

Bildgebende Verfahren in der Medizin II

Antworten

1. Die Ausbreitung von akustischen Wellen wird durch eine Wellengleichung beschrieben.
 - a) Wie lautet die Wellengleichung? (2 Punkte)
 - b) Welche Lösungen sind für diese Gleichung bekannt? Welche Wellentypen werden durch diese Lösungen beschrieben? (3 Punkte)
 - c) Ein typisches US-Bild ist in Abb. 1 gezeigt. Welche Wellentypen werden bei der Bildgebung benutzt? (2 Punkte)

Antworten:

- a) Die Wellengleichung lautet:

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

wobei $p(x, y, z, t)$ der Druck ist, ρ_0 bezeichnet die Dichte des Mediums in

Ruhe und K das Kompressionsmodul: $\partial p = -K \cdot \frac{\partial V}{V}$.

- b) Folgende Lösungen sind für die Wellengleichung bekannt:
Triviale Lösungen: $p = 0$, $p = \text{const.}$

Ebene Wellen: $p = p_0 + p_+ \exp(j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}))$

Kugelwellen: $p = p_0 + p_r \cdot \frac{\exp\left(j(\omega t - k \cdot |\vec{r} - \vec{r}'|)\right)}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$.

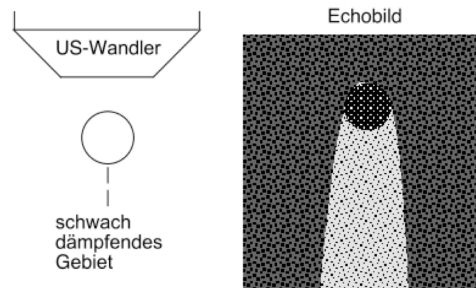
- c) Wenn man das Schallfeld eines US-Wandlers berechnet, geht man davon aus, dass jeder Punkt der US-Wandler-Oberfläche eine Kugelwelle aussendet (Huygensches Prinzip).

2. Welche Artefakte sind für die US-Bildgebung bekannt? (Mindestens 4 Typen, jeweils Skizze und kurze Beschreibung.) (8 Punkte)

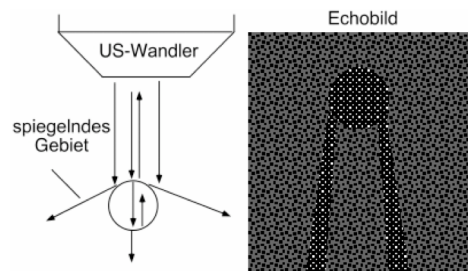
Antwort:

Folgende Artefakte sind für die US-Bildgebung typisch:

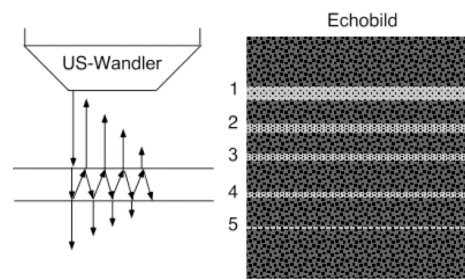
- 1) Hinter schwach dämpfenden Gebieten kommt es zu einer scheinbaren Signalerhöhung durch die Time-Gain Compensation.



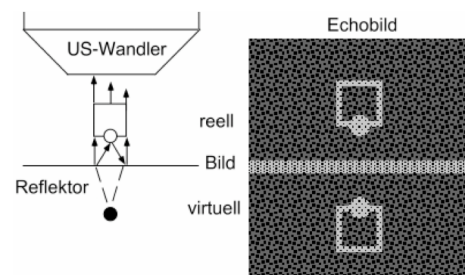
- 2) Hinter schrägen Kanten, die relativ stark spiegeln, kommt es zu Abschattungen.



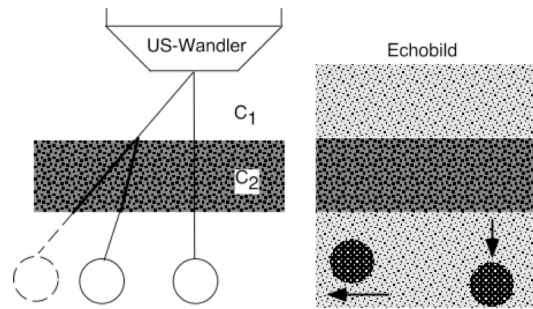
- 3) Bei zwei stark reflektierenden, ungefähr parallelen Grenzflächen kann es zu Mehrfachreflexionen kommen.



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



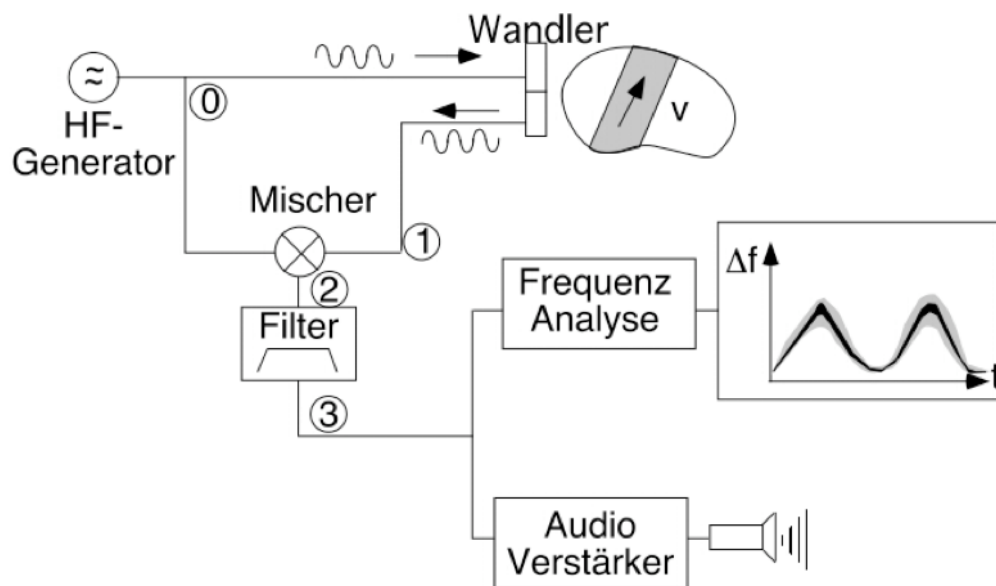
- 5) Objekte hinter Gebieten mit abweichender Schallgeschwindigkeit erscheinen verschoben.



3. Bei der Doppler-US-Diagnostik werden zwei Typen von US-Messsystemen benutzt.
- Skizzieren Sie die beiden Doppler-US-Systeme. Bezeichnen Sie die Bauteile und beschreiben Sie ihre Funktionsweise. (10 Punkte)
 - Welche Vor- und Nachteile hat jedes System? (3 Punkte)

Antworten:

- a) Continuous Wave US-Messsystem:



Sender und Empfänger arbeiten kontinuierlich. Um die Differenzfrequenz zu ermitteln, wird die zurückkommende Welle mit dem HF-Signal des Senders multipliziert:

$$J_1 = J_{11} \cdot \sin(\omega t) + J_{12} \cdot \sin((\omega + \Delta\omega)t),$$

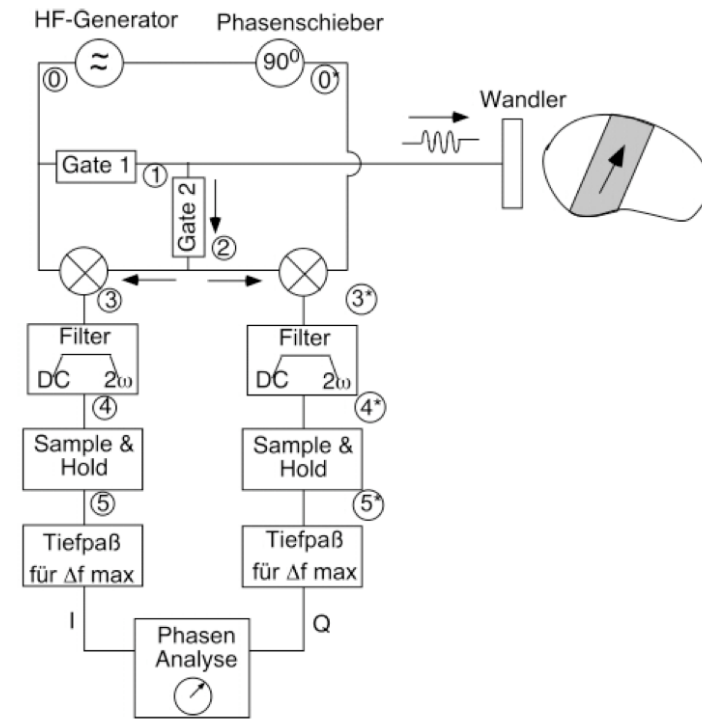
$$J_2 = J_1 \cdot \sin(\omega t) = \dots = J_{11} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \cos(2\omega t)\right) + J_{12} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\cos(\Delta\omega t) - \cos(2\omega t + \Delta\omega t)\right].$$

Wird der DC-Anteil und der Anteil bei $2\omega t$ herausgefiltert erhält man ein Signal

$$J_3 = J_{12} \cdot \frac{1}{2} \cdot \cos(\Delta\omega t).$$

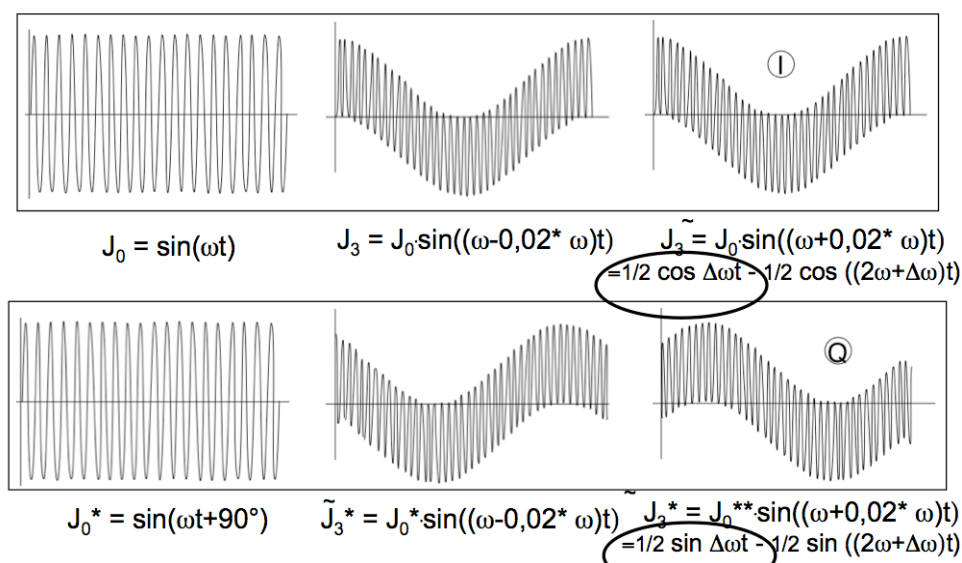
Dieses Signal oszilliert mit der Frequenz der Doppler-Verschiebung.

Pulsed Wave US-Messsystem mit Quadraturdetektor:



Auf der folgenden Abbildung werden die Signaltransformationen nach jedem Bauteil des Systems dargestellt.

Signale beim Doppler-US mit Quadratur-Detektor



Die Verzögerung zwischen Gate 1 und Gate 2 bestimmt die Tiefe, aus der das Signal kommt, von dem die Dopplerverschiebung bestimmt werden soll.

- b) Das Continuous Wave US-Messsystem hat den Nachteil, dass die Tiefe, aus der das Signal mit verschobener Frequenz kommt, nicht bestimmt werden kann.

Das Pulsed Wave US-Messsystem hat den Nachteil, dass die maximale nachweisbare Blutflussgeschwindigkeit begrenzt ist, deswegen kommt es oft zu Artefakten (Alias-Artefakte) bei der Bildgebung.

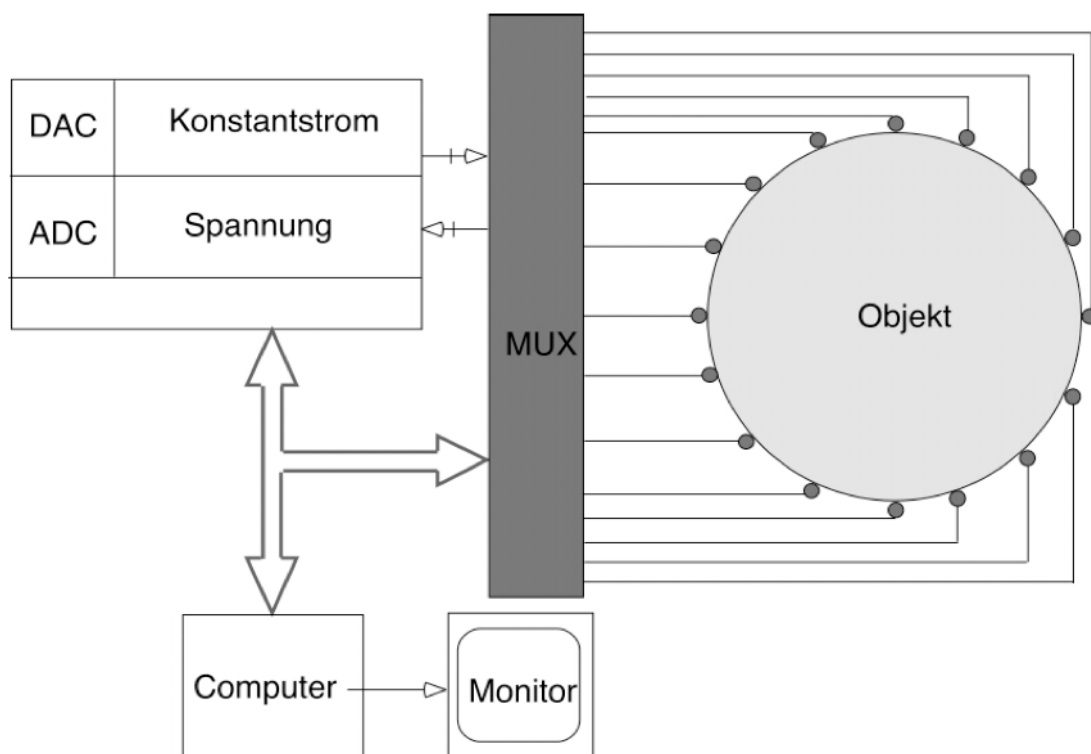
Der Quadraturdetektor ermöglicht es, die Richtung des Blutflusses zu bestimmen.

4. Die Impedanztomographie lässt die Leitfähigkeitsverteilung innerhalb des menschlichen Körpers bestimmen.

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

Antworten

- a) Datenerfassungssystem für die Impedanztomographie:



- b) Strategien für Stromeinspeisung und Spannungsmessung:

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 mehr gleichmässig.

3) Wenn mit allen Elektroden gleichzeitig bestimmte Stromdichte-Muster eingeprägt werden, bekommt man besonders gleichmässige Empfindlichkeitsverteilungen.

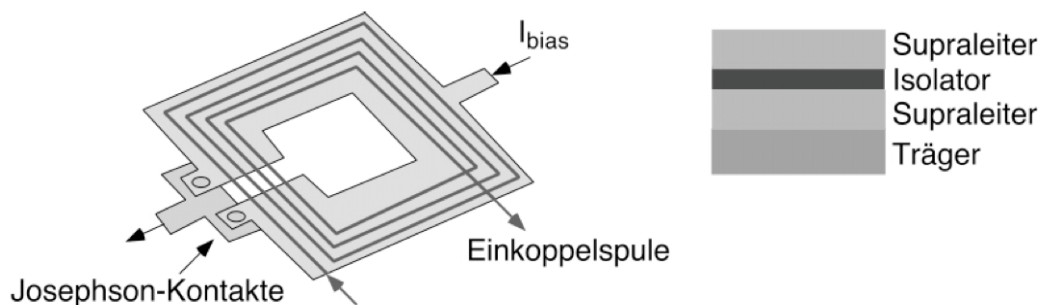
5. Die MEG/MKG Messungen werden üblicherweise mit SQUID-Magnetometern durchgeführt.

a) **Was ist ein SQUID? Skizzieren Sie ein SQUID und beschreiben Sie die Kennlinie. (4 Punkte)**

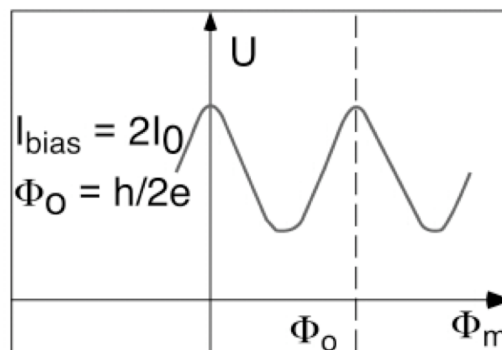
b) **Die biomagnetischen Signale sind sehr schwach im Vergleich zum Erdfeld. Wie werden die Störsignale unterdrückt? (2 wesentliche Verfahren) (2 Punkte)**

Antwort

a) Ein SQUID besteht aus einem supraleitenden Ring mit zwei Josephsonkontakten:



Die Kennlinie ist periodisch, mit der Periode $\Phi_0 = h / 2e$ (h = Plancksches Wirkungsquantum, e = Elektronenladung, Φ_0 = Flussquant):



Da bei der Erfassung biomagnetischer Signale die magnetischen Flüsse deutlich geringer sind als das Flussquant, ist eine trickreiche Elektronik notwendig, um das SQUID immer im steilsten Punkt seiner Kennlinie zu

betreiben.

- b) Die wesentlichen Verfahren zum Unterdrücken der Störsignale sind:
- 1) Der Einsatz von Gradiometern: dabei liegt das Prinzip zugrunde, dass die Magnetfelder von den nahgelegenen biologischen Quellen sich relativ stark räumlich ändern, im Gegensatz zum Erdfeld.
 - 2) Die SQUID-Magnetometer werden meistens in magnetisch abgeschirmten Kabinen eingesetzt.
6. **Wie lange muss bei der MR-Tomographie ein HF-Puls von 20 μT Amplitude anliegen um M_z um 90° umzuklappen? ($\gamma^* = 42.6 \text{ MHz/T}$) (2 Punkte)**

Antwort

Den Flipwinkel α kann man berechnen durch $\alpha = \gamma \cdot B_T \cdot \tau$, wobei α = Flipwinkel, B_T = Transversalfeld, τ = Pulsdauer. Daher gilt

$$\tau = \frac{\alpha}{\gamma \cdot B_T} = \frac{\frac{\pi}{2}}{2\pi \cdot 4.26 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-5}} = 293 \mu\text{s}.$$

7. **Der "free induction decay" ist das Abklingen des HF-Signals unmittelbar nach einer Anregung.**
- a) **Welche physikalischen Prozesse führen zur Längs- bzw Querrelaxation der Magnetisierung? (3 Punkte)**
 - b) **Wie hängen diese Prozesse von der Zeit ab? (3 Punkte)**
 - c) **Welche charakteristischen Zeiten beschreiben diese Prozesse und wie groß sind sie typischerweise? (3 Zeiten) (3 Punkte)**
 - d) **Wie kann man diese Zeiten bestimmen? (jeweils 1 Verfahren) (3 Punkte)**

Antworten

- a) Zur Längsrelaxation führt die sog. Spin-Gitter-Relaxation. Hierbei kehrt das System ins thermische Gleichgewicht zurück.
Zur Querrelaxation führt die Spin-Spin-Relaxation und die Inhomogenität des Mediums.
- b) Spin-Gitter-Relaxation:

$$M_z(t) = M_0 \left(1 - e^{\frac{-t}{T_1}} \right),$$

wobei T_1 = Längsrelaxationszeit.

Spin-Spin-Relaxation:

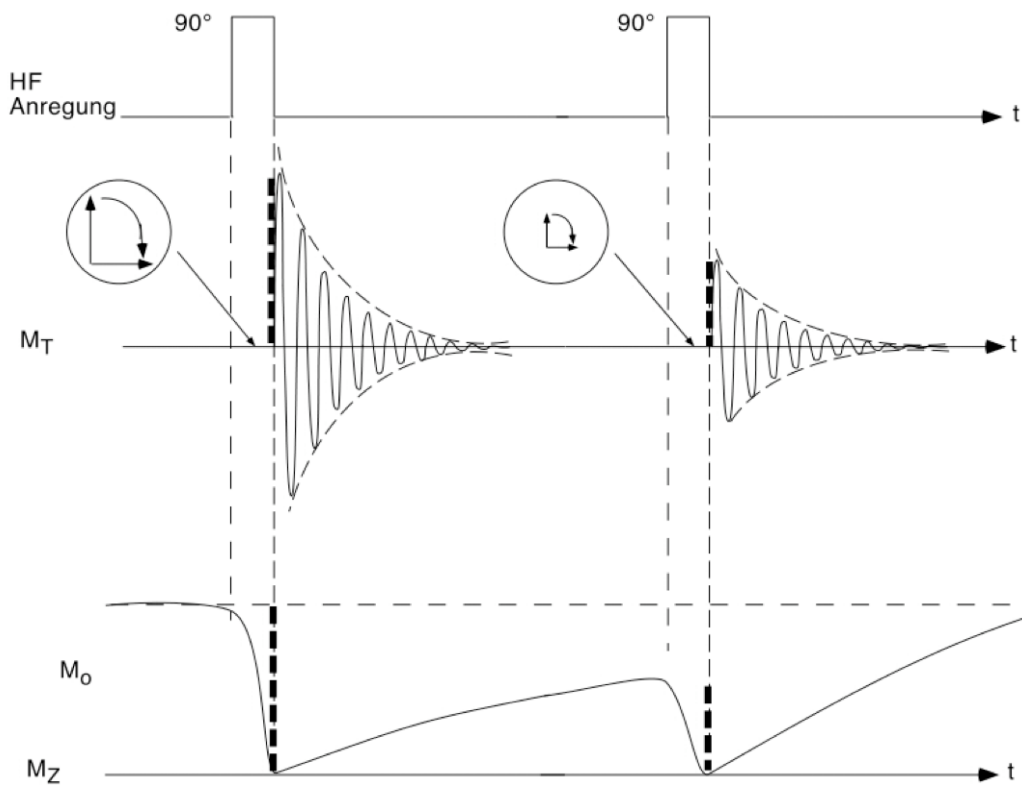
$$M_T(t) = M_{T0} \cdot e^{\frac{-t}{T_2}},$$

wobei T_2 = Querrelaxationszeit.

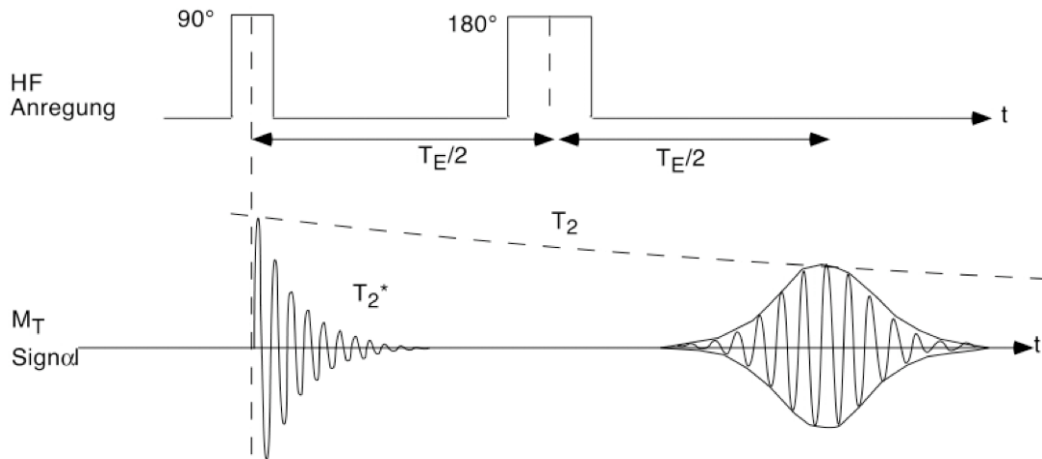
Die tatsächliche Querrelaxation ist aber immer schneller als T_2 wegen der Inhomogenität des Mediums. Die Querrelaxationszeit T_2^* wird wie folgt eingeführt:

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

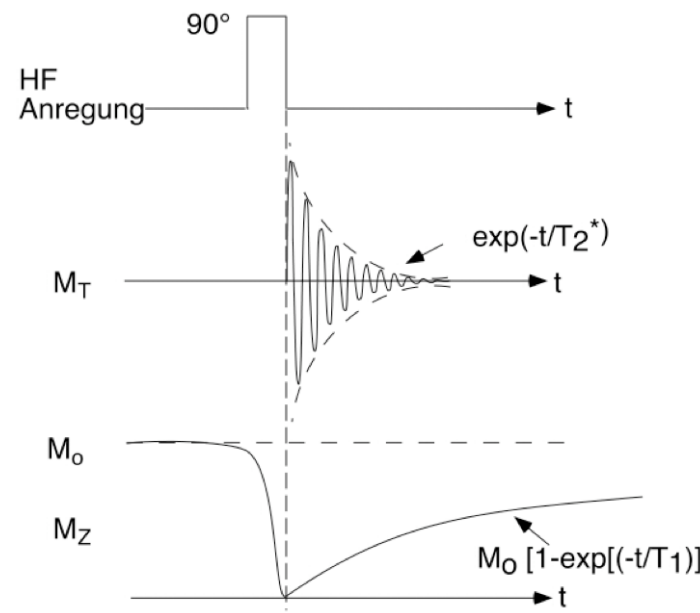
- c) Längsrelaxationszeit $T_1 \approx 200..1000$ ms;
 Querrelaxationszeit $T_2 \approx 30..100$ ms;
 Querrelaxationszeit $T_2^* \approx 20..50$ ms.
- d) T_1 Messung – "Saturation Recovery" Pulssequenz:



T_2 Messung – Spin-Echo Pulssequenz:



T₂* Messung – Einhüllende des FID-Signals:



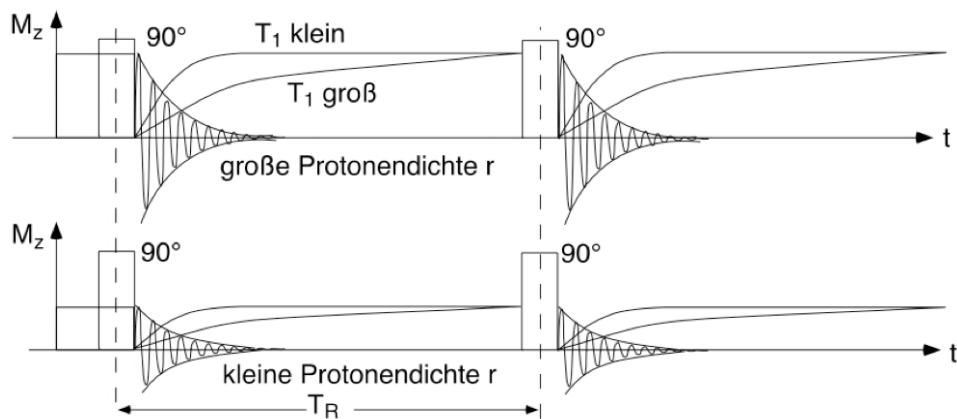
8. Abhängig von den eingestellten Parametern bei der Pulssequenz, bekommt man Protonendichte-, T₁- oder T₂-gewichtete MR-Bilder.
- Welche Parameter werden eingestellt? Wie soll man sie jeweils einstellen? (3 Punkte)
 - Skizzieren Sie die jeweiligen Pulssequenzen und die resultierenden M_T- und M_Z-Magnetisierungen. (3 Punkte)

Antworten

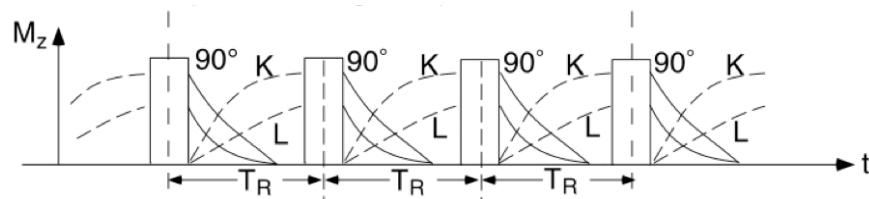
- Um Protonendichte-, T₁- oder T₂-gewichtete MR-Bilder zu bekommen, muss man die Echozeit T_E und die Repetitionszeit T_R variieren.

Signaltyp:	T_R :	T_E :
Protonendichtegewichtet	Lang (ca. 2000 ms)	Kurz (ca. 20 ms)
T_1 -gewichtet	Kurz (ca. 200 ms)	Kurz (ca. 20 ms)
T_2 -gewichtet	Lang (ca. 2000 ms)	Lang (ca. 200 ms)

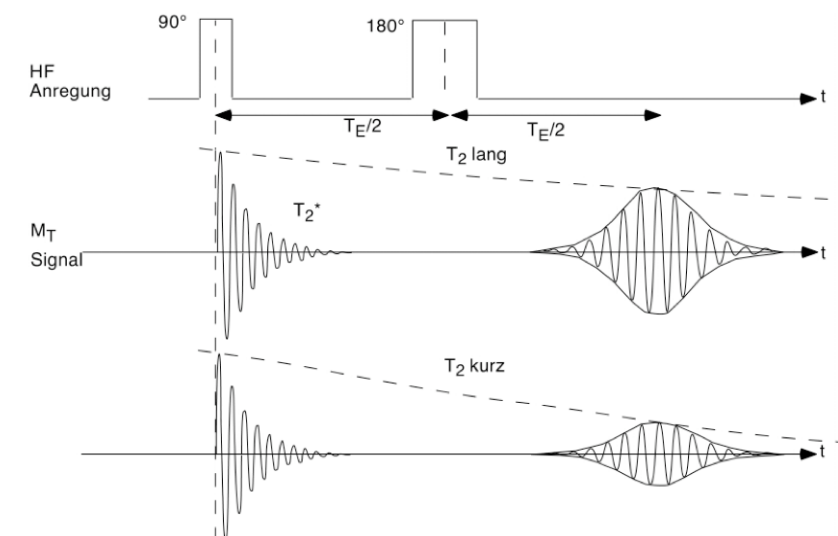
b) Die Pulssequenz für ein protonendichtegewichtetes Signal:



Die Pulssequenz für T_1 -gewichtetes Signal:



Die Pulssequenz für T_2 -gewichtetes Signal:



9. Die MR-Angiographie lässt auch ohne Kontrastmittel die fließenden

Substanzen im Bild von den ruhenden unterscheiden. Beschreiben Sie kurz die dafür benutzten Verfahren. (2 Typen) (4 Punkte)

Antwort

1) "Time-of-Flight"-Angiographie

Die Quermagnetisierung nach einem 90° -Puls wird immer kleiner, wenn die Repetitionszeit $T_R \leq T_1$ gewählt wird. Wird mit der selektiven Schichtanregung nur eine einzige Schicht angeregt, so wirkt dieser Signalverlust nur auf ruhende Spins. Wenn "frisches" Blut in die Schicht fließt, kann in dem Blut durch einen 90° -Puls wieder die maximale Quermagnetisierung erreicht werden. So werden die ruhenden Teile des Bildes dunkler und die bewegten scheinen hell. Also bei einer klassischen Spin-Echo-Sequenz geht man wie folgt vor:

- Man wählt $T_R \leq T_1$,
- Man wählt einen Flipwinkel nahe 90° ,
- Man verwirft die ersten 10 Pulse, um sicher im "steady-state"-Zustand zu sein.

Aber: die Blutflussgeschwindigkeit ist mit dieser Methode nur schwer zu messen.

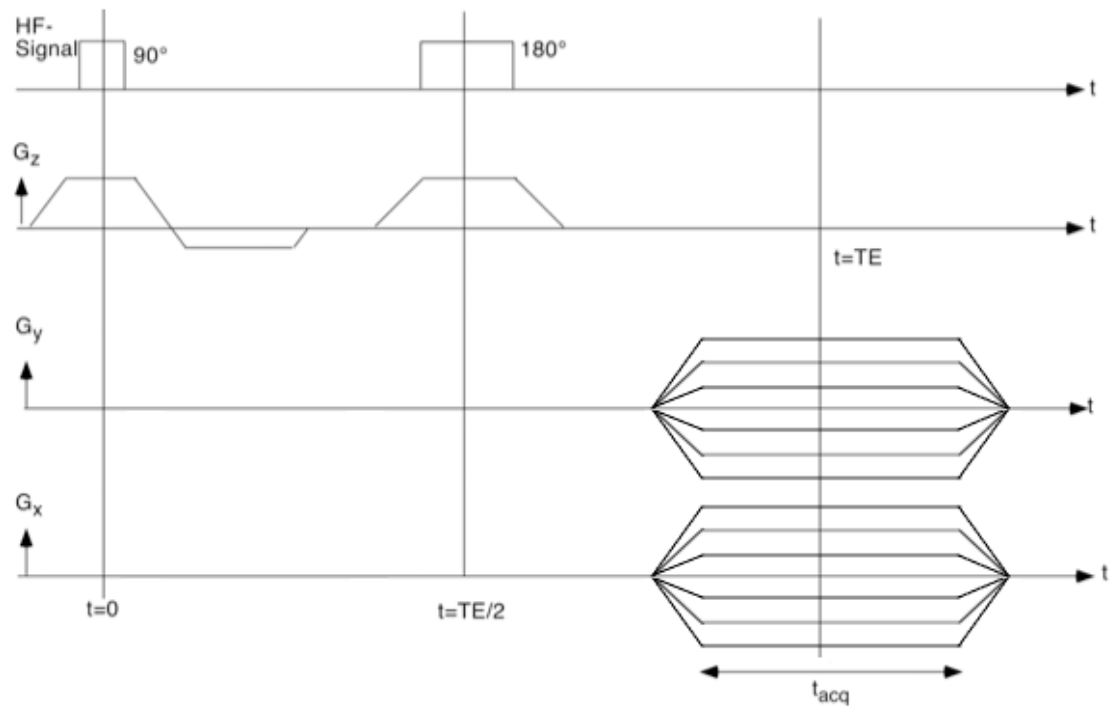
2) Phasensensitive MR-Angiographie

Diese Verfahren nutzen die Tatsache, dass präzidierende Spins, die sich in einem Gradientenfeld in Richtung des Gradienten bewegen, eine zusätzliche Phasenverschiebung erhalten. Daher bekommen nach einem antisymmetrischen bipolaren Gradientenpuls die ruhenden Teilchen eine Phasenverschiebung $\phi = 0$, die bewegten Teilchen aber eine Phasenverschiebung $\phi \neq 0$.

10. Wie werden die Gradientenspulen bei einer radialen Abtastung des k-Raumes eingeschaltet? (6 Punkte)

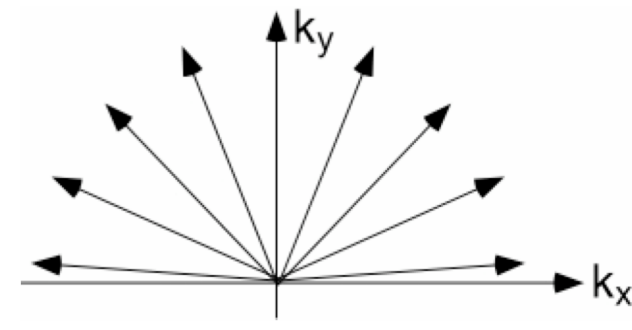
Antwort

Die Gradientenspulen werden wie folgt eingeschaltet:



Gegen $t \approx T_E$ werden beide Gradientenspulen gleichzeitig eingeschaltet. Die Werte der Gradienten G_x und G_y werden dabei so gewählt, dass

$$\alpha = \arctan(G_y / G_x):$$



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gesamt
7	8	13	6	6	2	12	6	4	6	70