensität wird transmittiert. *Hinweis: Schallimpedanz $Z = \sqrt{K \cdot \rho_0}$* (3 Punkte)
- (c) Nun sei der Einfallswinkel $\alpha_1 = 7^\circ$. Unter welchem Winkel propagiert die transmittierte Welle weiter? *Hinweis: Verwenden Sie die Angaben aus Aufgabenteil (b). Schallgeschwindigkeit $c = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}$* (2 Punkte)
- (d) Wie heißt das Prinzip, das es ermöglicht auch die Ausbreitung komplex geformter Wellenfronten anschaulich darzulegen? Erklären Sie es. (2 Punkte)

Lösung:

(a)

$$R = \frac{J_r}{J_0} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

$$T = \frac{J_t}{J_0} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

(b)

$$Z = \sqrt{K \cdot \rho_0}$$

Einheiten von K an ρ anpassen.

$$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = \frac{10\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}^2}$$

Damit können die Schallimpedanzen ermittelt werden:

$$Z_1 \approx 1.576 \times 10^5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \quad \text{und} \quad Z_2 \approx 6.120 \times 10^5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}.$$

Der Transmissionskoeffizient enthält genau die gefragte Information:

$$T \approx 65.138 \%$$

(c) Die Schallgeschwindigkeit erhält man mit:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}.$$

Und für die Brechungswinkel gilt:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}.$$

Die Schallgeschwindigkeiten sind

$$c_1 = 1544.757 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{und} \quad c_2 = 3599.837 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Daraus folgt:

$$\alpha_2 = \arcsin \left(\frac{c_2 \cdot \sin \alpha_1}{c_1} \right) = 16.499^\circ$$

- (d) Huygens-Prinzip: Von jedem Punkt auf einer Wellenfront breitet sich eine kugelförmige Welle aus. Die Superposition dieser Elementarwellenfronten ergibt die eigentliche komplexe Wellenfront.

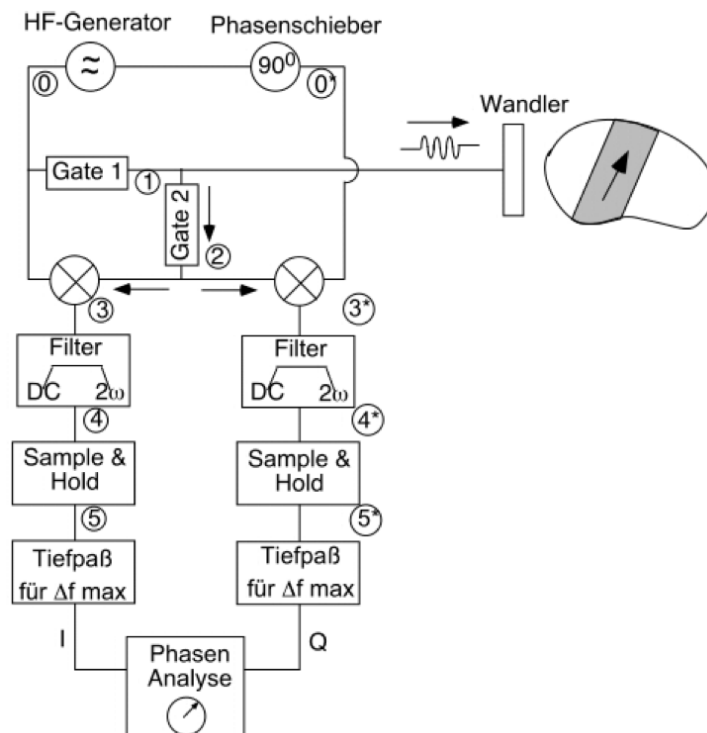
Frage 2

(10 Punkte)

- (a) Skizzieren Sie ein Pulse-Wave-Doppler-Ultraschall-System mit Quadratur Detektor. Beschriften Sie die Komponenten und erläutern Sie die Signalfade und die Signalanalyse. (8 Punkte)
- (b) Welche zusätzliche Information liefert der Quadratur Detektor. Wie wird diese Information ermittelt? (2 Punkte)

Lösung:

- (a) Mithilfe von Gate 1 wird ein kurzer US-Puls in den Körper abgegeben, Gate 2 schneidet das Echo eines Gebiets (z.B. ein Ader) heraus. Beim Mischen entstehen 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-Glied und dem Tiefpass rekonstruiert (Signal I).

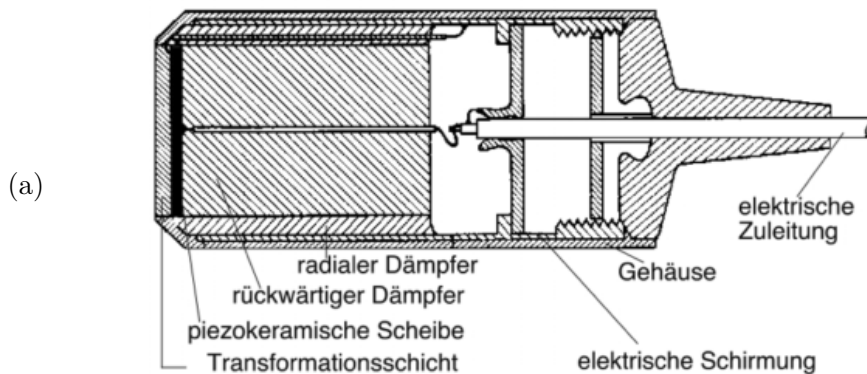


- (b) Die Richtung der Blutflußgeschwindigkeit. Durch die 90° Phasenverschiebung im zweiten Auswertekanal erhält man ein sogenanntes Quadratursignal (Imaginärteil). Läuft dieses dem Inphasensignal (Realteil) voraus, so ist $\Delta\omega$ negativ, sonst positiv.

Frage 3**(15 Punkte)**

Ultraschall-Messköpfe

- (a) Skizzieren und beschriften Sie einen einzelnen typischen elektrischen Ultraschall-Wandler. (3 Punkte)
- (b) Nennen Sie drei unterschiedliche Ultraschall-Messköpfe für 2D-US-Systeme und beschreiben Sie jeweils kurz ihr Funktionsprinzip. (9 Punkte)
- (c) Wovon hängt die maximale Bildwiederholrate bei 1D- und 2D-Ultraschallsystemen ab? (3 Punkte)

Lösung:

- (b)
- Mechanischer Scanner: Mechanisches Schwenken des US-Wandlers.
 - Linear-Arrays und Curved-Arrays: Als lineares Array angeordnete Wandlergruppe. Es sendet jeweils eine Teilgruppe der Wandler. Zum Schwenk wird die sendende Gruppe weitergeschaltet.
 - Phased-Array: Alle Wandler senden gleichzeitig allerdings mit einem individuellen Zeitversatz. Damit lässt sich die Schallkeule durch passende Wahl der Zeitverzögerungen vollständig elektronisch schwenken. Auch eine Fokussierung der Schallkeule ist so möglich.
- (c) Es kann erst wieder ein Ultraschallimpuls gesendet werden, wenn der vorangegangene vollständig abgeklungen ist. Bei 2D-Systemen geht auch die Bildbreite y und der Linienabstand Δy in die Zeit T zwischen zwei Bildern ein.

$$T = \frac{2 \cdot y \cdot x}{c \cdot \Delta y}$$

2 Thermographie**Frage 4****(9 Punkte)**

- (a) Was sind die zentralen Fragestellungen der Thermographie? Wie kann die Thermographie damit zur Diagnose eingesetzt werden? Nennen Sie auch evtl. auftretende Probleme. (5 Punkte)
- (b) Was muss bezüglich der Optik bei der Aufnahme von IR-Bildern beachtet werden. (1 Punkt)
- (c) Wie funktioniert die IR-Detektion mit einem Mikrobolometer? (3 Punkte)

Lösung:

- (a) Die Thermographie soll folgende zwei Fragen beantworten:
- Welche Organe produzieren wieviel Wärme?
 - Tumor sowie Entzündungen produzieren mehr Wärme.
 - Ein Problem dabei: Der Körper versucht, die Temperatur auf 37°C zu regeln, weshalb die resultierenden Temperaturunterschiede sehr klein sind.
 - Ein weiteres Problem: Die Temperaturerhöhung fällt mit dem Abstand vom betroffenen Organ schnell ab, d.h. durch die Messung der Hauttemperatur werden nur oberflächliche Organe erfasst.
 - Wie reagiert der Körper auf lokale Wärmezufuhr bzw. Wärmeabfuhr?
 - Die Dynamik der Temperaturregelung wird durch die Durchblutung beeinflusst. Damit lassen sich also Rückschlüsse auf die Durchblutung der untersuchten Gewebes ziehen.
- (b) Es können keine herkömmlichen Gläser eingesetzt werden. Sie sind für Strahlung der erforderlichen Wellenlänge nicht durchsichtig.
- (c) Mit Methoden der Mikromechanik werden aus Silizium kleine und nur wenige μm dicke frei tragende Flächen hergestellt, die nur an zwei dünnen Stegen aufgehängt sind. Die einfallende IR-Strahlung führt zu einer Erwärmung dieser Fläche, die mit einem dünnen temperaturabhängigen Widerstand detektiert wird.

3 Impedanztomographie

Frage 5**(7 Punkte)**

- (a) Was ist "Dynamic Imaging"? (2 Punkte)
- (b) Wofür wird dieses Verfahren in der medizinischen Diagnose angewendet? (zwei Anwendungen) (2 Punkte)
- (c) Nennen Sie drei Strategien für die Stromeinspeisung und Spannungsmessung aus der Impedanztomographie. (3 Punkte)

Lösung:

- (a) Im Gegensatz zur Ursprungsidee der Impedanztomographie, Bilder der Impedanzverteilung im Körper aufzunehmen, werden beim Dynamic Imaging Bilder der Impedanzänderung aufgenommen. Dadurch werden die Nachteile der gefilterten Rückprojektion umgangen.
- (b)
- Zur Überprüfung der Lungenbelüftung
 - Durch Vergleich von Aufnahmen des Herzens im systolischen sowie im diastolischen Zustand, zur Überprüfung der Herzfunktion.
- (c) 1. Stromeinspeisung über benachbarte Elektroden. Eignet sich besonders gut um die Leitfähigkeit in Bereichen nahe der Oberfläche zu bestimmen.

2. Stromeinspeisung über gegenüberliegende Elektroden. So kann eine gleichmäßigere Empfindlichkeitsverteilung erreicht werden.
3. Einspeisung mit Stromdichte-Muster über alle Elektroden gleichzeitig. So kann eine besonders gleichmäßige Empfindlichkeitsverteilung erreicht werden.

4 Abbildung bioelektrischer Ströme

Frage 6

(5 Punkte)

- (a) Wie ist ein Stromdipol definiert (Erklärung) und in welcher Einheit wird er gemessen? (3 Punkte)
- (b) Mit welchen Gleichungen wird das inverse Problem beschrieben und was ist die größte Schwierigkeit bei der Lösung des inversen Problems? (2 Punkte)

Lösung:

- (a) Definition des Stromdipols:

$$\mathbf{J}_i dv = I \cdot \mathbf{d} \quad (1)$$

mit

$\mathbf{J}_i$: eingeprägte Stromdichte

dv : Volumenelement

I : Stromstärke in einem Volumenelement

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

Einheit des Stromdipols: $A \cdot m$

- (b) Vorwärtsproblem:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (2)$$

mit

$\mathbf{A}$: Lead Field Matrix

$\mathbf{x}$: Vektor der Quellen

$\mathbf{b}$: Vektor der gemessenen Potentiale

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{b} \quad (3)$$

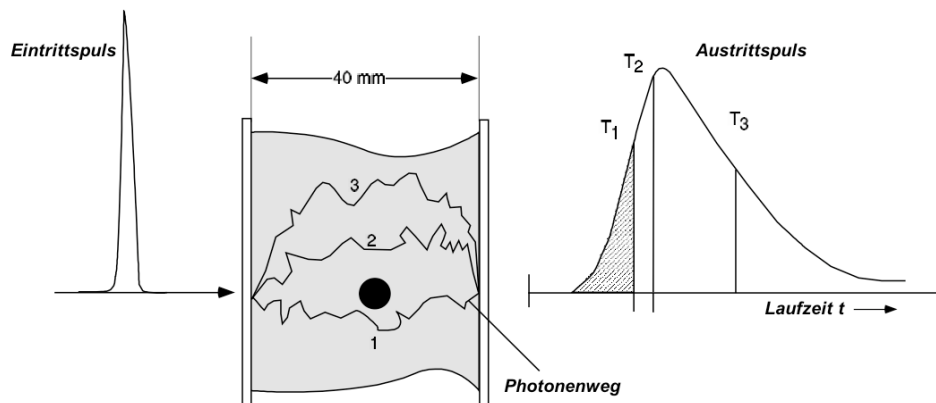
Kleinste Ungenauigkeiten im Messsignal (z.B. Rauschen) führen zu sehr großen Fehlern bei den rekonstruierten Quellen. Es gibt „stille Quellen“, die kein Messsignal erzeugen.

5 Optische Tomographie

Frage 7

(6 Punkte)

Ein „Lichtblitz“ (δ -Puls) wird auf eine Scheibe aus Körpergewebe gegeben. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Lichtintensität des transmittierten Lichtes. Wie hängt der Verlauf vom Streu- bzw. Absorptionskoeffizienten ab (Begründung)? Wie kann man das Bild „schärfer“ machen? In welcher Größenordnung liegen die Zeitfenster?

Lösung:

- Weniger Streuung: Die Kurve wird schmaler. Begründung: Das Licht legt eine kürzere Strecke zurück?
- Weniger Absorption: Die Kurve wird breiter. Es kommt über die Zeit mehr Licht im Detektor an.
- Die Abbildung kann schärfer gemacht werden, wenn nur die ersten ankommenden Photonen zur Auswertung benutzt werden („Zeitfenster“ Größenordnung 100 ps).

6 Endoskopie

Frage 8

(10 Punkte)

- Nennen Sie drei Typen von Endoskopen und erklären Sie jeweils, wie das optische Bild vom Inneren des Körpers dem Arzt sichtbar gemacht wird. (6 Punkte)
- Nennen Sie 4 weitere Komponenten eines Endoskops (2 Punkte)
- Nennen Sie 4 Anwendungsfelder der Endoskopie und das zugehörige behandelte Organ. (2 Punkte)

Lösung:

- Faserendoskop:
Lichtleitfasern führen das eingekoppelte Licht fast verlustlos von einem Ende zum anderen Ende. Der Grund ist, dass es aufgrund einer genau eingestellten radialen Funktion des Brechungsindex zu einer Totalreflexion an der Innenseite des Fasermantels kommt. Wichtig ist, dass das Bild über ein geordnetes Faserbündel übertragen wird.
 - Linsenendoskop:
Linsenendoskope bestehen aus einer Kette von Linsen, mit denen das Objekt jeweils 1:1 abgebildet wird.
 - Videoendoskop:
Das Bild wird an der Spitze des Endoskops durch eine CCD-Kamera aufgenommen und digital weitergegeben.

- (b)
- Spülkanal
 - Luftkanal
 - Faserbündel für Beleuchtung
 - Arbeitskanal
 - Biopsiekanal
 - Bowdenzug
- (c)
- Bronchoskopie: Luftröhre und Bronchien
 - Oesophagoskopie: Speiseröhre
 - Gastroskopie: Magen
 - Cholangioskopie: Gallenwege
 - Arthroskopie: Gelenkhöhlen
 - ...

7 MR Tomographie

Frage 9

(12 Punkte)

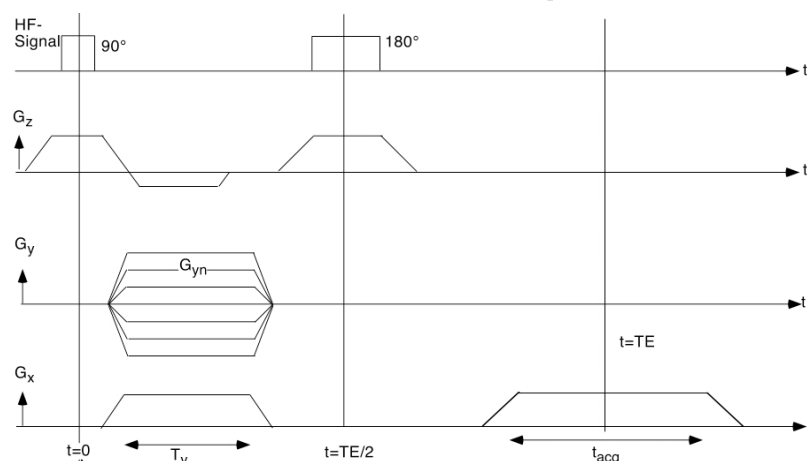
- (a) Wie werden die Gradientenspulen bei einer kartesischen und bei einer radialen Abtastung des k-Raums geschaltet (Skizzieren sie jeweils eine Impulsfolge und geben Sie eine kurze Erklärung)? (4 Punkte)
- (b) Wie kommt man von den Messdaten zum Bild (kartesisch und radial)? (4 Punkte)
- (c) Welche Größen bestimmen die Auflösung in x, y, und z-Richtung? (4 Punkte)

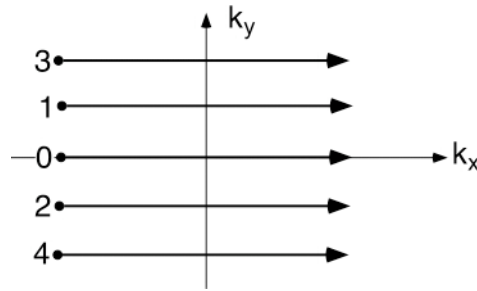
Lösung:

- (a) Die Gradientenspulen werden wie folgt eingeschaltet:

- Kartesische Abtastung:

Bei der kartesischen Abtastung wird ein Gradient für die Phasenkodierung und einer für die Frequenzkodierung eingeschaltet. Mit Hilfe des Phasenkodiergradienten stellt man ein Muster von Phasen für die Quermagnetisierung ein, d.h. man wandert im k-Raum auf einen „Startwert“. Mit der Frequenzkodierung wird eine Zeile des k-Raums abgetastet (Spin-Echo).

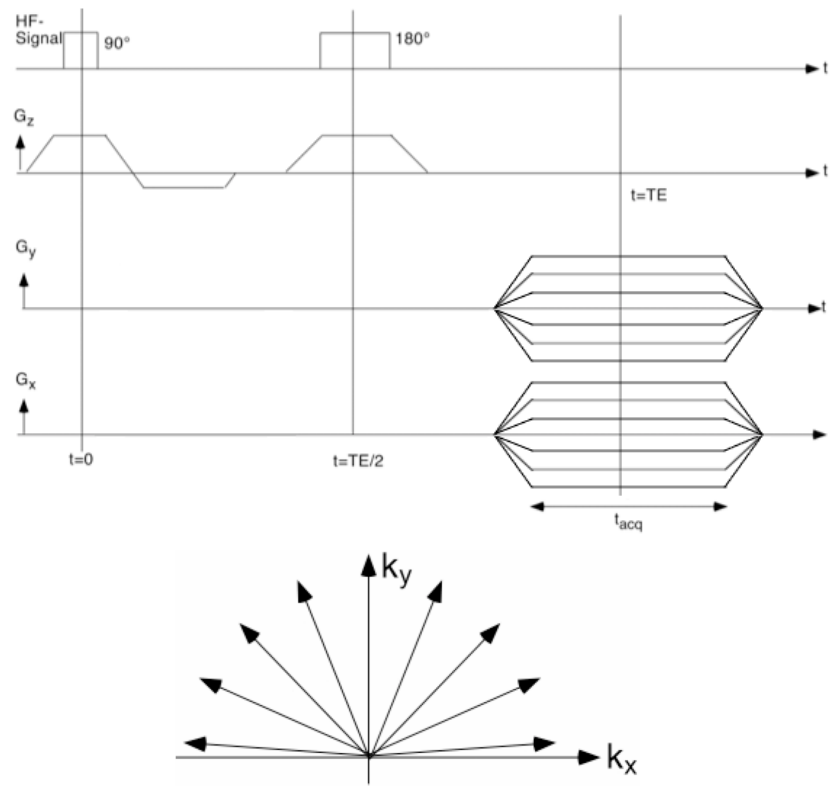




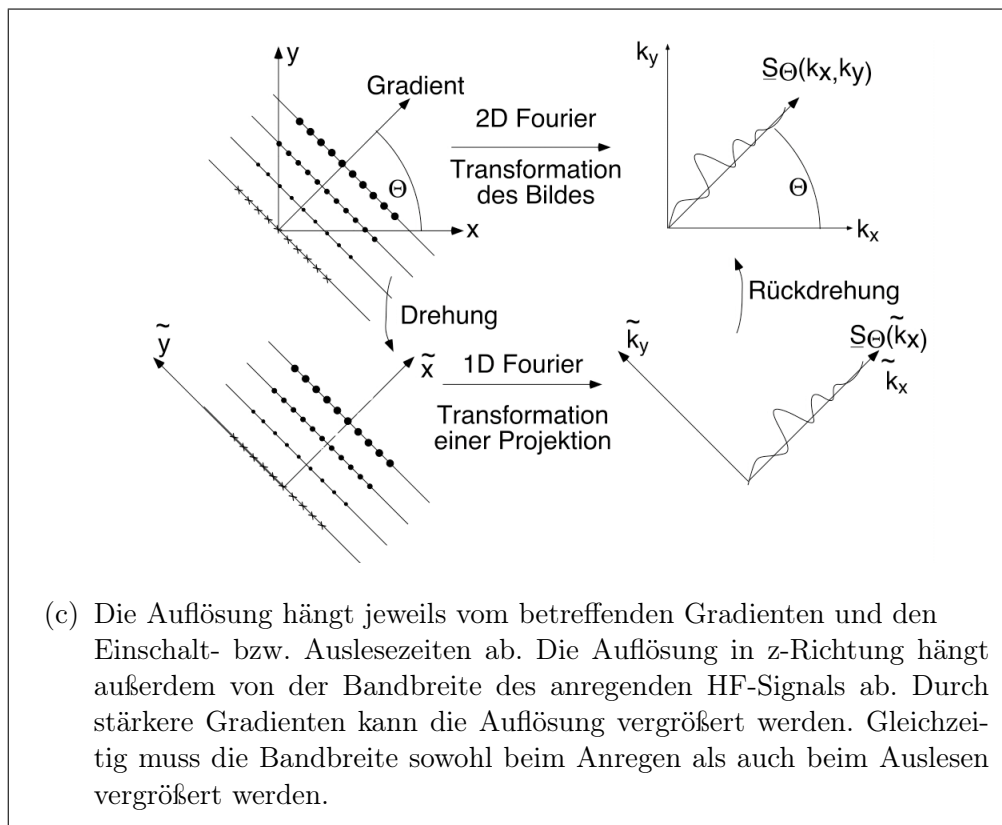
- Radiale Abtastung:

Bei radialer Abtastung wird kein Phasenkodiergradient verwendet. Stattdessen werden in einem Zeitfenster um $t = TE$ herum beide Gradientenspulen gleichzeitig eingeschaltet. Die Werte der Gradienten G_x und G_y werden dabei so gewählt, dass gilt:

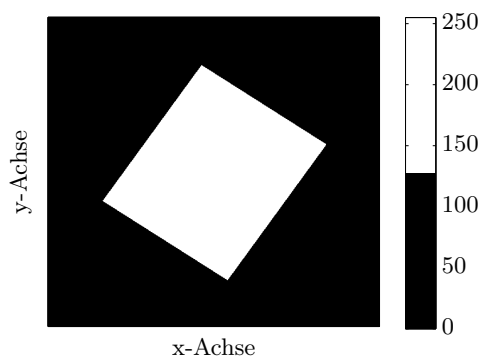
$$\alpha = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (4)$$



- (b) Man beginnt mit der Messung von UR und UI mit den beiden Kanälen des Quadraturdetektors. Die gemessenen Signale $UR(t)$ und $UI(t)$ sind die Werte in einer Zeile der komplexen Fourier-Transformierten des Bildes. Bei kartesischer Abtastung werden mit vielen verschiedenen Phasenkodierungen nacheinander alle Zeilen des k -Raums gemessen und in eine Matrix eingetragen. Bei radialer Abtastung werden die Messdaten auf Radialstrahlen in die Matrix der Fourier-Transformierten des Bildes eingetragen. Hierbei muss geschickt interpoliert werden („gridding“) Mit einer inversen 2D-Fouriertransformation der Messmatrix erhält man das Bild.

**Frage 10****(6 Punkte)**

- (a) Wie lautet der mathematische Zusammenhang zwischen dem Messsignal $S(k_x, k_y)$ im k-Raum und der Quermagnetisierung $M'_{T_0}(x, y)$? Benennen Sie den Zusammenhang und geben Sie die entsprechende Formel an. (2 Punkte)
- (b) In der folgenden Abbildung ist die Quermagnetisierung $M'_{T_0}(x, y)$ eines Objekts dargestellt. Die Hauptachse des Rechtecks ist gegenüber der x-Achse um 57° verkippt. Markieren Sie diejenigen Bereiche im k-Raum, in denen bei der Aufnahme dieses Objekts durch ein MRT-System hohe Signalintensität zu erwarten ist. (Kennzeichnen Sie die k_x - und die k_y -Achse! Ein Maßstab an den Achsen ist nicht gefordert.) (2 Punkte)



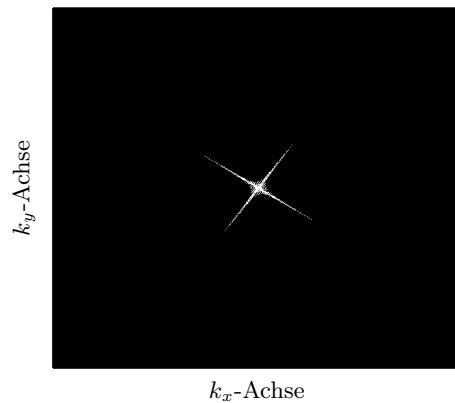
- (c) Geben Sie den Amplitudenverlauf des Messsignales $|S(k_x, k_y)|$ (Betrag) entlang der 1. Hauptachse des Objektes im k-Raum im Eindimensionalen an, indem Sie die Amplitude über dem Weg auftragen. (2 Punkte)

Lösung:

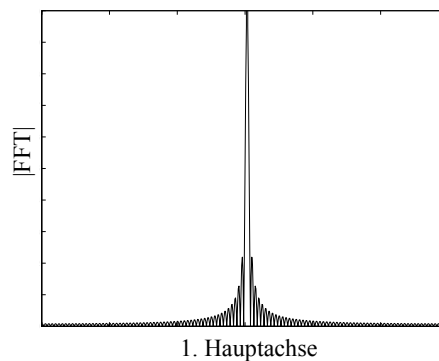
- (a) Das Messsignal im k-Raum ist die zweidimensionale Fouriertransformierte der Quermagnetisierung.

$$S(k_x, k_y) = \int \int M'_{T_0}(x, y) \cdot \exp(-jk_x x - jk_y y) dx dy \quad (5)$$

- (b) Die 2D-Fouriertransformation des dargestellten Objekts ist im Folgenden dargestellt. (Als Lösung ist die Darstellung der beiden Hauptachsen ausreichend).



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



Frage 11

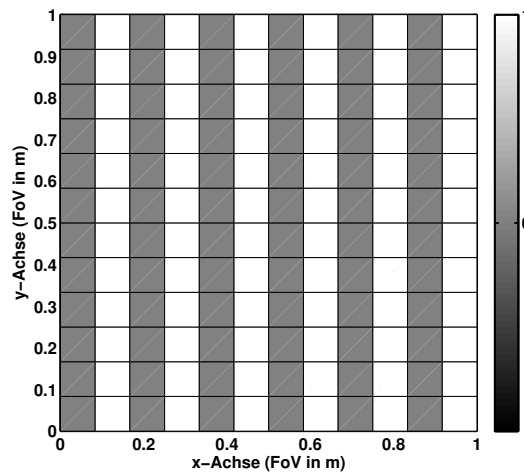
(9 Punkte)

Phasenkodierung bei der MRT

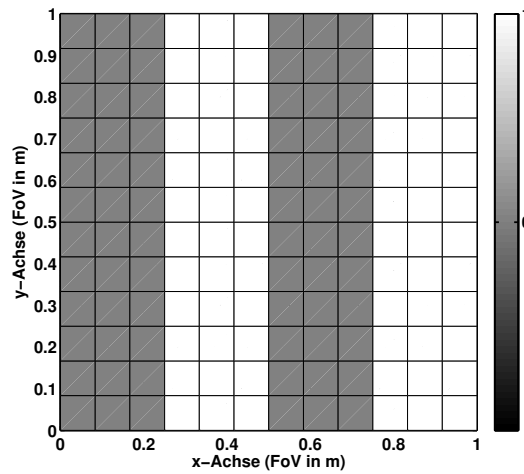
- (a) Im Folgenden sind drei Magnetisierungsmuster (x-y-Scheibe des Field of View (FoV)) dargestellt, wobei weiß für hohe Intensität steht und grau für niedrige. Zur Ortskodierung in x-Richtung wird eine Phasenkodierung verwendet. (Achtung: Phasenkodierung in x-Richtung!) Zeichnen Sie in das Raster auf dem Beiblatt für jede Magnetisierung eine Orientierung der Spins ein, die für diese Magnetisierung zu einem hohen Signal führen. (Der Feldverlauf des angelegten Gradienten kann als ideal angenommen werden. Für die Lösung ist es ausreichend die Spins für eine Zeile anzugeben.) Geben Sie jeweils eine kurze Erläuterung ihrer Skizze.

(6 Punkte)

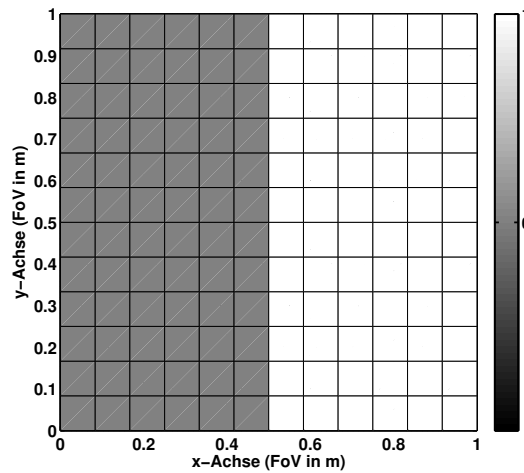
Magnetisierung 1



Magnetisierung 2

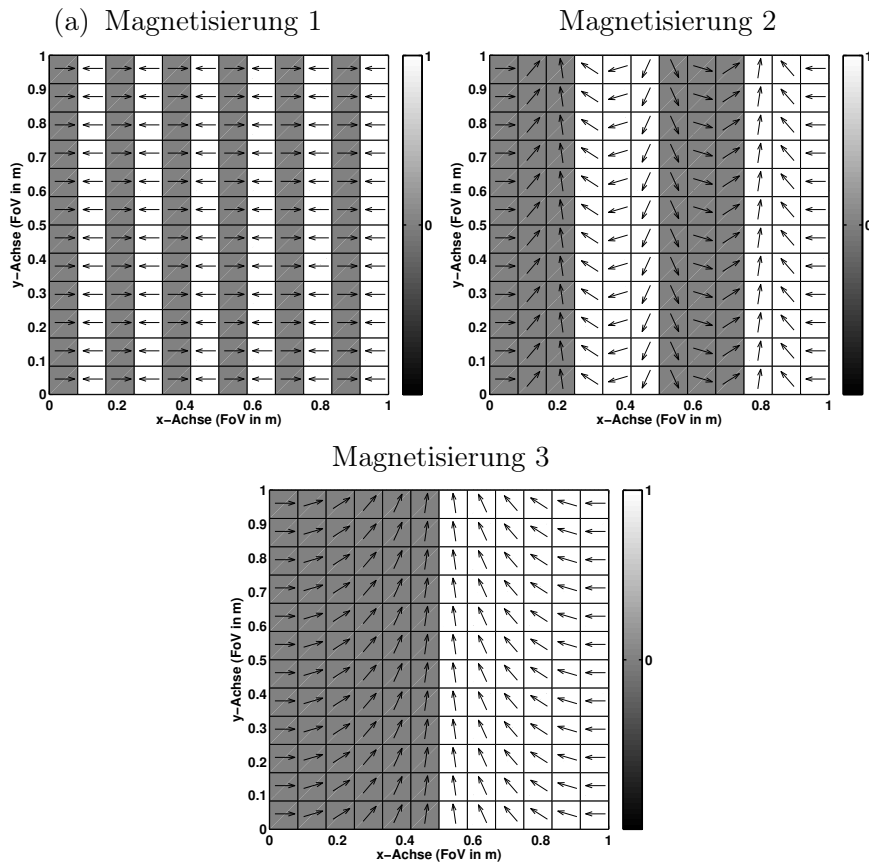


Magnetisierung 3



- (b) Geben sie die Formel an, welche den Zusammenhang des angelegten Kodiergradienten mit der Raumfrequenz k_x angibt. Wie lange müssen die Phasenkodiergradienten aus Aufgabenteil a) eingeschaltet werden, um die gewünschte Magnetisierung zu erhalten. Geben sie eine Relation zwischen den Zeiten $T_{x,1}$, $T_{x,2}$ und $T_{x,3}$ an (die Stärke der Gradienten ist dabei gleich).
- (c) Unter der Annahme, dass Magnetisierung 1 die feinste Detailstufe des Bildes darstellt. Welche maximale räumliche Auflösung ist dann nötig? Berechnen Sie die Zeit $T_{x,1}$ für einen Gradienten von 10 mT/m , um die entsprechende Auflösung zu erzielen.

(3 Punkte)

Lösung:

(b) Die Formel lautet:

$$k_x = \gamma \cdot G_x \cdot T_x \quad (6)$$

Es muss gelten: $T_{x,1} > T_{x,2} > T_{x,3}$

(c) Es gilt:

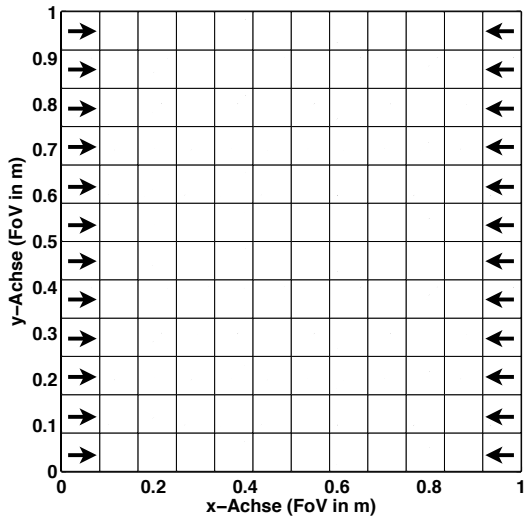
$$T_x = \frac{1}{2 \cdot \gamma^* \cdot G_x \cdot \Delta x} \quad (7)$$

Die benötigte räumliche Auflösung beträgt $\frac{1}{12} m$. Mit $G_x = 10 mT/m$ und $\gamma^* = 42,6 MHz/T$ folgt:

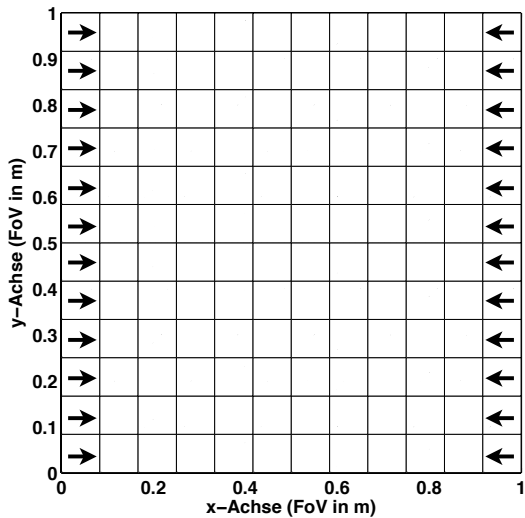
$$T_{x,1} = \frac{1}{2 \cdot 42,6 MHz/T \cdot 10 mT/m \cdot \frac{1}{12} m} = 1,4 \cdot 10^{-5} s \quad (8)$$

Beiblatt

Magnetisierung 1



Magnetisierung 2



Magnetisierung 3

