

MRT & CT

Jan Scholtyssek
2020-11-28



Quelle: <https://www.nhs.uk/conditions/mri-scan/>



Agenda

- Aufbau eines MRT-Scanners
- Wie entsteht ein Signal?
- Breakout-rooms: T1- & T2-Gewichtung
- Wie entsteht das Bild?
- Aufnahme-Sequenzen (Spin Echo, FLAIR, DWI, Arterial labelling...)
- Weiterführende Ressourcen



Vorkenntnisse

Vektorrechnung

Ich weiß...

...was ein Vektor ist

...wie die Summe von zwei Vektoren grafisch dargestellt wird

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Komplexe Zahlen

Ich weiß...

...was ein Komplexe Zahlen sind

...wie Komplexe Zahlen in einem Koordinatensystem eingezeichnet werden können

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Exponentialfunktion

Ich weiß...

...wie der Funktionsgraph der Exponentialfunktion aussieht

...wie ich mir den Verlauf von $f(x) = e^{ax}$ und $g(x) = e^{-ax}$ vorstellen soll

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Durchschnitt

Ich weiß...

...was ein Durchschnitt ist

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Resonanz

Ich...

...weiß dass Resonanz etwas mit Frequenz zu tun hat

...kenne mindestens ein Beispiel von Resonanz

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Quantenzahlen

Ich...

...habe den Begriff schonmal gehört

...habe schonmal von s-, p-, d-Orbitalen gehört

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Wellenfunktion

Ich...

...weiß mir grob etwas unter dem Begriff vorzustellen

...weiß dass Eigenschaften (z.B. Position) von Elementarteilchen (z.B. Elektrone) von einer Wellenfunktion ableiten lassen

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

Fourier-Transformation

Ich...

...habe den Begriff schonmal gehört

...weiß wie die transformierte Funktion zu deuten ist

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

MRT als Patient

Ich...

...habe schon mal in einem MRT-Scanner gelegen

...weiß wie sich ein MRT-Scan anhört

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein



Vorkenntnisse

MRT-Funktionsweise

Ich...

...weiß wie ein MRT-Scanner funktioniert

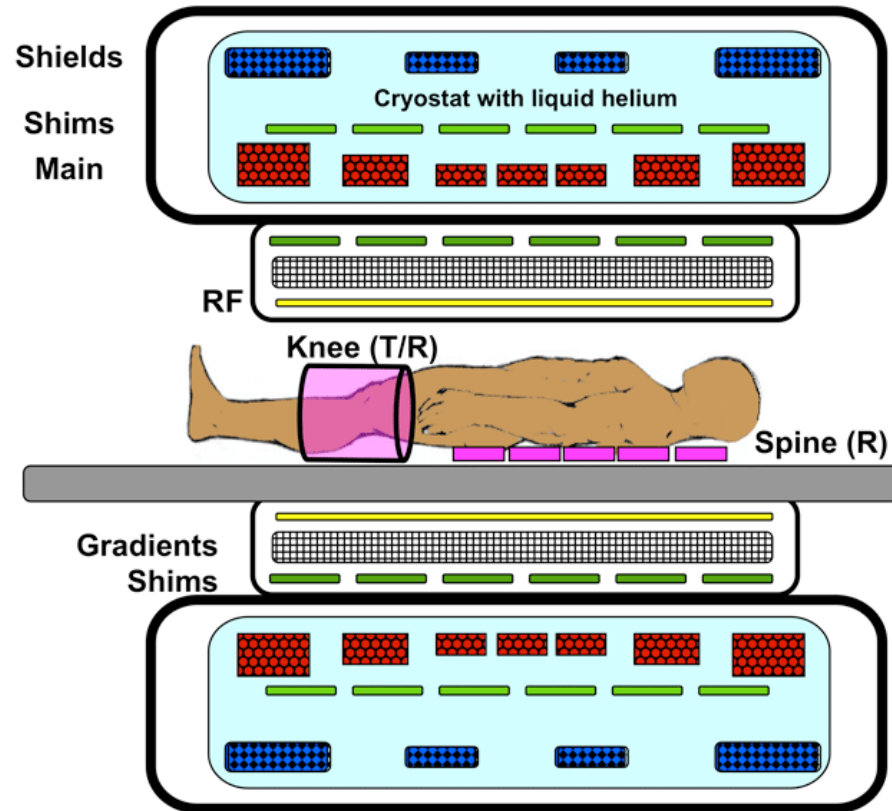
...weiß was die Parameter T1, T2 und T2* bedeuten

A) Ja

B) Vielleicht?

C) Nein

Aufbau eines MRT-Scanners



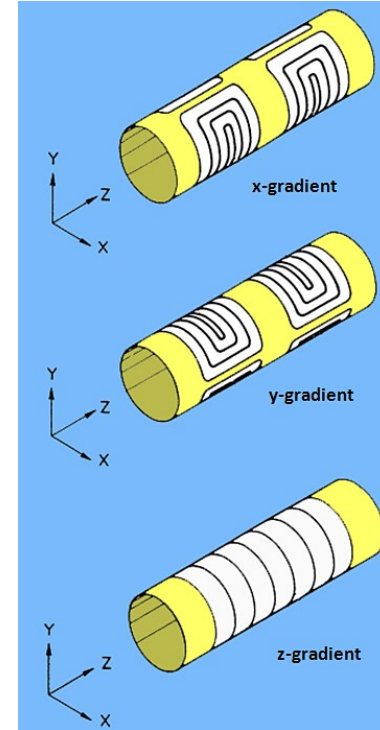
Quelle: <http://www.mri-q.com/many-kinds-of-coils.html>

Aufbau eines MRT-Scanners

Gradient-Magnette:



Quelle: <https://imgur.com/gallery/yiEnK>



Quelle: <http://www.mri-q.com/gradient-coils.html>



Aufbau eines MRT-Scanners

MRT-Scanner sind laut!

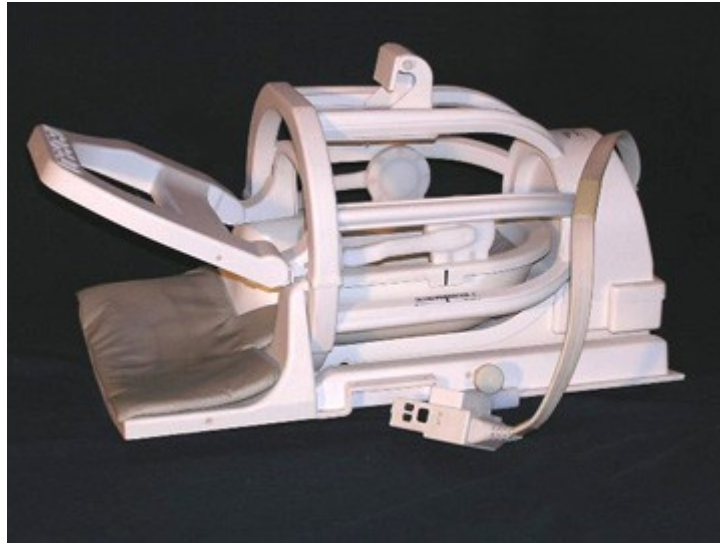
https://www.youtube.com/watch?v=S4DHUim_Lc8

Und können Musik spielen!

<https://www.youtube.com/watch?v=VYAvxe9X3s0>

Aufbau eines MRT-Scanners

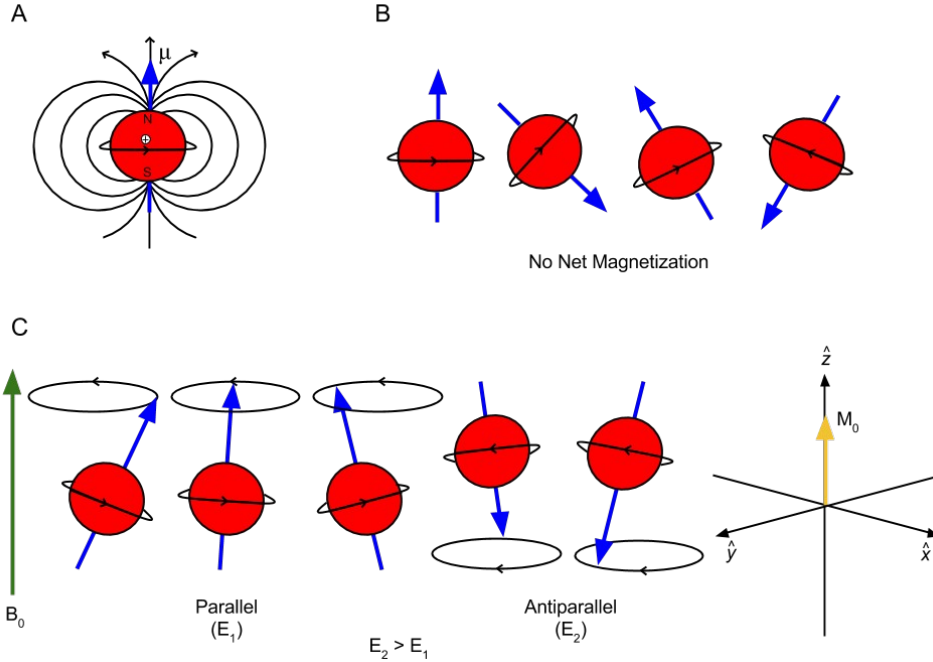
Empfänger-Antennen:



Quelle: <http://www.mri-q.com/array-coils.html>

Wie entsteht ein Signal?

- Protone im Magnetfeld



Quelle:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Siemens_Magnetom_Aera_MRI_scanner.jpg

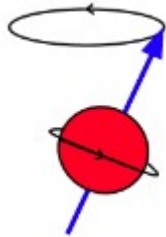
Quelle: http://199.116.233.101/index.php?title=File:Proton_Figure.png

Wie entsteht ein Signal?

- Protone im Magnetfeld

Larmor-Frequenz:

$$\omega = \gamma B$$



Für isoliertes Proton (H^+):

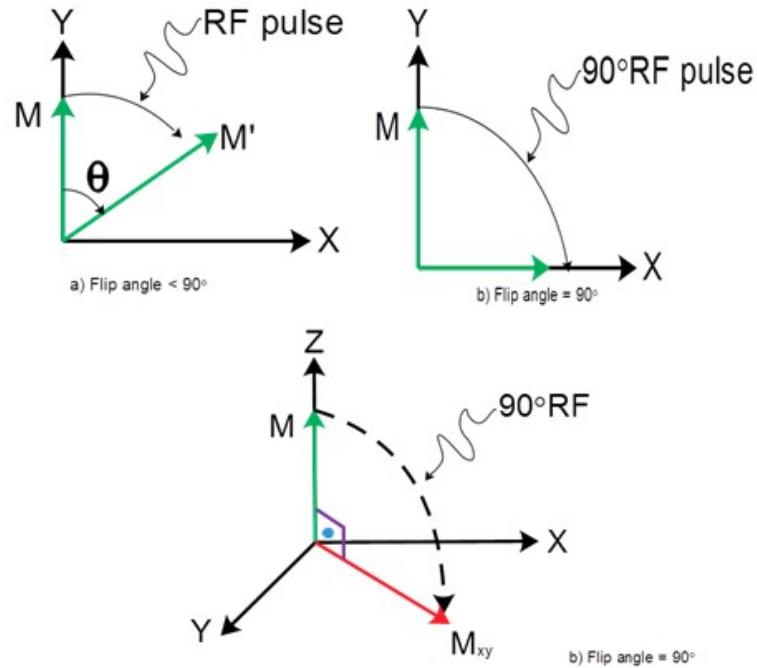
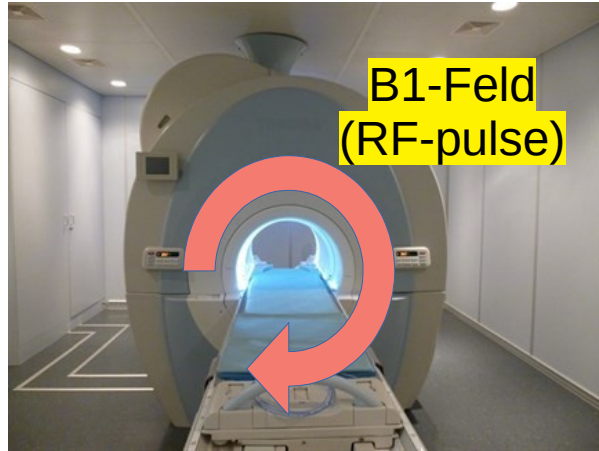
$$\gamma = 42,58 \text{ Mhz/Tesla}$$

Bei 1,5 Tesla:

$$\omega = 63,87 \text{ MHz}$$

Wie entsteht ein Signal?

- Protone im Magnetfeld

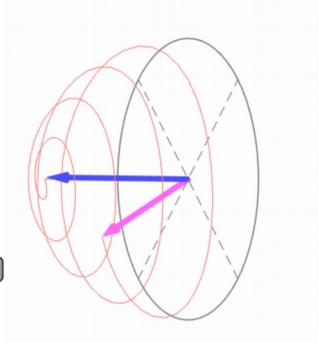
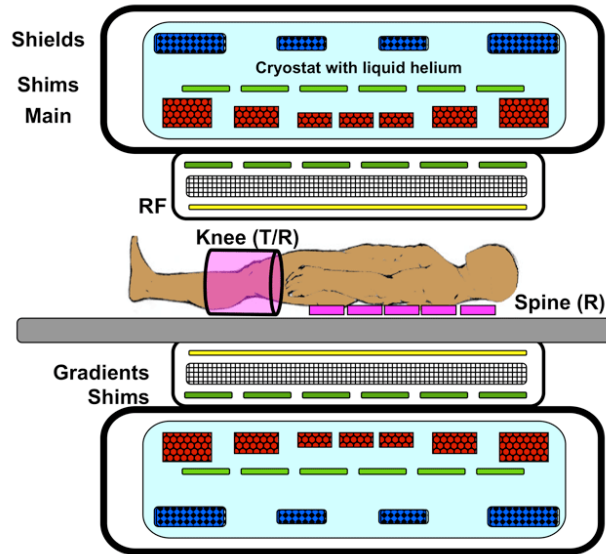


Quelle:
<https://www.southernhealth.nhs.uk/locations/lymington-new-forest-hospital/mri-scan/>

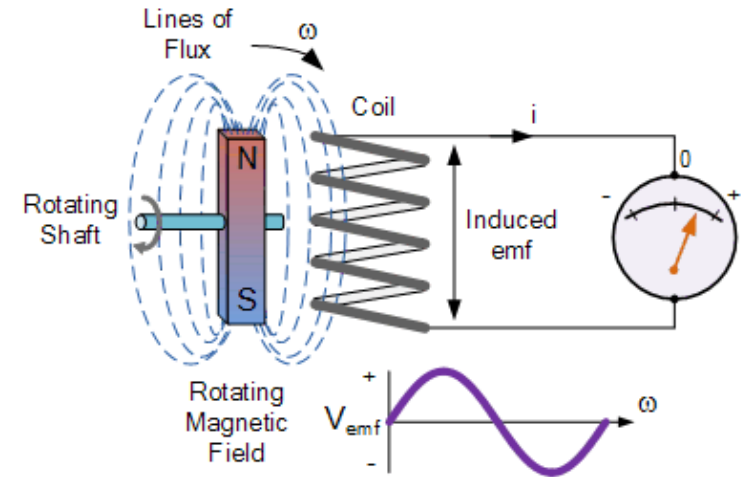
Quelle: http://199.116.233.101/index.php?title=File:RF_Pulse.png

Wie entsteht ein Signal?

- Protone im Magnetfeld



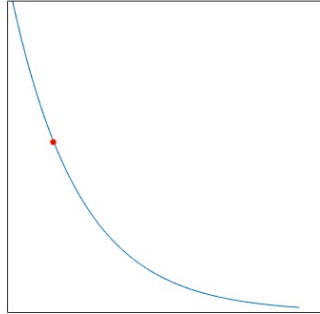
Transversale Magnetisierung kann gemessen werden, wie ein rotierender Magnet:



Quelle: <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/electromagnetic-induction.html>

Wie entsteht ein Signal?

- T1 & T2-Zeit



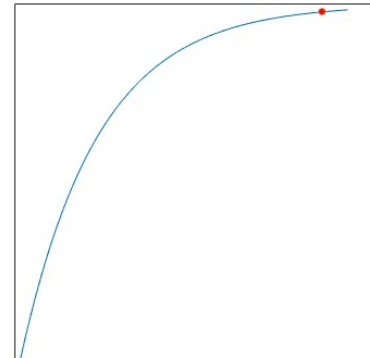
T2

$$m_t = m_{90} e^{-(t/T2)}$$

<http://mrphysics.github.io/teaching-mri-intro.html>

T1

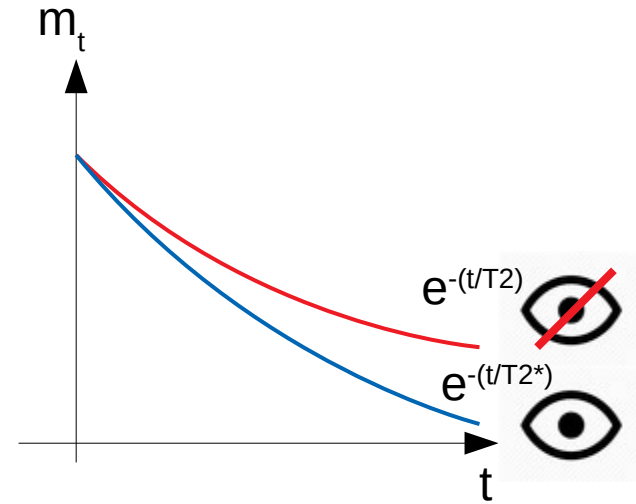
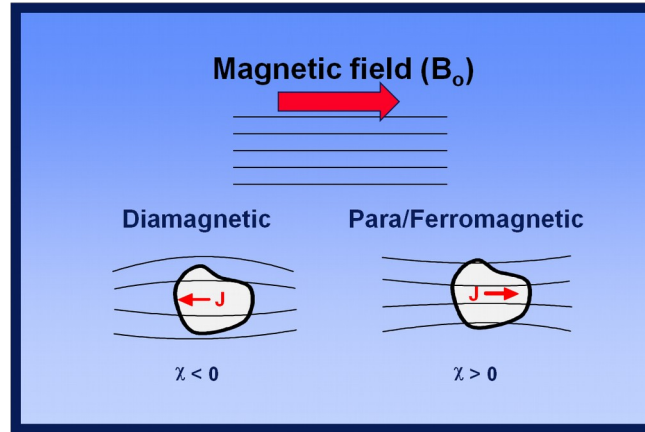
$$m_L = m_0 (1 - e^{-(t/T1)})$$



Wie entsteht ein Signal?

- Wenn's so einfach wäre...

Wir messen nicht T_2 , sondern T_2^* :



<http://mrphysics.github.io/teaching-mri-intro.html>



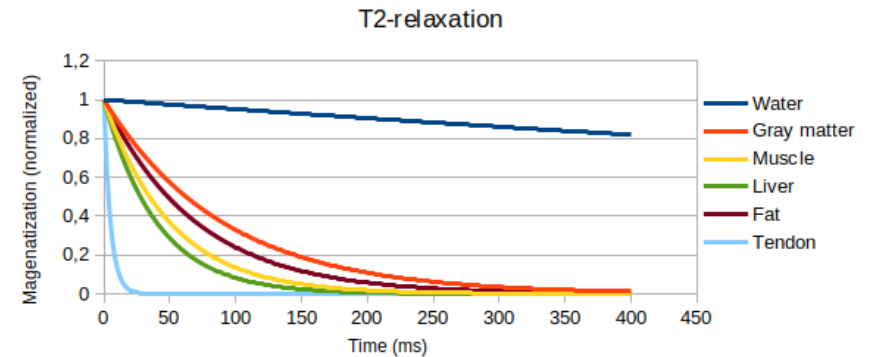
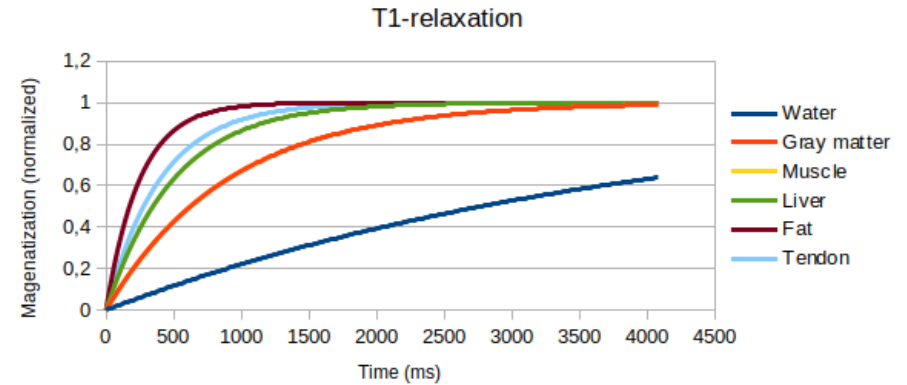
Breakout-rooms

- T1 und T2-Bilder
- Was ist hell? Was ist dunkel?
- Plenum: Welche Gewichtung für welche Struktur?

Breakout-rooms - Plenum

Tissue	T1 (msec)	T2 (msec)
Water/CSF	4000	2000
Gray matter	900	90
Muscle	900	50
Liver	500	40
Fat	250	70
Tendon	400	5
Proteins	250	0.1- 1.0
Ice	5000	0.001

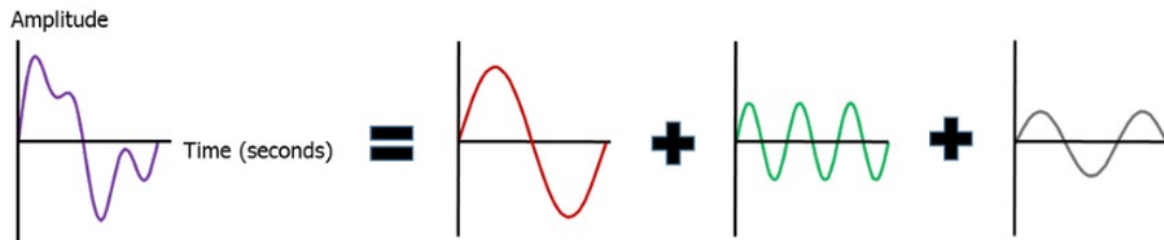
Quelle: <https://mri-q.com/why-is-t1--t2.html>



Intermezzo: Fourier Transformation

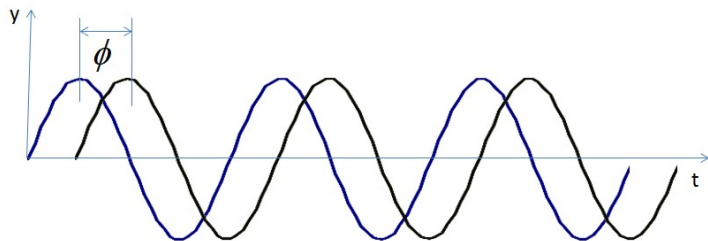
- Fourier-Transform zerlegt eine Funktion in ihre Frequenz- und Phasen-Komponenten

Frequenz-Komponenten:



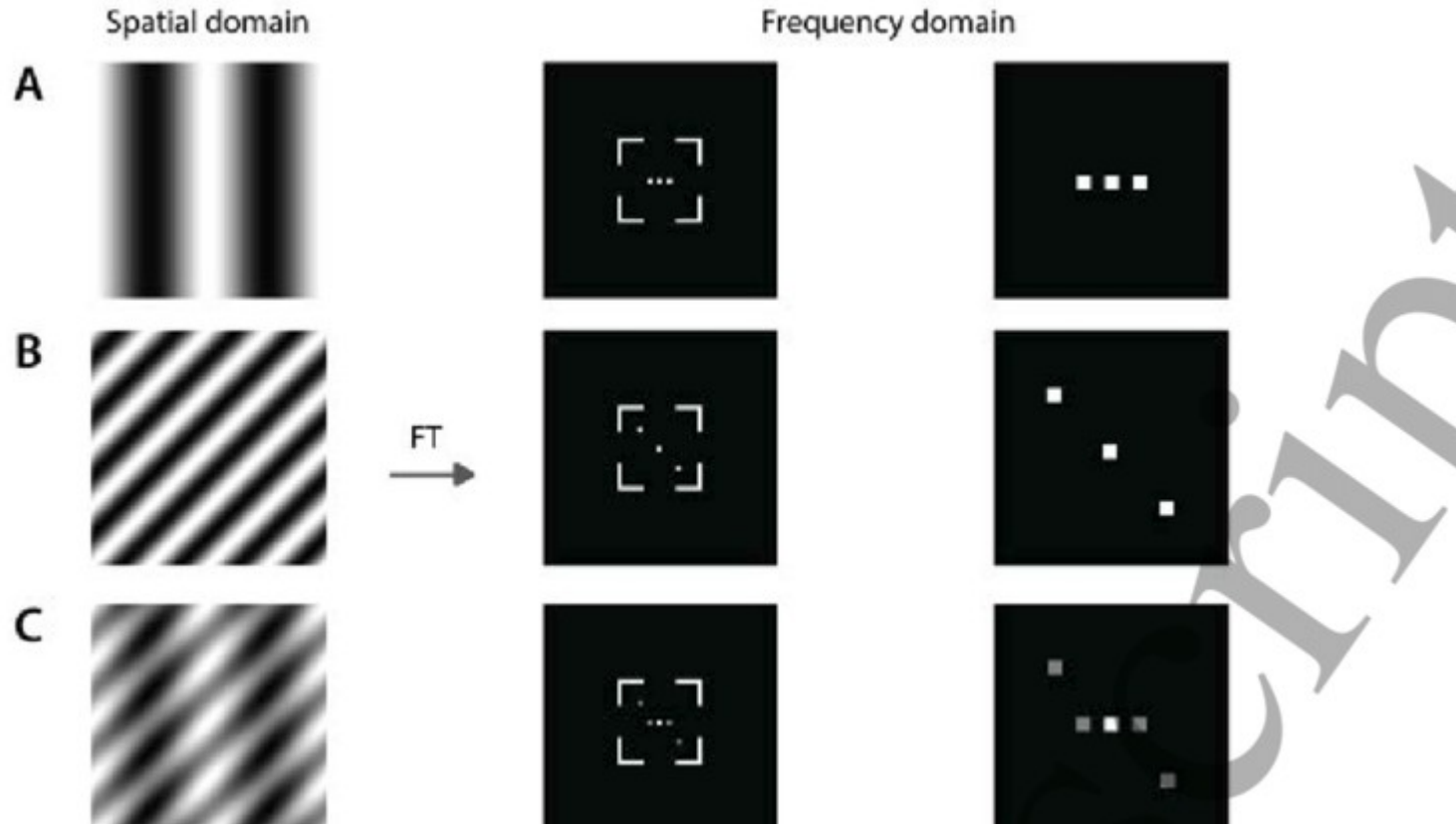
Quelle: <https://community.sw.siemens.com/s/article/what-is-the-fourier-transform>

Phasen-Komponenten:



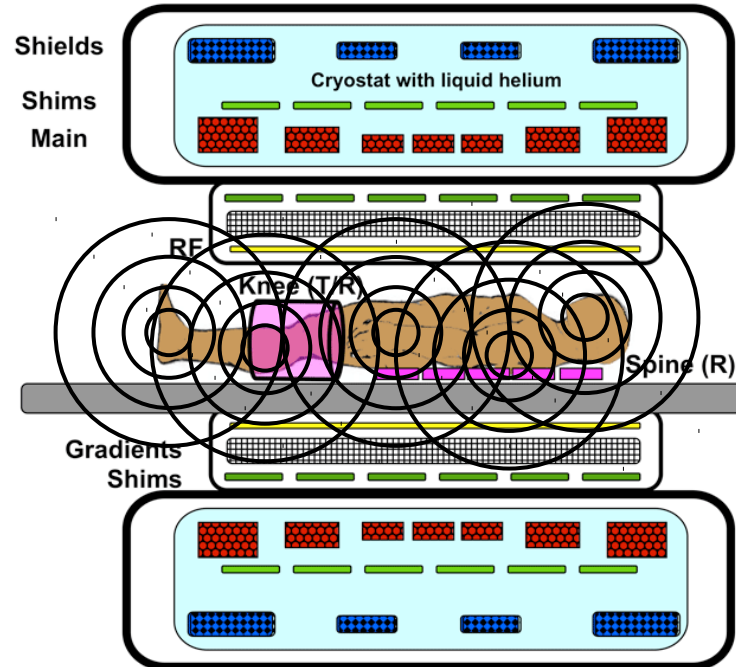
Quelle: <https://dsp.stackexchange.com/questions/40893/what-is-an-intuitive-explanation-of-the-phase-of-a-signal>

Intermezzo: Fourier Transformation



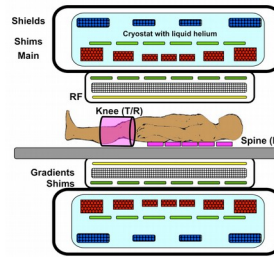
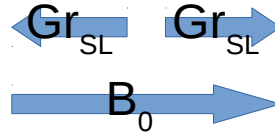
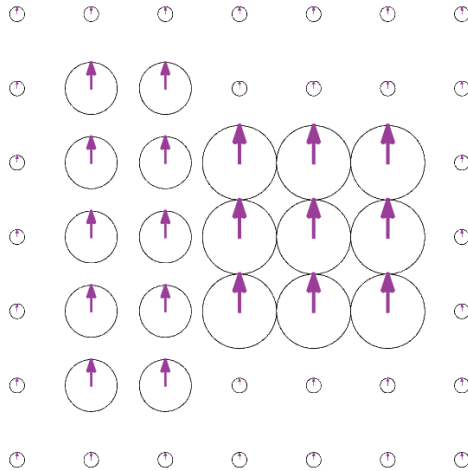
Wie entsteht das Bild?

Das Problem mit dem bisher Besprochenen:
Signal kommt vom ganzen Körper!

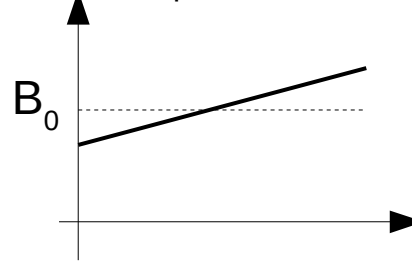


Slice-select gradient

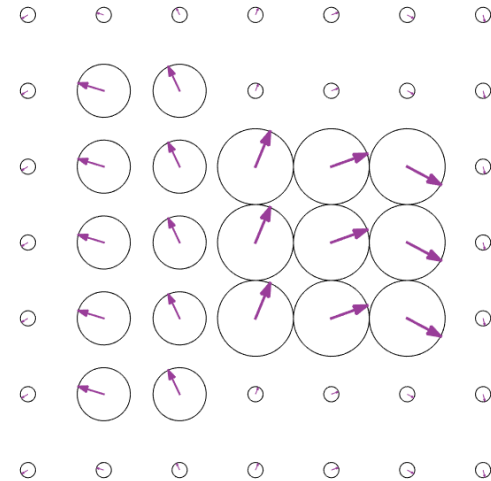
Nur B_0 :



Feldstärke
/ Resonanzfrequenz



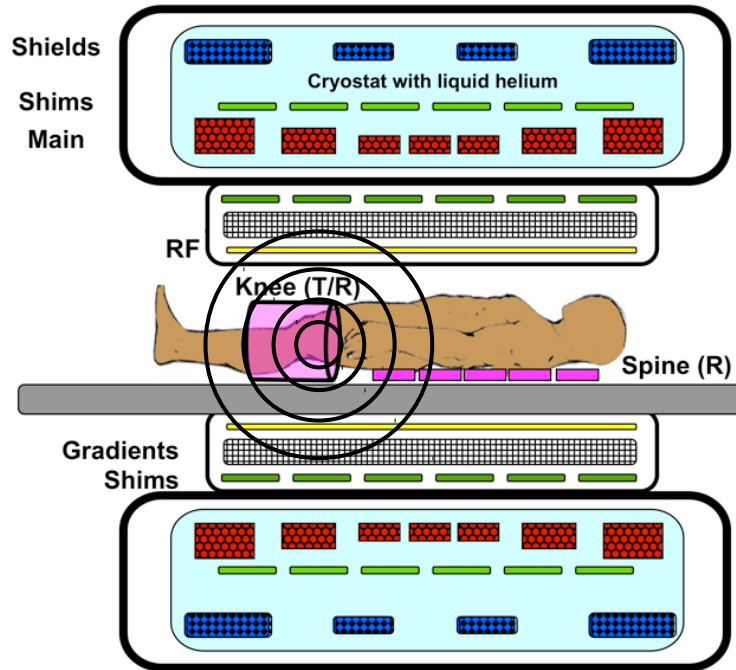
Mit Slice-select gradient:



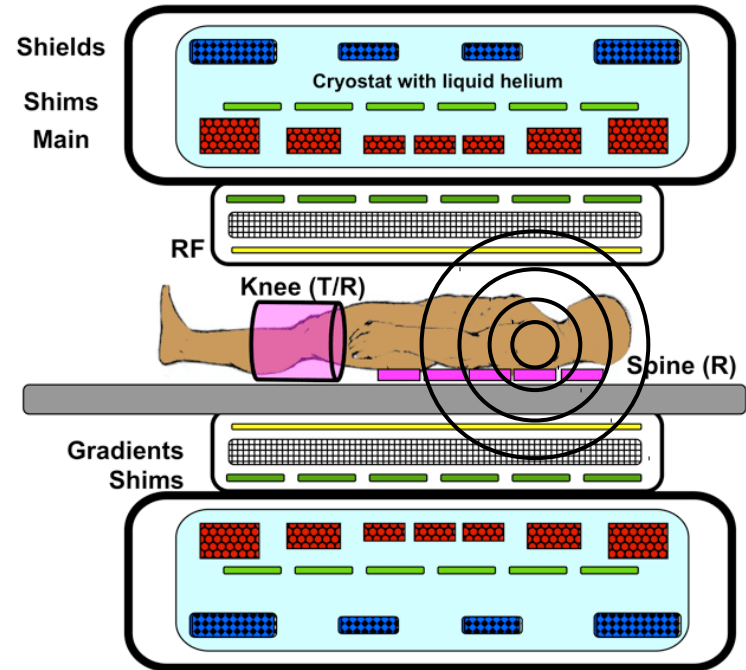
Wie entsteht das Bild?

Mit Slice-select gradient:

$$\text{Frequenz von } B_1 = \gamma B_0 - x$$



$$\text{Frequenz von } B_1 = \gamma B_0 + x$$

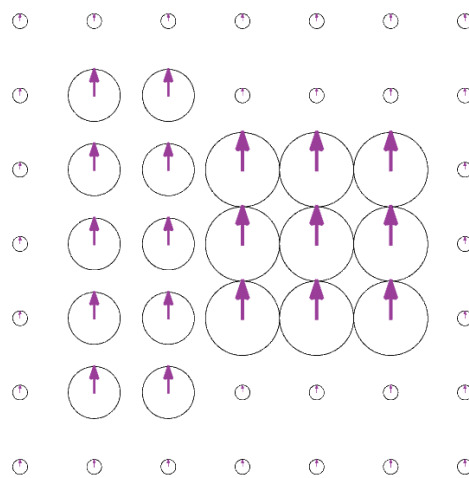


Frequenz-Encoding Gradient

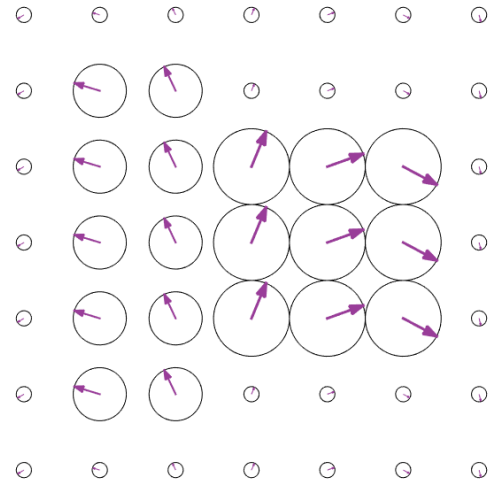
In der Ebene ausgewählt durch den Slice-select gradient:



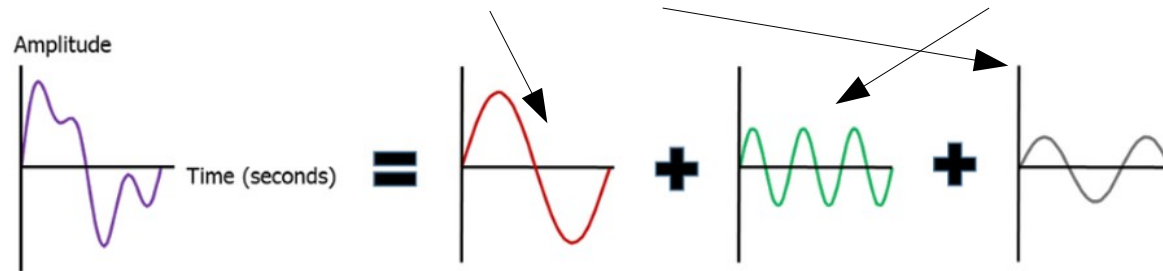
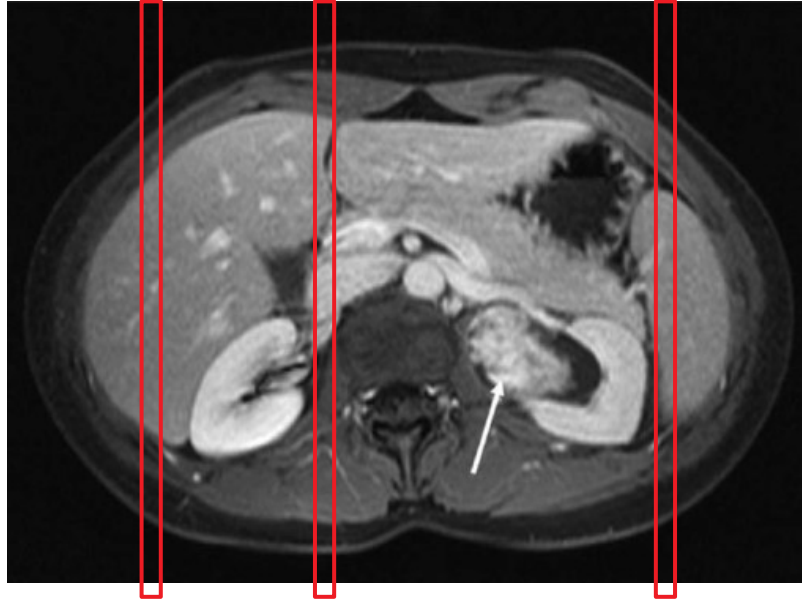
Nur $B_0 + Gr_{SL}$:



Mit Frequenz-
-Encoding Gradient:

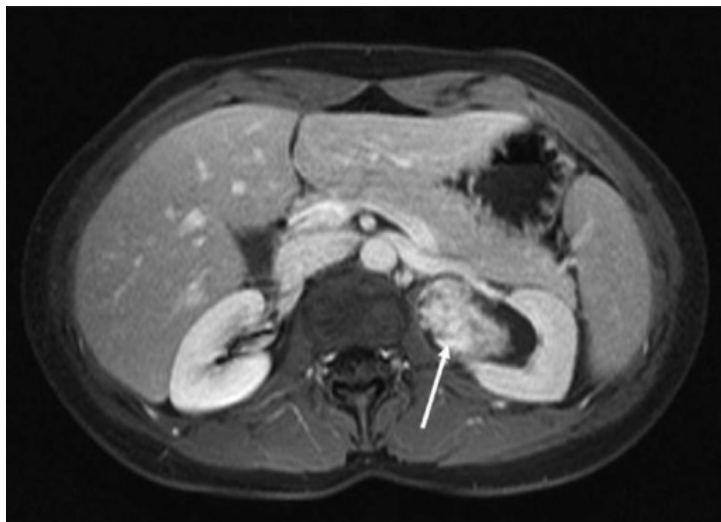
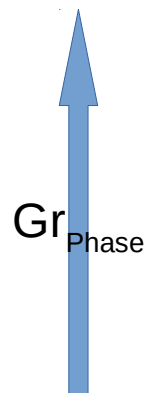


Frequenz-Encoding Gradient

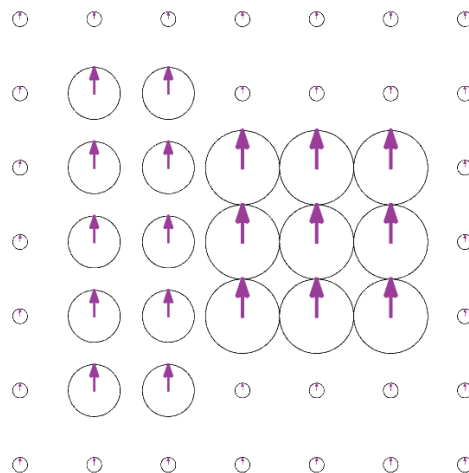


Phasen-Encoding Gradient

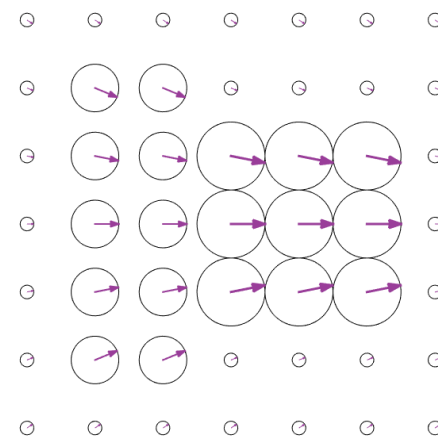
In der Ebene ausgewählt durch den Slice-select gradient:



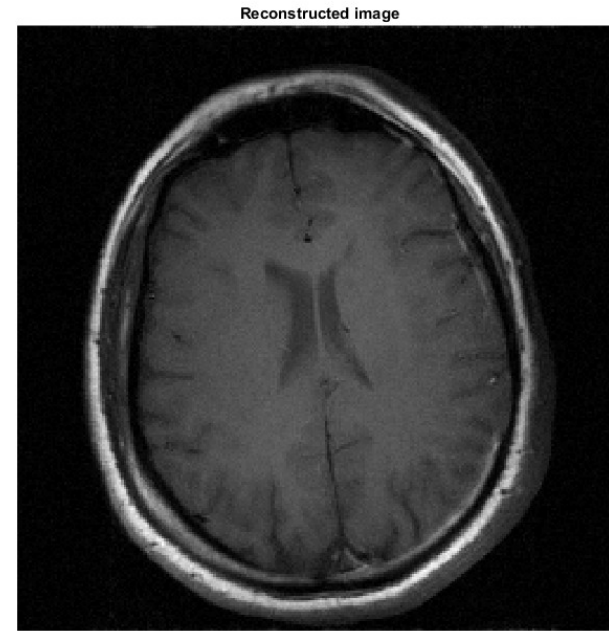
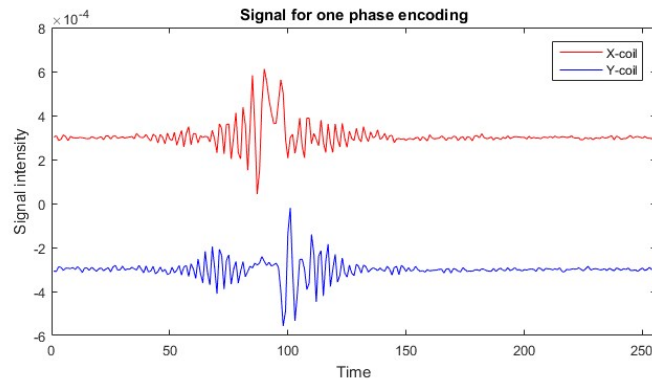
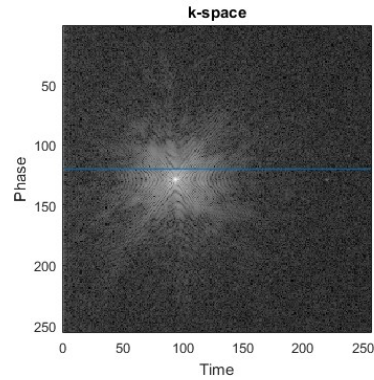
Nur $B_0 + Gr_{SL}$:



Mit Phasen-
-Encoding Gradient:

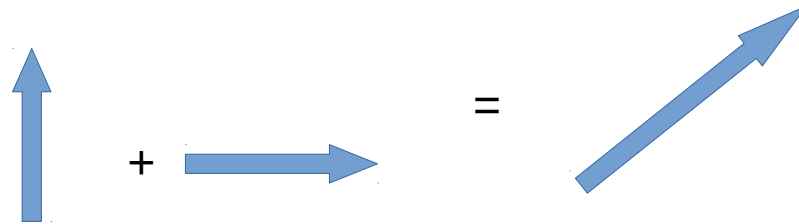


Echtes Signal & Rekonstruktion



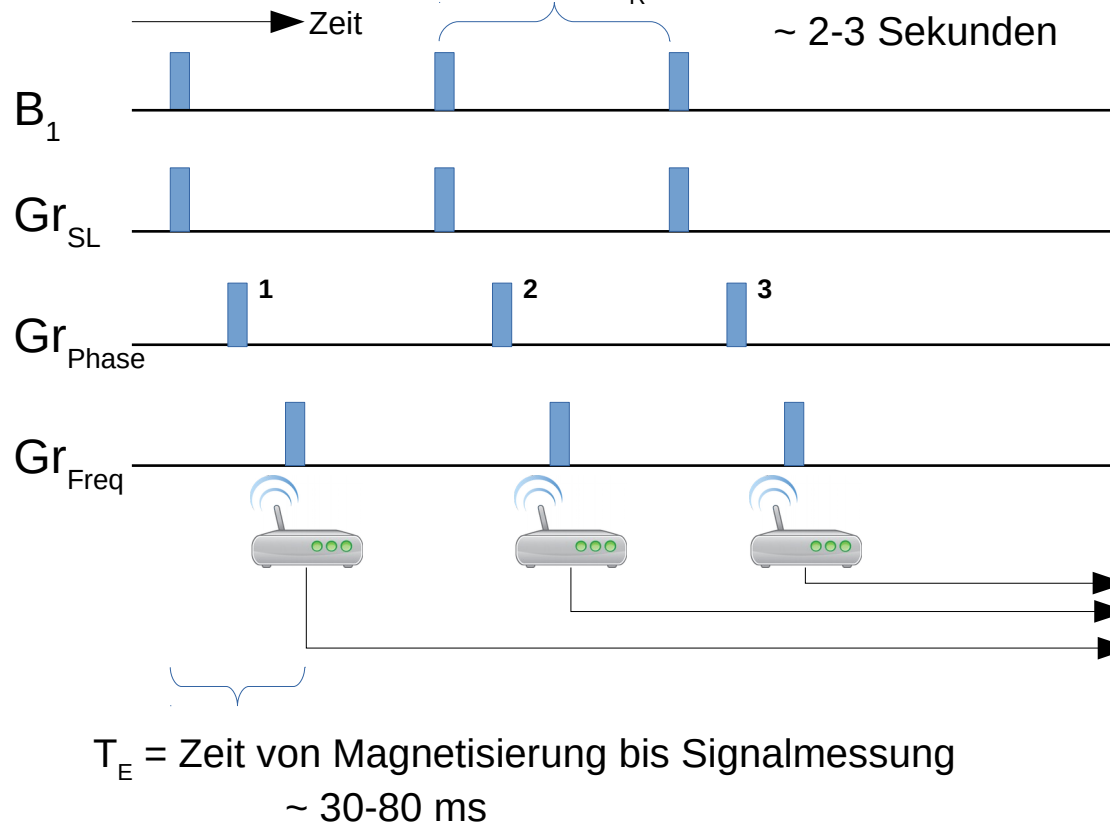
MRT-Sequenzen

- Pulse müssen in einer passenden Reihenfolge und mit dem richtigen Timing gegeben werden.
- Wenn z.B. Gr_{Freq} und Gr_{Phase} gleichzeitig an wären:

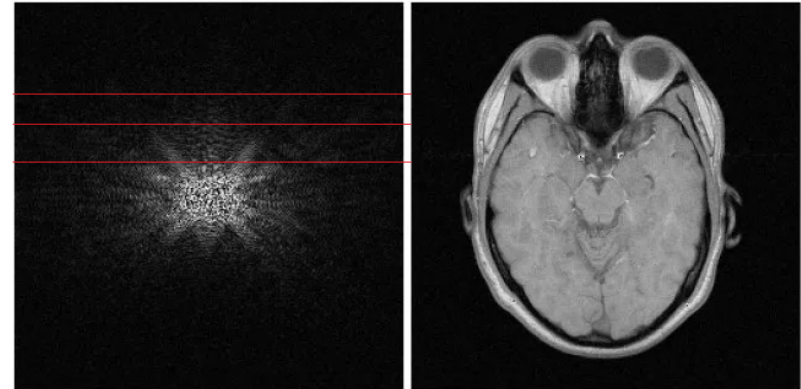


MRT-Sequenzen

Die einfachste Sequenz: $\sim T_R$ = Zeit bis Spins wieder im Anfangszustand
~ 2-3 Sekunden



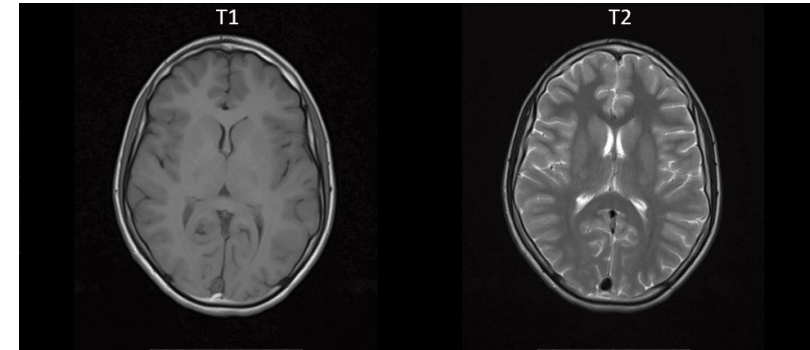
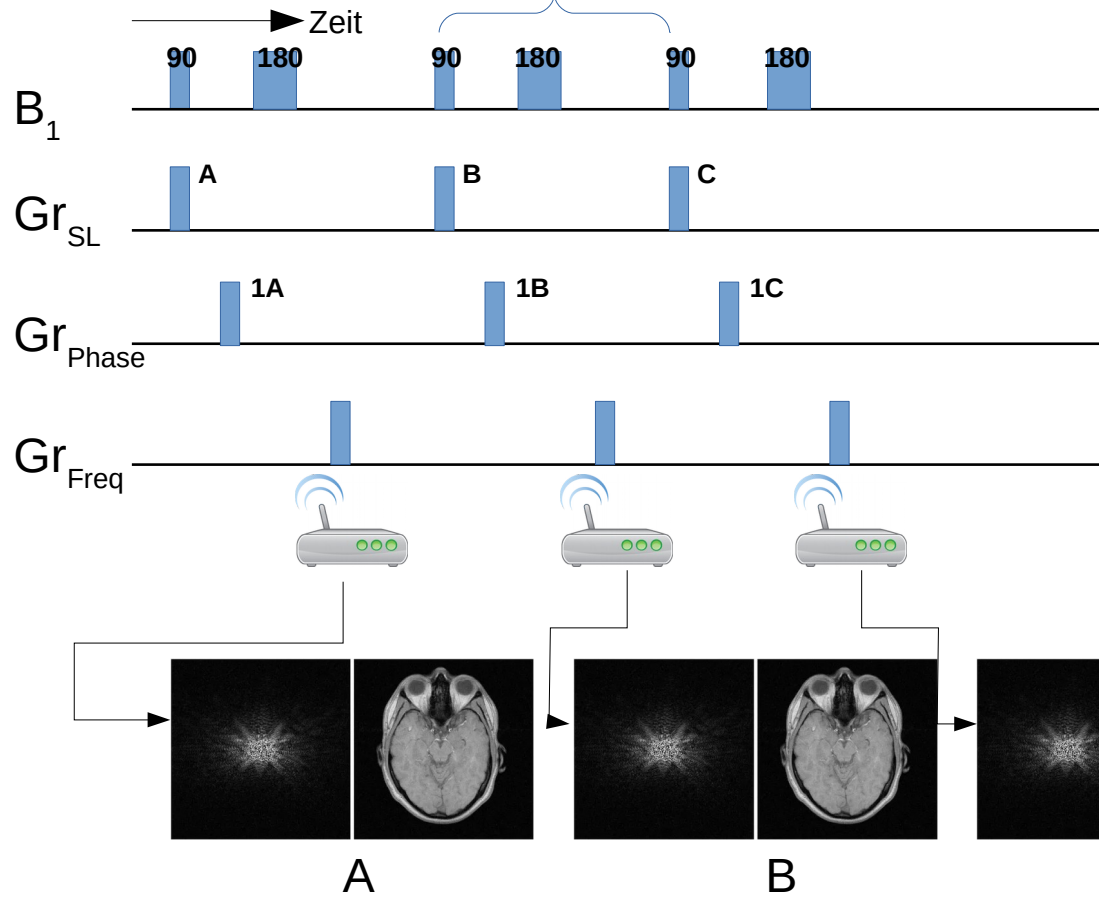
2D FT →



MRT-Sequenzen

Fast Spin Echo:

Beliebig kurz da verschiedene Slices!

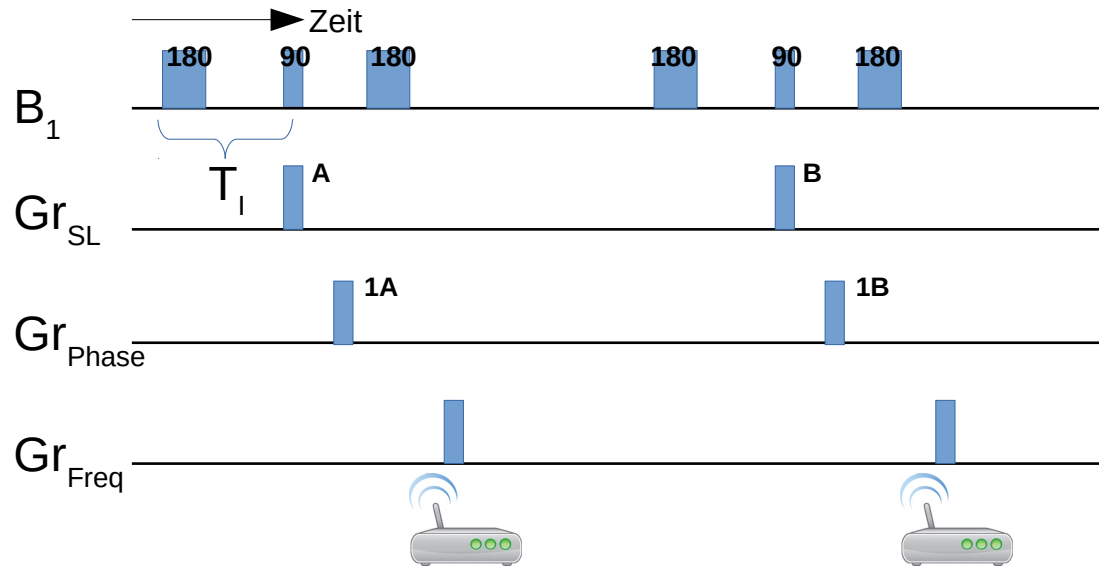


Quelle: <https://geekymedics.com/the-basics-of-mri-interpretation/>

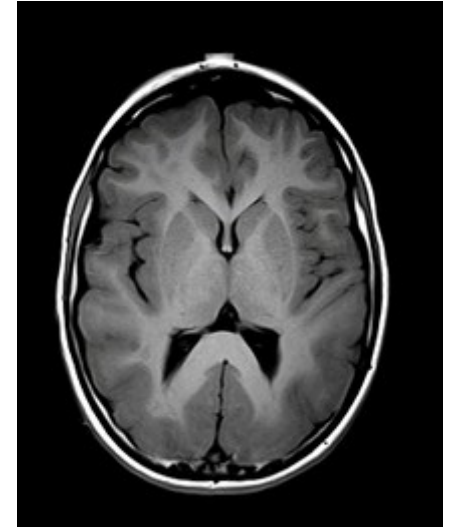
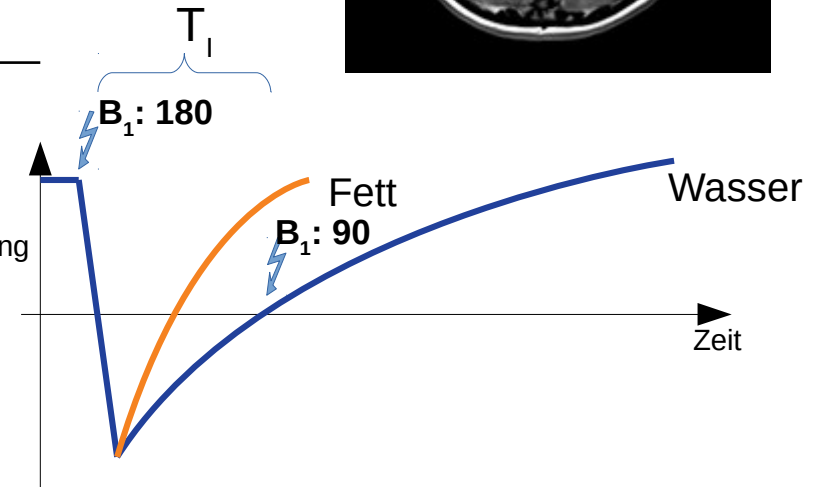
MRT-Sequenzen

Quelle: <http://mri-q.com/t1-flair.html>

FLAIR:



Long.
Magnetisierung



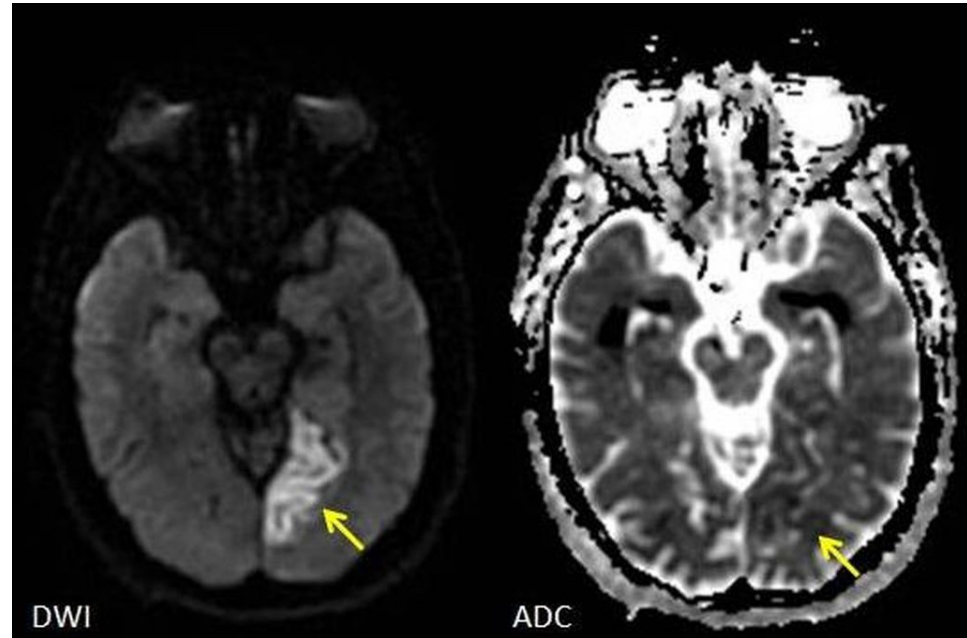
MRT-Sequenzen

DWI / ADC:

DWI: Diffusion weighted imaging

ADC: Apperent diffusion coefficient

Nutzt aus dass fließende Flüssigkeiten nicht am selben Ort bleiben und deshalb z.B. schneller ihre Magnetisierung verlieren oder erst in einer Schicht magnetisiert werden und in einer anderen Schicht dann gemessen.



Quelle: <https://epos.myesr.org/posterimage/esr/ecr2017/135936/mediagallery/679847>



Zeitkonstanten

- T_1 : Gewebe-spezifische Relaxion in longitudinaler Richtung
- T_2 : Gewebe-spezifische Relaxion in transversaler Richtung
- T_2^* : Gewebe-spezifische Relaxion in transversaler Richtung unter Berücksichtigung von Feld-Variationen
- T_R : Zeit bis Magnetisierung wieder im Ausgangszustand
- T_E : Zeit von transversaler Magnetisierung bis Signalmessung
- T_I : Zeit von Magnetisierungsinvertierung bis transversaler Magenetisierung



Wenn man mehr wissen möchte

- YouTube: Introduction to MRI von Dr. Michael Lipton
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLPclmQzEnTpz-5TzxyyoYSbiAa9xdd89l>
- MRI-Q:
<http://www.mri-q.com>
- Radiopedia:
<https://radiopaedia.org/>
- Physik des MRTs mit Formeln:
<http://web.eecs.umich.edu/~dnoll/BME516/mri1.pdf>