

F62 Kernresonanzspektroskopie

Fortgeschrittenen-Praktikum

Nils Schmitt Timo Kleinbek

Physikalisches Institut

14.12.2018



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

Relaxationszeit
oooooooooooo

Chemische Verschiebung
oooo

Bildgebende Verfahren
oooooooo

Diskussion
ooo

Literatur

Inhaltsübersicht

Relaxationszeit

Chemische Verschiebung

Bildgebende Verfahren

Diskussion

Relaxationszeit

●oooooooooooo

Chemische Verschiebung

oooo

Bildgebende Verfahren

oooooooooo

Diskussion

ooo

Literatur

Inhaltsübersicht

Relaxationszeit

Chemische Verschiebung

Bildgebende Verfahren

Diskussion

Physikalischer Hintergrund

- Teilchen mit Spin $S \neq 0$ befindet sich in externem Feld \vec{B}_0
- Energieaufspaltung durch parallele bzw. antiparallele Ausrichtung

$$\Delta E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}_0$$

- Ungleichmäßige Besetzung der anti-/parallelen Zustände
 \Rightarrow Magnetisierung

$$\vec{M} = \frac{1}{V} (N_+ - N_-) |\vec{\mu}| \vec{e}_z$$

Physikalischer Hintergrund

- Drehmoment $\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}_0$
- Differentialgleichung $\frac{d\vec{M}_{\perp}}{dt} = -\gamma \vec{M}_{\perp} \times \vec{B}_0$

Rotation mit Larmorfrequenz

$$\omega_L = \gamma B_0$$

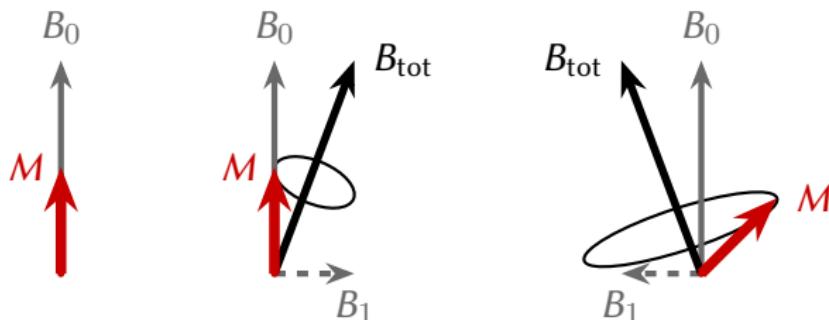


Abbildung: Auslenkung der Magnetisierung

Relaxationszeit
○○○●○○○○○○○○

Chemische Verschiebung
○○○○

Bildgebende Verfahren
○○○○○○○○○○

Diskussion
○○○

Literatur

Physikalischer Hintergrund

- 90° und 180° Pulse drehen Magnetisierung
- Messung der Magnetisierung durch Induktion

Physikalischer Hintergrund

- Zeitliche Änderung der Magnetisierung

$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = \frac{\partial \vec{M}_{\text{rot}}}{\partial t} + \gamma \vec{B}_0 \times \vec{M}$$

- Lösungen

$$M_{\parallel}(t) = M_0 \left(1 - 2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \right)$$

$$M_{\perp}(t) = M_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$$

T_2 : Spin-Spin Relaxationszeit

T_1 : Spin-Gitter Relaxationszeit

Versuchsaufbau

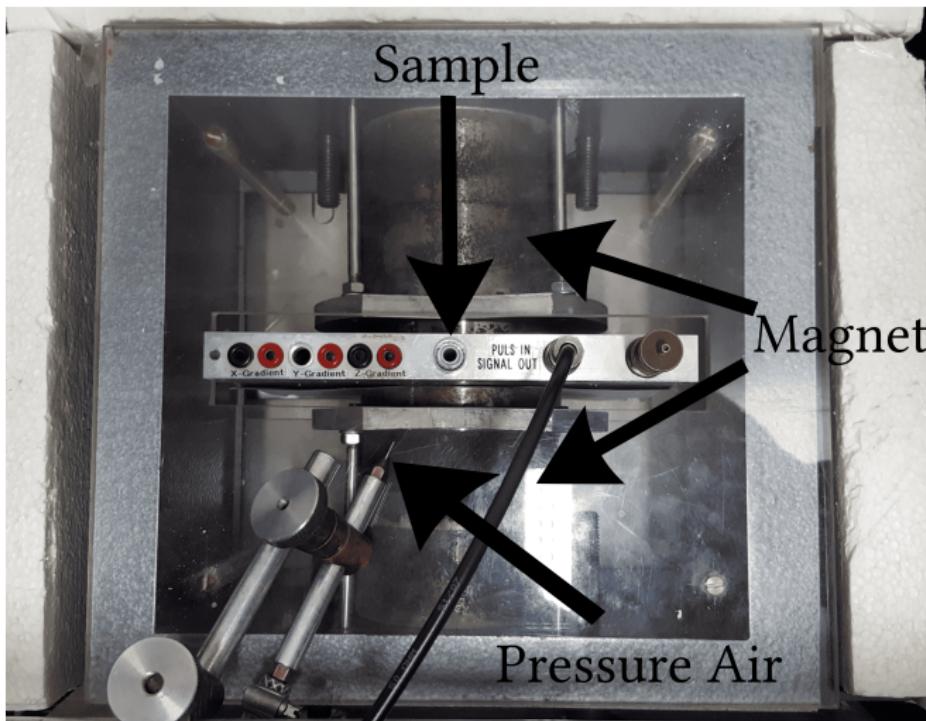


Abbildung: Magnet

Messung

Messung der Spin-Spin Relaxationszeit T_2
mit der Spin-Echo-Methode

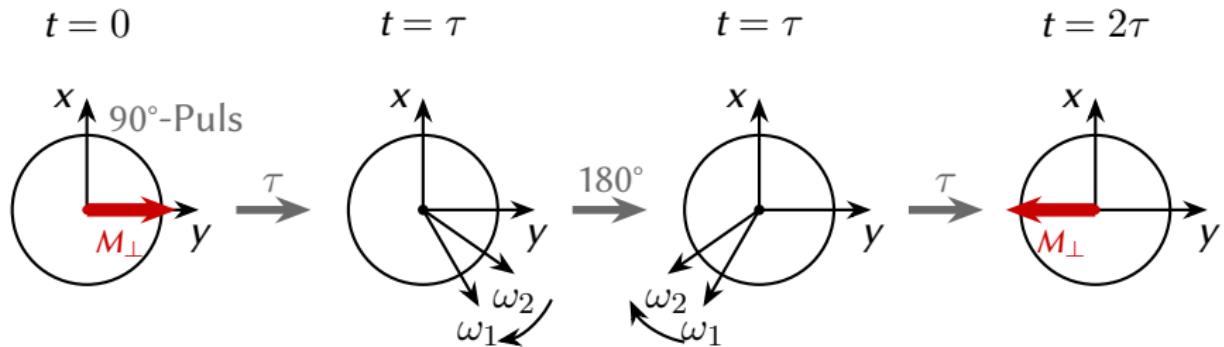


Abbildung: Spin-Echo-Methode

Messung

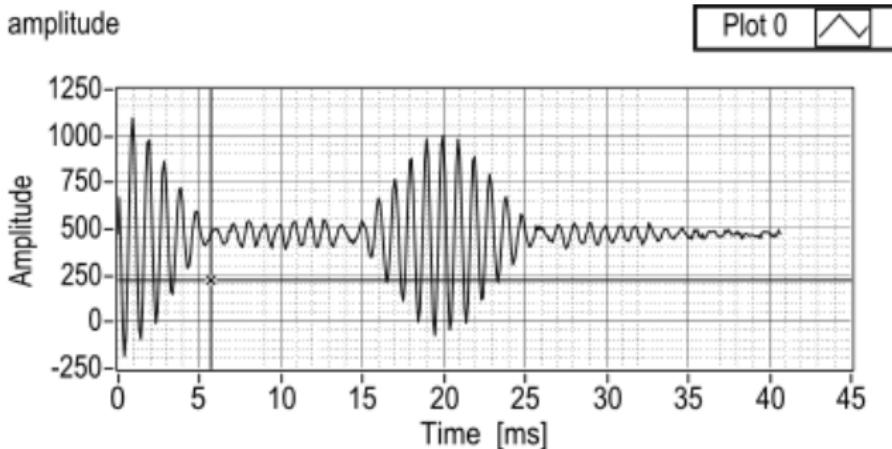


Abbildung: Signal Spin-Echo-Methode [1]

Messung

Messung der Spin-Spin Relaxationszeit T_2
mit der Carr-Purcell-Methode

$$t = \begin{cases} (2n+1)\tau : & 180^\circ \text{ Puls} \\ (2n)\tau : & \text{kohärentes Signal} \end{cases}$$

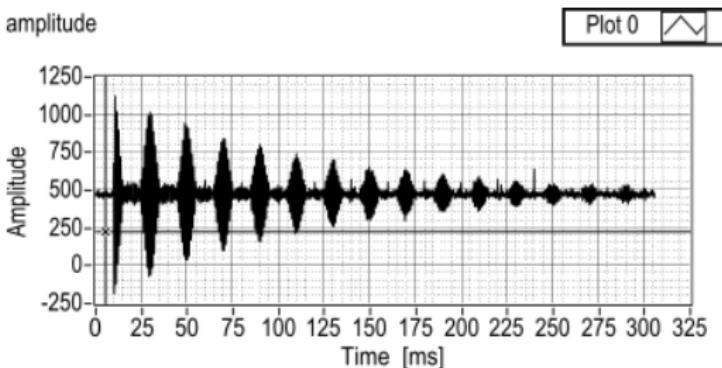
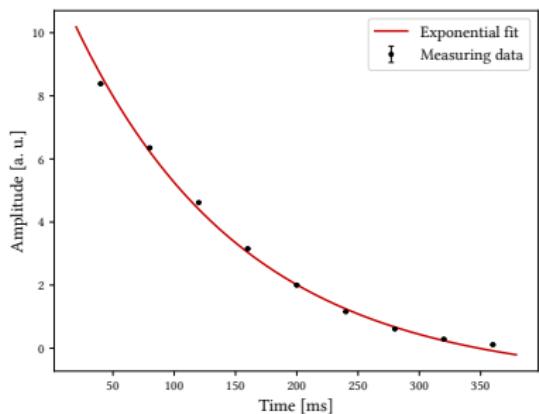


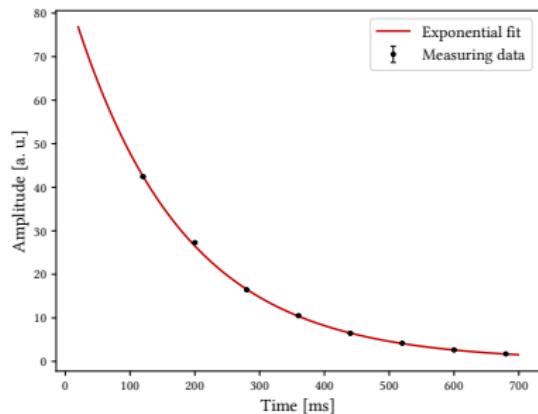
Abbildung: Signal Carr-Purcell-Methode [1]

Messung

$$M_{\perp}(t) = M_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$$



(a) Spin-Echo



(b) Carr-Purcell

Abbildung: Relaxationszeit T_2

Messung der Spin-Gitter Relaxationszeit T_1

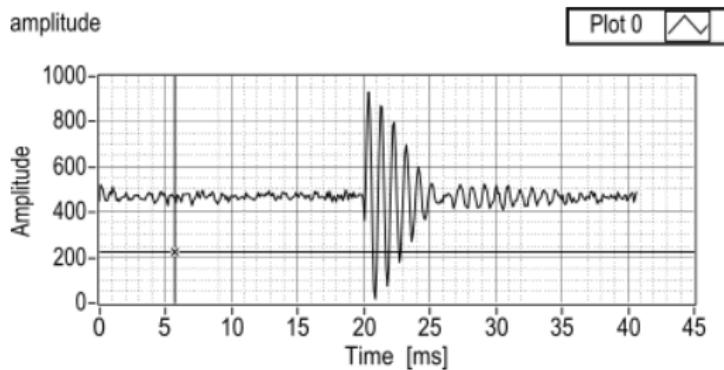
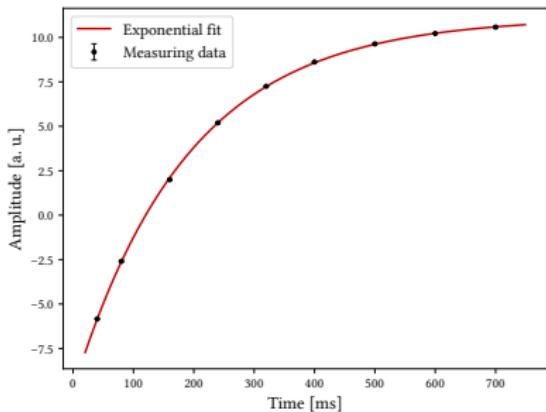


Abbildung: Spin-Gitter Relaxation [1]

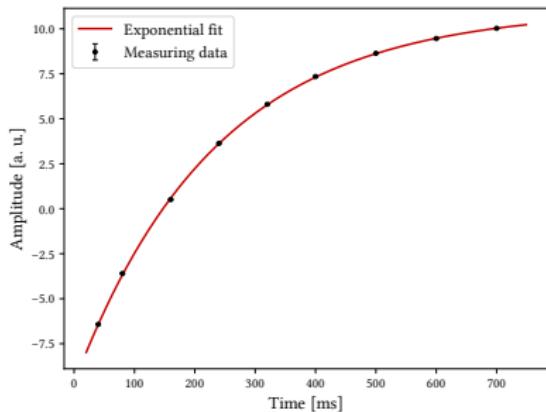
Messung

Messung der Spin-Gitter Relaxationszeit T_1 :

$$M_{||}(t) = M_0 \left(1 - 2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \right)$$



(a) Gd 500



(b) Gd 600

Abbildung: Relaxationszeit T_1

Ergebnisse

Sample	T_1 [ms]	T_2 , Spin-Echo [ms]	T_2 , Carr-Purcell [ms]
Gd500	190.0 ± 0.6	154.2 ± 0.9	170.1 ± 0.4
Gd600	234.3 ± 0.5	186.5 ± 0.9	198.2 ± 0.7

Tabelle: Gemessene Relaxationszeiten

Schlussfolgerung

- $T_{\text{Gd}500} < T_{\text{Gd}600}$
- $T_2 < T_1$
- $T_{\text{Spin-Echo}} < T_{\text{Carr-Purcell}}$

Relaxationszeit
oooooooooooo

Chemische Verschiebung
●○○○

Bildgebende Verfahren
oooooooooo

Diskussion
○○○

Literatur

Inhaltsübersicht

Relaxationszeit

Chemische Verschiebung

Bildgebende Verfahren

Diskussion

Physikalischer Hintergrund

- Abschirmung durch Elektronen führt zu

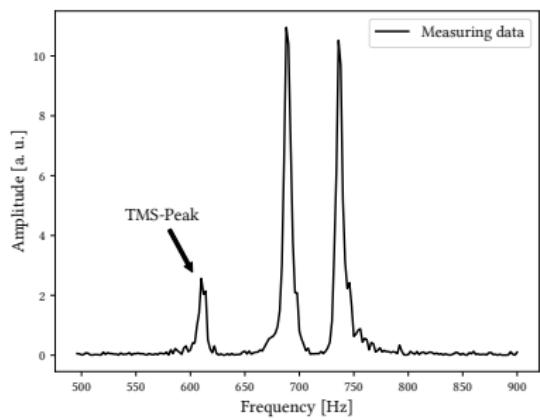
$$\omega_i = \omega_L(1 - \sigma_i)$$

Abweichung zu Referenzstoff TMS

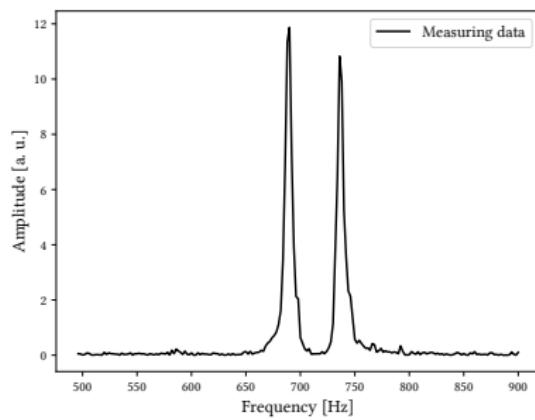
$$\delta_i = \frac{\omega_{TMS} - \omega_i}{\omega_L}$$

- Messung des Frequenzspektrums
⇒ Probe in Rotation versetzen

Messung



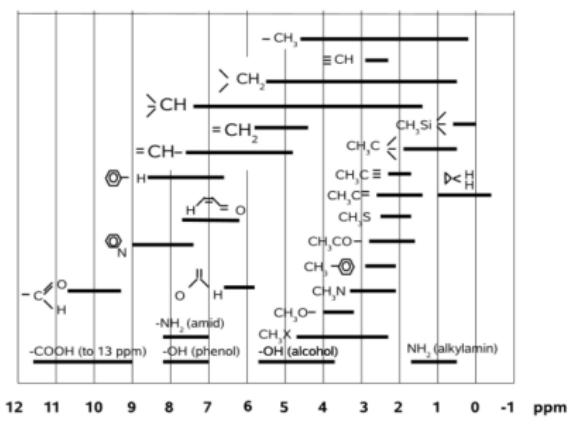
(a) mit TMS-Peak



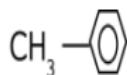
(b) ohne TMS

Abbildung: Fluoroaceton

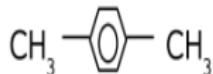
Physikalischer Hintergrund

(a) δ_i relativ zu TMS

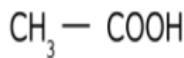
toluol



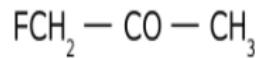
p-xylol



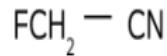
acetic acid



fluoroacetone



fluoroacetonitril



(b) Verwendete Moleküle

Abbildung: Chemische Verschiebung [1]

Relaxationszeit
oooooooooooo

Chemische Verschiebung
oooo

Bildgebende Verfahren
●oooooooo

Diskussion
ooo

Literatur

Inhaltsübersicht

Relaxationszeit

Chemische Verschiebung

Bildgebende Verfahren

Diskussion

Physikalischer Hintergrund

- Bildgebende Messverfahren benötigen \vec{B}_0 und Gradientenfelder:

$$\vec{B}_0 = (0, 0, B_0)$$

$$\vec{B}_x = (0, 0, G_x x)$$

$$\vec{B}_y = (0, 0, G_y y)$$

$$\vec{B}_z = (0, 0, G_z z)$$

- Mögliche Messmethoden:
 - Frequenz Methode
 - Phasen Methode

Physikalischer Hintergrund

Frequenz Methode:

- \vec{M}_\perp wird durch 90° Puls generiert
- Einmaliges Einschalten des Gradientenfeld
 \Rightarrow Ortsabhängige Larmorfrequenz ω_L

Phasen Methode:

- \vec{M}_\perp wird durch 90° Puls generiert
- Mehrmaliges Einschalten des Gradientenfeld
 \Rightarrow Phasendifferenz zwischen Kernen an unterschiedlichen Orten

Physikalischer Hintergrund

Kombination von Phasen/Frequenz Methode für 2D

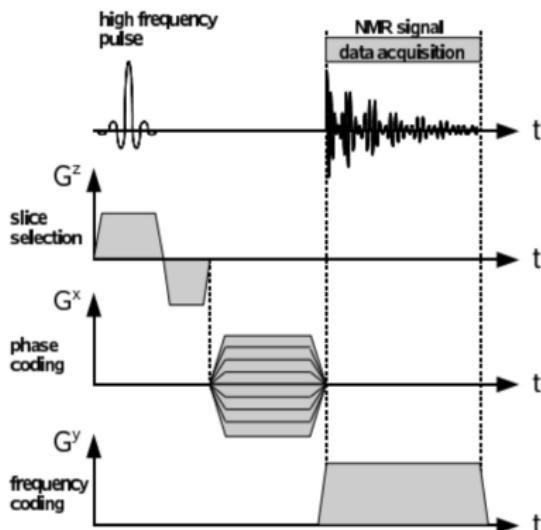


Abbildung: 2D Bildgebung [1]

Relaxationszeit
○○○○○○○○○○○○○○

Chemische Verschiebung
○○○○

Bildgebende Verfahren
○○○●○○○○

Diskussion
○○○

Literatur

Messung

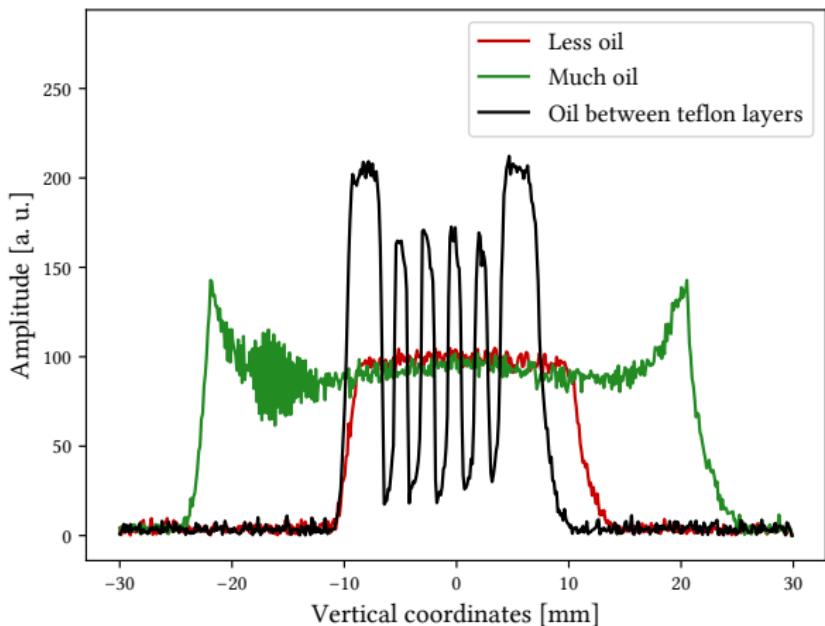


Abbildung: Öl in Reagenzglas

Messung

Fick'sches Gesetz:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2 c}{dx^2}$$

⇒ „zerlaufende“ Gaußfunktion

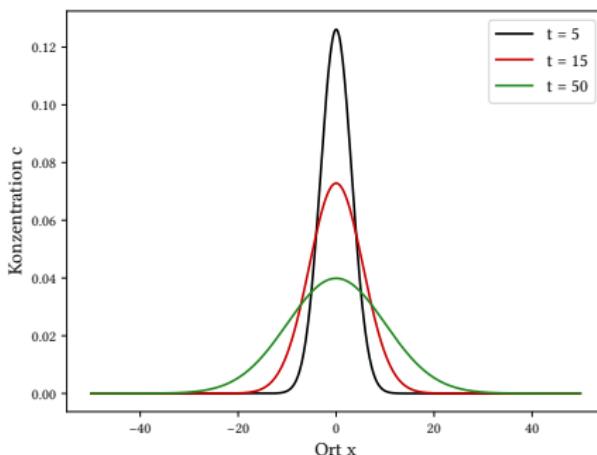


Abbildung: Diffusionsprozess

Messung

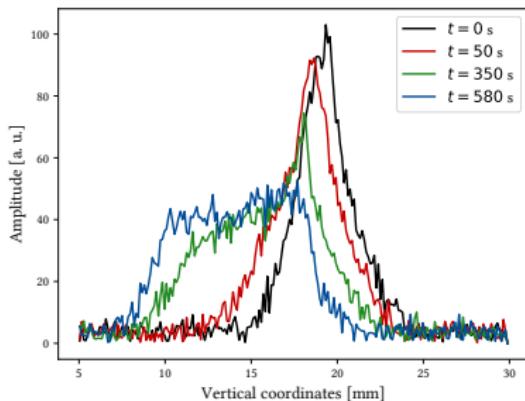


Abbildung: Versickerungsprozess von Öl in Sand

Schlussfolgerung

Diffusion spielt untergeordnete Rolle (Gravitation)

Relaxationszeit
○○○○○○○○○○○○

Chemische Verschiebung
○○○○

Bildgebende Verfahren
○○○○○○●○○

Diskussion
○○○

Literatur

Messung

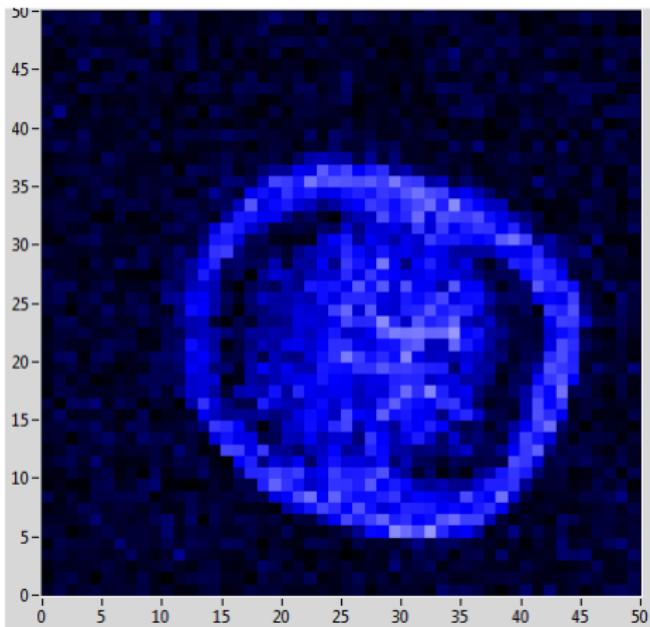


Abbildung: Chillischote

Relaxationszeit
oooooooooooo

Chemische Verschiebung
oooo

Bildgebende Verfahren
oooooooo●○

Diskussion
ooo

Literatur

Messung

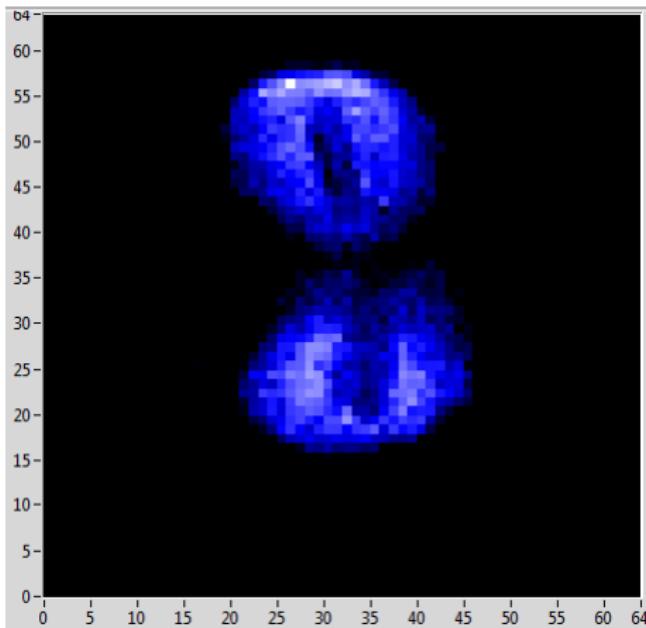


Abbildung: Erdnuss

Relaxationszeit
○○○○○○○○○○○○

Chemische Verschiebung
○○○○

Bildgebende Verfahren
○○○○○○○○●

Diskussion
○○○

Literatur

Messung

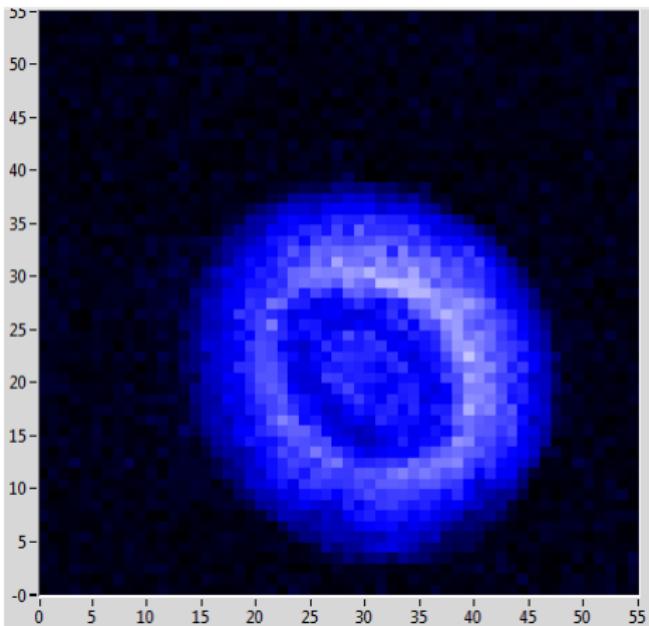


Abbildung: Olive

Relaxationszeit
oooooooooooo

Chemische Verschiebung
oooo

Bildgebende Verfahren
oooooooooo

Diskussion
●○○

Literatur

Inhaltsübersicht

Relaxationszeit

Chemische Verschiebung

Bildgebende Verfahren

Diskussion

Fazit

Contra

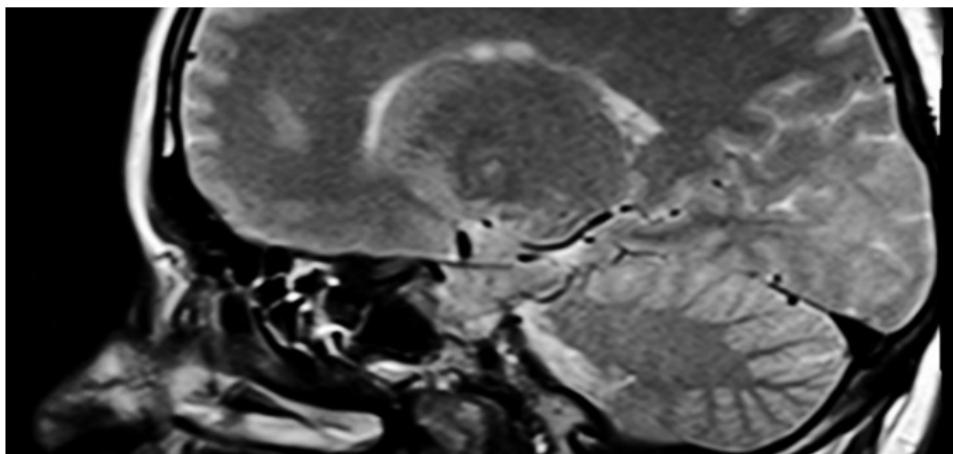
- Inhomogener Magnet
- Temperaturschwankungen

Pro

- Methode immer noch bei altem Gerät möglich
- Einblick in 2D Bildgebung

Anwendung

Medizinischer Bereich



Quelle: <http://www.gesundmed.de/diagnose/magnet-resonanz-tomografie-mrt-kerspintomografie/>

Abbildung: MRT

Relaxationszeit
oooooooooooo

Chemische Verschiebung
oooo

Bildgebende Verfahren
oooooooooooo

Diskussion
ooo

Literatur

Literatur I



R. Schicker. „Nuclear Magnetic Resonance F61/F62. Manual 2.0“. en. In: (14. Apr. 2010). URL:
[https://www.physi.uni-heidelberg.de/
Einrichtungen/FP/anleitungen/F61.pdf](https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/FP/anleitungen/F61.pdf).