# 2.9 Magnetische Resonanz Tomographie (MRT)

## Einleitung

Das Ziel dieses Praktikumsversuches ist es zum einen die gepulste Kernspinresonanz (nuclear magnetic resonance: NMR) an Hand des Wasserstoff-Kernspins in ihren physikalischen Grundzügen kennen zu lernen. Zum anderen soll das räumlich aufgelöste Verfahren der MRT angewendet werden, um tomographische 3D-Abbildungen von strukturierten Proben mit Strukturgrößen im Mikrometerbereich zu erhalten.

## Versuchsaufbau

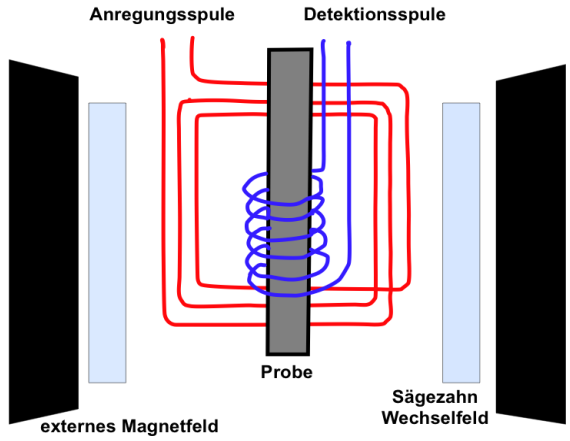



*Abb. 1: Schematische Darstellung des NMR-Messprinzips; für kontinuierliche Anregung beim Pulsverfahren kann die separate Anregungsspule (Rot) auch durch die Detektionsspule (Blau) ersetzt werden.*

Der prinzipielle Versuchsaufbau für ein kontinuierlich angeregtes NMR Experiment ist in Abb. 1 schematisch dargestellt und besteht im Wesentlichen aus einem Permanentmagneten (schwarz), der das statische externe Feld erzeugt. Dieser ist mit kleinen zusätzlichen Spulen (grau) versehen, die für das Gradientenfeld und damit für die Ortsauflösung bei der MRT sorgen. Die Anregungsspule (rot) und die Detektionsspule (blau) stehen senkrecht zueinander. Damit ist gewährleistet, dass der Anregungsschwingkreis sein Feld nur in die Detektionsspule induzieren kann, wenn die Probe in Resonanz kommt. Bei einem gepulsten Verfahren, wie es für die MRT notwendig ist kann die Anregungsspule weggelassen werden, da Anregung und Detektion nacheinander stattfinden und somit für Anregung und Detektion der exakt gleiche Schwingkreis verwendet wird, was die Abstimmung erheblich vereinfacht.

Die 1D Ortsauflösung wird durch ein Gradientenfeld gewährleistet. Eine 3D Auflösung ist nur bei einem gepulsten Spin Echo Verfahren möglich und kann durch Frequenz- und Phasenkodierung realisiert werden (siehe PHYWE Anleitung zum Versuch)

## Versuchsablauf

1. Grundlegende Einstellungen der NMR
   - Anpassung der Anregungsfrequenz an die Resonanzfrequenz
   - Einstellung der Hf-pulslänge (90° Puls) zur Festlegung des Magnetresonanzanregungswinkels
   - Minimierung magnetischer Feldinhomogenitäten zur Verbesserung der Abbildungsqualität
   - Einstellung des Spin-Echo-Verfahrens (180° Puls) zur Reduzierung der Messzeit
   - Maximierung des Signal-Rausch-Verhältnisses
2. Bestimmung der transversalen $T_2$ und longitudinalen $T_1$ Relaxationszeiten
   - Bestimmung von $T_1$
   - Bestimmung von $T_2$
3. Ortskodierung der NMR
   - eindimensionale Ortskodierung durch ein magnetisches Gradientenfeld
   - Einfluss von $T_1$ und $T_2$ auf die Umgebungsbestimmung des Wasserstoffs bei der Ortskodierung
4. Magnetresonanz Bildgebung
   - Gebrauch der Frequenz und Phasenkodierung zur Erzeugung eines Spin-Echo-Signals für 2D
   - Aufnahme von 2D-Bildern in drei Ebenen
   - Demonstration des 2D Flash Verfahrens (Verfahren zur weiteren Verringerung der Messzeit bei Erhaltung der Auflösung und leichter Reduzierung des Kontrastes durch Verkleinerung des Anregungswinkels auf bis zu 10°)
   - Abschätzung der Aufnahmezeiten für 3D-Abbildungen
   - Aufnahme einer 3D-Tomographie (über Nacht)

## Fragen und Aufgaben zur Vorbereitung

- Was ist der Kernspin eines Atoms und im speziellen eines Wasserstoff-Atoms?
- Wie lässt sich der Kernspin messen?
- Wie groß sind das gyromagnetische Verhältnis und das magnetische Moment eines Wasserstoff-Atoms?(Vergleich mit dem Elektronenspin)
- Leiten Sie eine Resonanzbedingung für die Kernspinresonanz ab.
- Was bedeuten die Relaxationszeiten $T_1$ und $T_2$?
- Was besagt die Bloch-Bloembergen-Gleichung?
- Warum ändert sich die Dämpfung der Wasserstoff-Atome in Resonanz, wenn sich die Umgebung ändert?
- Was bewirkt ein 90°, was ein 180°-Puls?
- Wie erzeugt man große Magnetfelder?
- Wozu wird in der MRT ein Gradientenfeld benötigt und was versteht man unter Frequenz- und Phasenkodierung?

- Warum ist ein Tomographieverfahren für die Elektronenspinresonanz schwierig zu realisieren?

**Nobelpreise zum Thema MRT**

2003

P. C. Lauterbur (1929-2007), Sir P. Mansfield (1933-); Weiterentwicklung des Prinzips der kernmagnetischen Resonanz (NMR) zu einer medizinischen Diagnosetechnik (MRT)

1991

R. R. Ernst (1933-); Hochauflösende 2D NMR- Spektroskopie, Methode zur Analyse von Molekülstrukturen

1952

F. Bloch (1905-1983), E. M. Purcell (1912-1997); Entdeckung der Kernspinresonanz, Methode zur Messung magnetischer Kraftfelder im Atomkern

19. Jh.

J. J. Larmor (1857-1942); Kreisfrequenz ist proportional zur Stärke des Magnetfeldes

**Literatur:**


- Gerthsen Physik, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 23. Auflage (magnetische Resonanz)
- Kittel  Festkörperphysik, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, Ausgabe 2005
- Anleitung zum MRT Versuch der Firma PHYWE Download vom F- Praktikums Bereich