

Relaxation

Dominik Weishaupt

2.1 T1: Longitudinale Relaxation – 8

2.2 T2/T2*: Transversale Relaxation – 8

Was geschieht mit den Spins, nachdem sie, wie beschrieben, angeregt worden sind? Unmittelbar nach der Anregung kreist die Magnetisierung in der XY-Ebene. Wir nennen sie deshalb jetzt *transversale Magnetisierung* M_{xy} . Ihr Kreisen erzeugt in der Empfangsspule das MR-Signal. Zwei unabhängige Vorgänge bewirken nun, dass die transversale Magnetisierung und damit das MR-Signal abnehmen und der stabile Ausgangszustand vor der Anregung wieder erreicht wird: Die Spin-Gitter-Wechselwirkung und die Spin-Spin-Wechselwirkung. Beide Vorgänge werden auch als *T1-* respektive *T2-Relaxation* bezeichnet.

2.1 T1: Longitudinale Relaxation

Mit voranschreitender Zeit klappt die Magnetisierung aus der transversalen Ebene in die Z-Richtung entlang des äußeren Magnetfeldes B_0 , wie dies bereits am Anfang dargestellt wurde. Die in der XY-Ebene verbleibende transversale Magnetisierung – genau genommen die Projektion des Magnetisierungsvektors auf die XY-Ebene (■ Abb. 2.1) – nimmt langsam ab, und entsprechend wird auch das MR-Signal immer kleiner. Dafür baut sich langsam die Längsmagnetisierung M_z – die Projektion des Magnetisierungsvektors auf die Z-Achse – wieder auf: longitudinale Relaxation.

Sie ist verbunden mit der Abgabe von Energie an die Umgebung (das „Gitter“, weshalb sie auch als Spin-Gitter-Relaxation bezeichnet wird). Die Zeitkonstante dieses Vorgangs heißt T1 und ist abhängig von der Stärke des äußeren Magnetfelds B_0 sowie der inneren Bewegung der Moleküle. Sie liegt für Gewebe (bei 1,5 T) in der Größenordnung von einer halben bis mehreren Sekunden.

2.2 T2/T2*: Transversale Relaxation

Um die transversale Relaxation zu erklären, muss zuerst der Begriff der „Phase“ klar sein. Das Wort Phase bezeichnet einen Winkel. Nehmen wir als Referenz einen Spin A, der in der XY-Ebene präzediert, und betrachten wir einen zweiten Spin B, der gleich schnell präzediert, aber dem ersten in der Drehbewegung 10° voraus ist, so können wir sagen: B hat gegenüber A eine Phase von $+10^\circ$. Entsprechend hat ein Spin C, der dem Spin A um 30° hinterherläuft, eine Phase von -30° (■ Abb. 2.2).

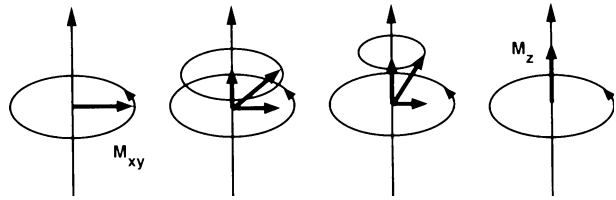
Unmittelbar nach der Anregung präzedieren ein Teil der Spins synchron, sie haben alle eine Phase von 0° . Wir sagen dann, diese Spins sind „in Phase“, und nennen dieses Phänomen Phasenkohärenz.

Aus Gründen, die wir gleich behandeln werden, geht aber mit der Zeit diese Phasenkohärenz verloren, weil einige Spins etwas voraus-, andere etwas hinterherlaufen. Die einzelnen Magnetisierungsvektoren beginnen sich gegenseitig aufzuheben, anstatt sich zu addieren. Der resultierende Gesamtvektor, die transversale Magnetisierung, wird immer kleiner und verschwindet schlussendlich, und damit verschwindet auch das MR-Signal (■ Abb. 2.3).

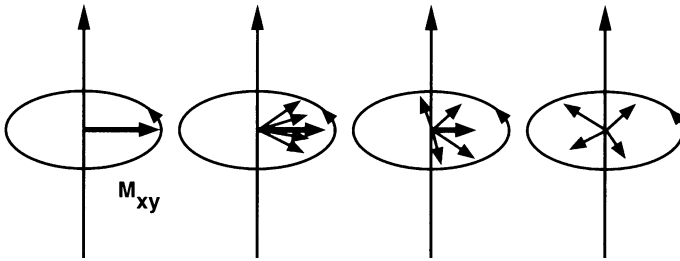
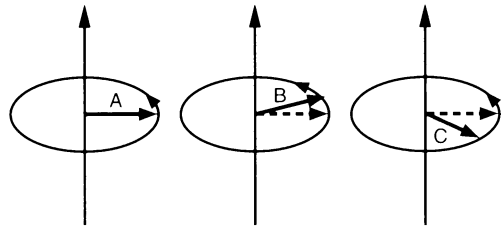
Die transversale Relaxation ist also der *Verlust der transversalen Magnetisierung* durch Außer-Phase-Geraten (*Dephasierung*) der Spins. Wichtig ist, dass dabei *keine Energieabgabe* an die Umgebung passiert, die Spins tauschen vielmehr untereinander Energie aus. Die transversale Relaxation besitzt zwei Komponenten:

- *Energieaustausch* der Spins untereinander durch fluktuierende, d. h. rasch wechselnde *lokale Magnetfeldveränderungen* aufgrund benachbarter Spins. Die Spins beeinflussen

■ **Abb. 2.1** Schematische Darstellung der T1-Relaxation: Zurückkippen der Transversalmagnetisierung in die Z-Richtung unter Abgabe von Energie an die Umgebung



■ **Abb. 2.2** Schematische Darstellung der Phase: Vektor B hat gegenüber Vektor A eine Phase von +10°, während Vektor C gegenüber Vektor A eine Phase von -30° aufweist. Achtung: Alle Vektoren drehen sich um die Z-Achse, sie sind einfach um den erwähnten Phasenwinkel gegeneinander verschoben



■ **Abb. 2.3** Schematische Darstellung von T2- und T2*-Relaxation: Verlust der Gleichphasigkeit der Spins (Dephasierung) und damit Verschwinden des Summenvektors in der XY-Ebene ohne Abgabe von Energie an die Umgebung

sich nämlich gegenseitig: Als kleine Magnete, die sie sind, verändern sie einander ständig das Magnetfeld und machen es einmal etwas stärker, dann wieder etwas schwächer. Das bedeutet aber, dass jeder Spin einmal etwas schneller, dann wieder etwas langsamer präzediert, weil ja seine Präzessionsfrequenz von der Magnetfeldstärke abhängt. So zerfällt die Phasenkohärenz, es kommt zur Dephasierung. Das ist die *reine Spin-Spin-Wechselwirkung*. Sie ist durch einen 180°-Impuls (► [Kap. 7](#)) nicht beeinflussbar. Ihre Zeitkonstante ist T2. Sie ist mehr oder weniger unabhängig von der Stärke des Magnetfeldes B_0 .

- Zeitlich konstante, d. h. immer gleich starke *Inhomogenitäten des äußeren Magnetfeldes* B_0 . Sie werden verursacht durch die Maschine selber sowie den Körper der untersuchten Person und bewirken eine zusätzliche Dephasierung, wodurch das Signal nicht mit T2, sondern rascher mit einer Zeitkonstanten T2* zerfällt. Die Relaxationszeit T2* ist in der Regel kürzer als die T2-Zeit. Der Hauptanteil der Inhomogenitäten, welche den T2*-Effekt ausmachen, tritt an Gewebegrenzflächen (z. B. Gewebe/Luft) auf oder wird durch lokale magnetische Felder (z. B. Eisenpartikel) induziert. Das mit T2* abklingende MR-Signal nennt man auch „free induction decay“ (FID). Mittels Spinechosequenzen kann der T2*-Effekt eliminiert werden.

- **T2 beschreibt den eigentlichen Prozess des Energieaustauschs unter den Spins, während weitere Inhomogenitäten zu einem zusätzlichen Phasenzерfall führen, den wir mit T2* charakterisieren.**

2

T1- und T2-Relaxation sind voneinander vollkommen unabhängig und laufen gleichzeitig ab! Tatsächlich ist es aber so, dass aufgrund der T2-Relaxation das MR-Signal bereits in den ersten 100–300 ms zerfällt, lange bevor sich die Längsmagnetisierung M_z aufgrund der T1-Relaxation wieder voll aufgebaut hat (0,5–5 s).

Wie funktioniert MRI?

Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der
Magnetresonanztomographie

Weishaupt, D.; Köchli, V.D.; Marincek, B.

2014, XII, 180 S. 77 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-41615-6