

Bildgebende Verfahren in der Medizin II

18.09.2006

Ultraschall

1. Die Ausbreitung der US-Wellen im Körper wird durch Reflexion und Brechung beeinflusst.

a) Wie werden die entsprechenden Koeffizienten und Winkeln berechnet? (4 Punkte)

b) Welcher Materialparameter hat hierbei die größte Bedeutung? (1 Punkt)

c) An welchen zwei Grenzflächen im Körper wird fast die gesamte Ultraschallleistung reflektiert? (2 Punkte)

a) Für den Reflexionskoeffizienten R gilt bei senkrechtem Einfall:

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

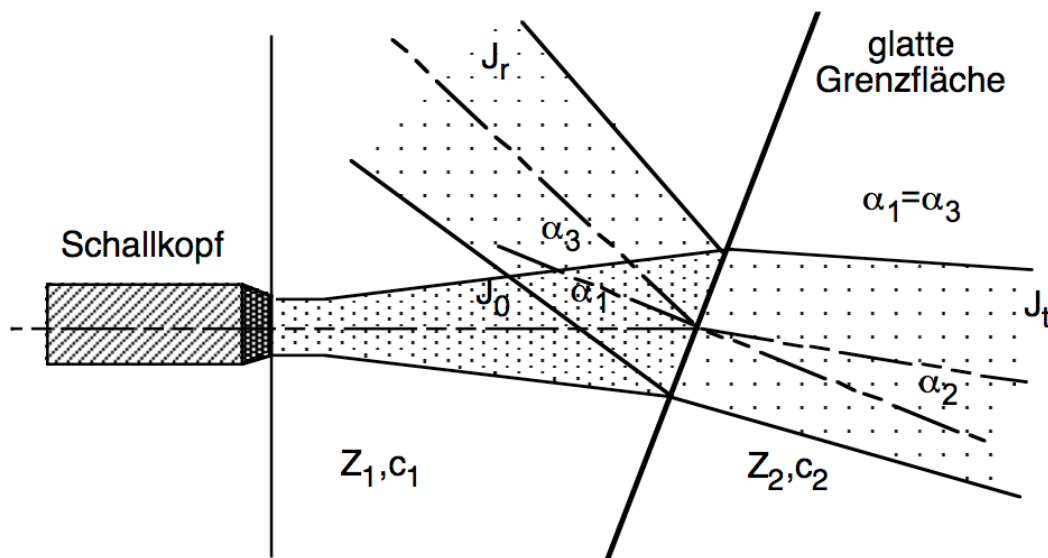
Für den Transmissionskoeffizienten T gilt bei senkrechtem Einfall:

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

Für die Brechungswinkel gilt

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

mit: Z = Schallimpedanz, c = Schallgeschwindigkeit.



b) Die größte Bedeutung hat hierbei die Schallimpedanz Z.

c) Auf den Grenzflächen zwischen Luft und Haut bzw. zwischen Knochen und anderem Gewebe.

2. Ein Plättchen aus piezoelektrischem Material wird zur Erzeugung der US-Wellen benutzt. Wie berechnet man die optimale Dicke dieses Plättchens? (2 Punkte)

Die Dicke des piezoelektrischen Plättchens wird so gewählt, dass eine stehende Welle der gewünschten Ultraschallfrequenz gerade hinpasst.

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)

US-Wellen können den Körper auf zwei Arten schädigen:

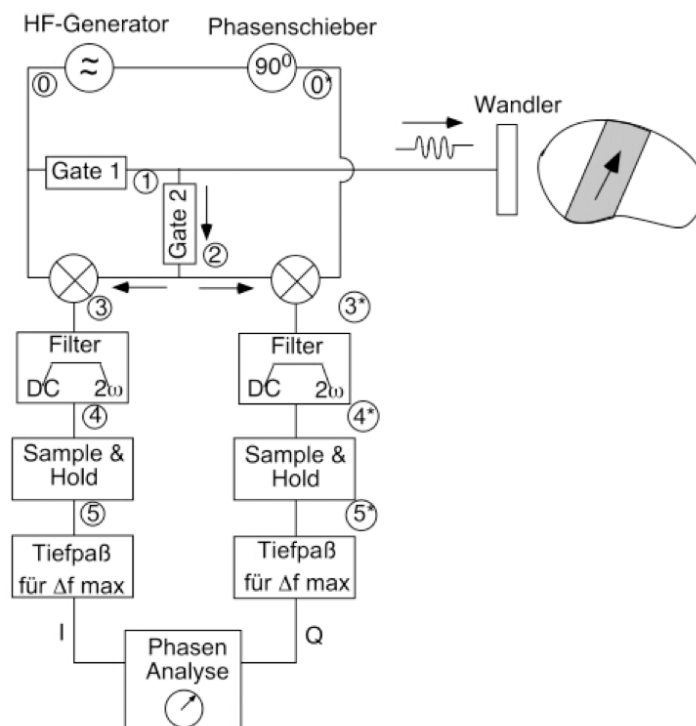
- durch Wärmeentwicklung
- durch Kavitation.

Wärme entsteht lokal proportional zur absorbierten Schallintensität, wird aber durch Blutströmung und Wärmeleitung abgeführt. 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.

4. a) Skizzieren Sie ein „Pulsed-Wave“-Doppler-Ultraschall-System mit Quadratur-Detektor. Beschriften Sie dessen Komponenten und erläutern Sie die Signalanalyse. (6 Punkte)

b) Warum werden zwei Auswerte-Kanäle benötigt? (2 Punkte)

a) „Pulsed Wave“ US-Messsystem mit Quadratur-Detektor:



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.

Impedanz-Tomographie

5. Bei der Impedanz-Tomographie wird die Bildrekonstruktion mit der gefilterten Rückprojektion verwendet.

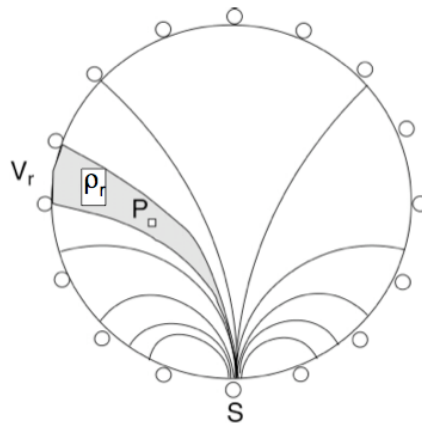
a) Beschreiben Sie das Verfahren. (6 Punkte)

b) Welche Vor- und Nachteile hat diese Methode? (4 Punkte)

a) Die relative Abweichung der gemessenen Spannungen V_m von den Spannungen eines homogenen leitfähigen Zylinders V_H beträgt:

$$V_r = \frac{V_m - V_H}{V_H} = \frac{\rho_m - \rho_H}{\rho_H} = \rho_r$$

mit ρ_r = relative Widerstandsänderung zwischen den Äquipotentiallinien durch die entsprechenden zwei Messelektroden.



Ursprünglich wird der Grauwert in allen Pixeln auf 0 gesetzt. In das grau schraffierte Feld werden die relativen Änderungen ρ_r eingetragen. Das endgültige Bild entsteht durch Aufaddieren der Einträge aus allen Projektionen.

Gefilterte Rückprojektion bedeutet, dass das Bild nachträglich mit einem "Hochpass-Filter" "schärfer" gemacht wird.

b) Vor- und Nachteile der Methode:

+ Schnell

+ Liefert akzeptable Ergebnisse für verschiedene klinische Fragestellungen (universell einsetzbar)

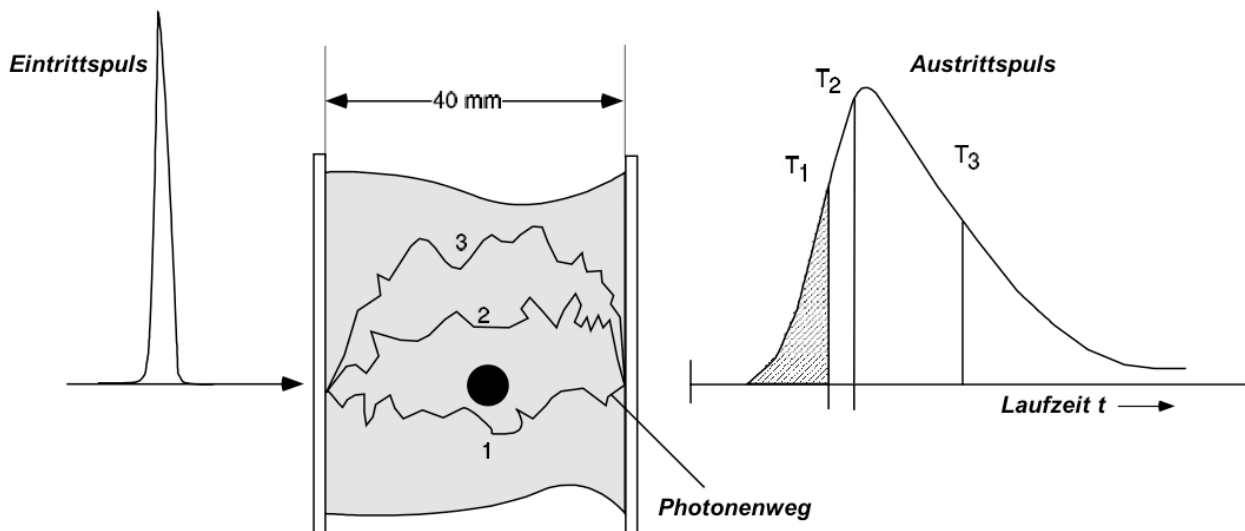
– Die Randkurve ist in Wirklichkeit nie kreisförmig

– Die Leitfähigkeit in z-Richtung ist nie konstant

– Der Algorithmus an sich ist nicht konsistent, da nach dem Eintrag der ersten Projektion die Widerstandsverteilung nicht mehr homogen und die Formel zum Eintragen der zweiten Projektion nicht mehr richtig ist.

Optische Tomographie

6. Sie geben einen "Lichtblitz" (δ -Puls) auf eine Scheibe aus Körpergewebe. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Lichtintensität des transmittierenden Lichtes. Wie hängt der Verlauf vom Streu- bzw. Absorptionskoeffizienten ab (Begründung)? Wie kann man das Bild "schärfer" machen? (5 Punkte)



Mehr Streuung: die Kurve wird breiter.

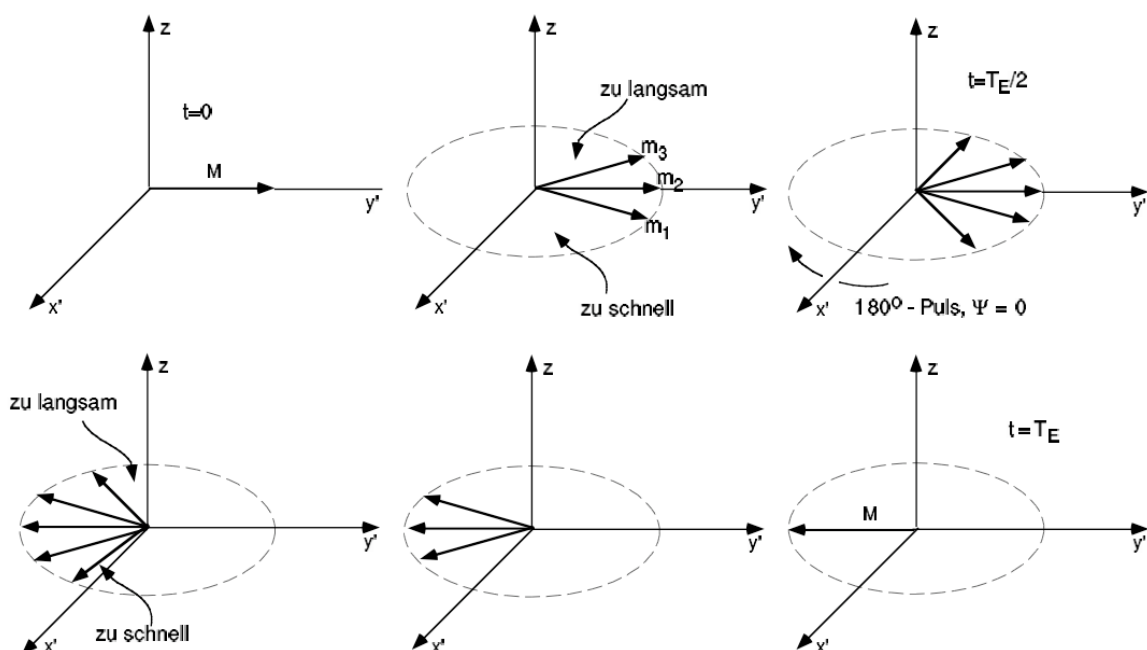
Mehr Absorption: die Kurve wird schmäler.

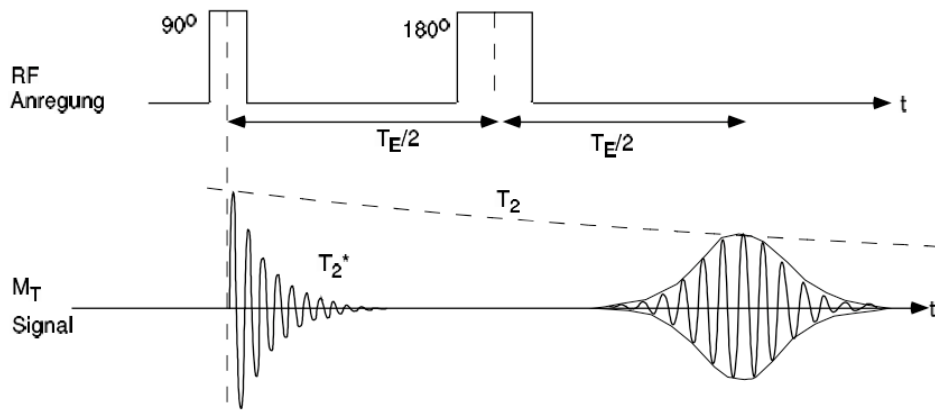
Die Abbildung kann schärfer gemacht werden, wenn nur die ersten ankommenden Photonen zur Auswertung benutzt werden ("Zeitfenster").

MR-Tomographie

7. Warum kommt es nach einer 90° - und einer 180° -Anregung zu einem Spin-Echo? Skizzieren Sie die Folge von Antennensignalen. Geben Sie die vielen magnetischen Dipolmomente in einem Voxel im rotierenden Koordinatensystem an. (6 Punkte)

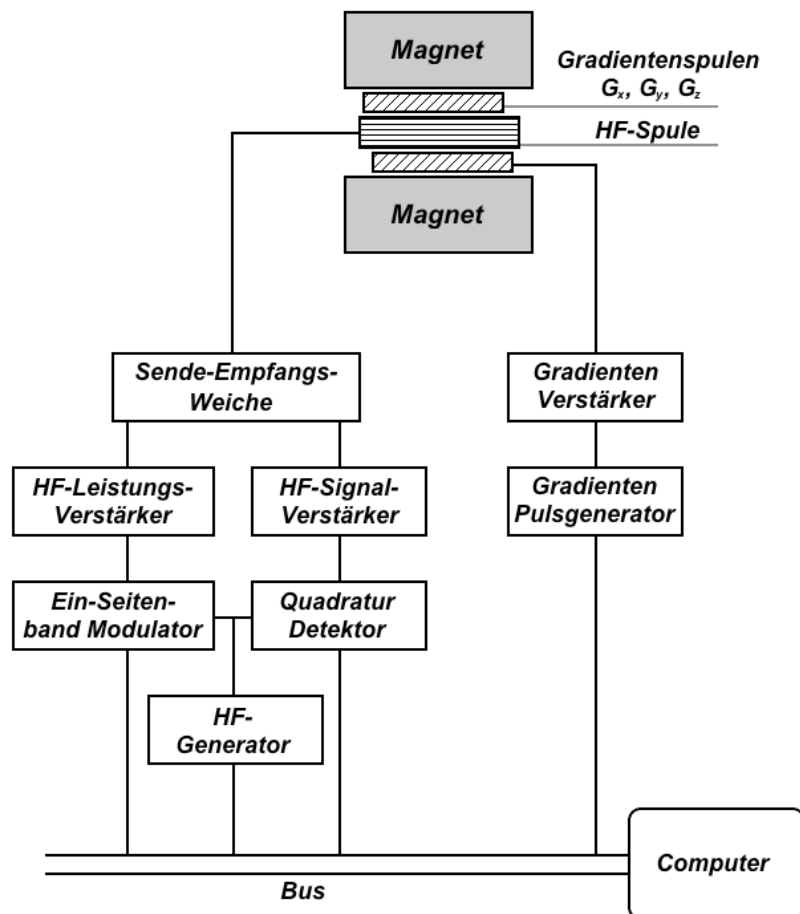
Die vielen Spin-Ensembles in einem Voxel laufen zunächst aus der Phase. Mit einem 180° Puls werden sie um die x' -Achse gedreht. Zu langsam präzidierende Spins laufen weiterhin zu langsam und zu schnelle weiterhin zu schnell. So kommt es nach T_E zu einer Rephasierung und damit zu einem Spin-Echo.





8. a) Skizzieren Sie ein MR-Tomographie-System ("Hardware") und beschriften Sie die Komponenten. (6 Punkte)

b) Warum gibt es einen Trend zu immer größeren Feldstärken? Was wird besser, was wird schlechter? (4 Punkte)



b) Die Vergrößerung der Feldstärke bedeutet:

+ Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses;

– Stärkere Absorption im Körper

– Stärkere Erwärmung

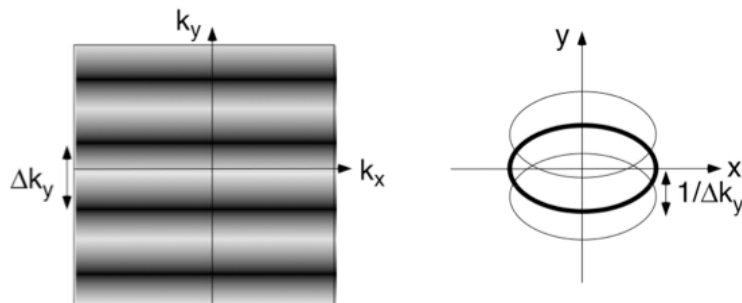
– Ungleichförmige Ausleuchtung

9. a) Zählen Sie 3 Ursachen für Abbildungsfehler bei der MR-Tomographie auf und beschreiben Sie ihre Auswirkungen auf das Bild (ausgenommen der Abbildungsfehler aus 9 b). (6 Punkte)

b) Zu welchen Artefakten führt eine Unterabtastung im K-Raum (Verletzung des Abtasttheorems)? (2 Punkte)

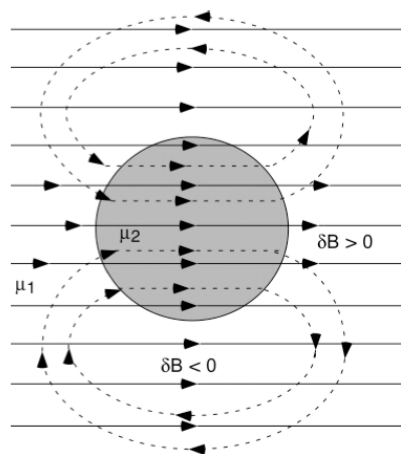
a) Die Ursachen für Abbildungsfehler:

• **Bewegung und Fluss:** Durch die Bewegungen des Herzens/Darms/Kopfes sowie durch rhythmische Atembewegung entstehen inkonsistente Datensätze mit einer Intensitätsmodulation im k-Raum. Diese Modulation führt zur Entstehung der “Geister-Bilder”.

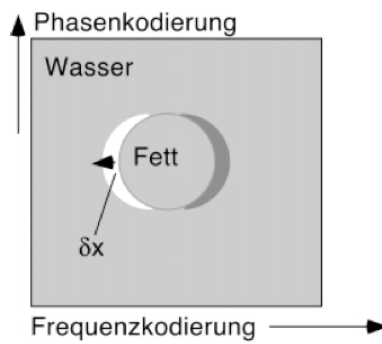


• **Suszeptibilitäts-Artefakte:** Jeder Sprung in der Suszeptibilität der untersuchten Materialien führt bei der Frequenzkodierung dazu, dass die Strukturen an der Grenzfläche um einige Voxel verschoben werden. Metallische Teile im abgebildeten Volumen können die Strukturen so weit verschieben, dass sie nicht mehr innerhalb der nachgewiesenen Bandbreite liegen und so ganz aus dem Bild verschwinden (“dropout”).

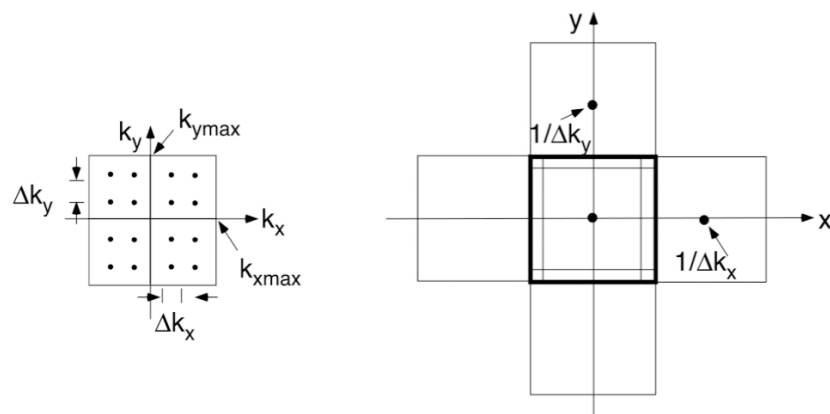
Da das Grundfeld in der Nähe von Suszeptibilitäts-Sprüngen auch sehr inhomogen wird, kommt es zu einer starken Verkürzung von T_2^* . Pulssequenzen mit Gradienten-Echos führen so zu Bildern mit starkem Intensitätsverlust an solchen Grenzflächen.



• **Chemische Verschiebung:** Bei der MR-Bildgebung führt die chemische Verschiebung zu Verschiebungen in Richtung der Achse der Frequenzkodierung. Die Verschiebung steigt mit der Grundfeldstärke und sinkt mit der Gradientenstärke.



b) Wird das Abtastintervall Δk zu gross ausgewählt, dann werden die Teile, die über das Mass $B_x = 1 / \Delta k_x$ hinausragen, dem Bild gespiegelt überlagert ("wraparound").



Zusatzbemerkung:

Werden k_{xmax} und k_{ymax} zu klein gewählt, so wird die räumliche Auflösung des Bildes schlecht. Das entspricht einer Faltung mit einer $\sin x/x$ -Funktion. So entstehen "Echos" an scharfen Kanten im Bild.