(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 43 830 B4** 2006.11.16

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 43 830.7**
(22) Anmeldetag: **13.09.2002**
(43) Offenlegungstag: **25.03.2004**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **16.11.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G01R 33/46*** (2006.01)
G01N 24/08 (2006.01)
G01R 33/48 (2006.01)
G01R 33/54 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten(§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

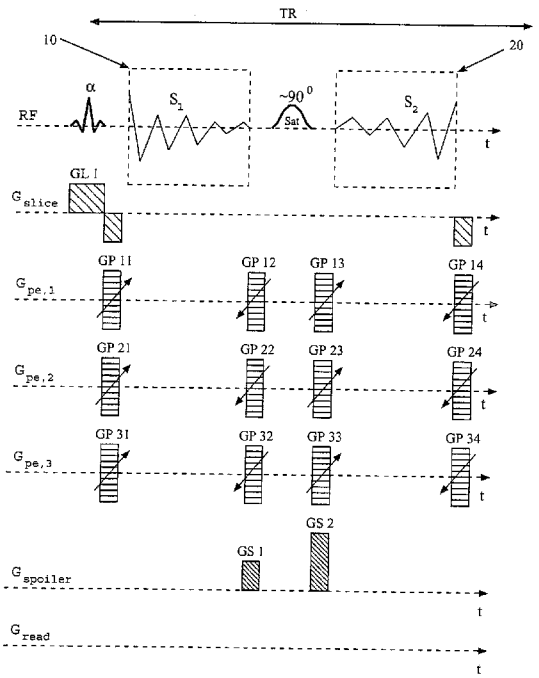
(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

(72) Erfinder:
Dreher, Wolfgang, 28359 Bremen, DE; Geppert, Christian, 28201 Bremen, DE; Althaus, Matthias, 28199 Bremen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 198 60 488 C1
DE 198 36 612 C2
DE 199 01 763 A1
"Principles of Nuclear Magnetic Resonance Microscopy", P.T. Callaghan, Clarendon Press, Oxford, 1993, S. 77-78 und S. 148-152;

(54) Bezeichnung: **Spektroskopisches Bildgebungsverfahren sowie Verwendung desselben zur Materialcharakterisierung**

(57) Hauptanspruch: Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt,
– zwischen den HF-Anregungspulsen werden in einem ersten Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten ein FID-artiges SSFP-Signal S1 und in einem vom ersten Auslesefenster separaten zweiten Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten ein Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen,
– vor dem ersten Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und
– vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren (Englisch "Spectroscopic Imaging", abgekürzt SI) unter Verwendung einer SSFP(Steady State Free Precession)-HF-Anregungspuls-Sequenz, eine Vorrichtung zur Durchführung desselben sowie die Verwendung des Bildgebungsverfahrens zur Materialcharakterisierung.

Stand der Technik

[0002] In dem Artikel "FAST^{31}P Chemical Shift Imaging Using SSFP Methods" von Oliver Speck, Klaus Scheffler und Jürgen Hennig, Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 10 (2002) ist ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SS-FP-HF-Anregungspuls-Sequenz beschrieben. Da gemäß dem dort beschriebenen Bildgebungsverfahren ein Signal ausgewertet wird, das sich aus einer Überlagerung des FID (Free Induction Decay)-artigen Signals S1 und des SSFP-Echos S2 (auch Echo-artiges Signal genannt) ergibt, sind in einem einzigen Meßdurchgang nur Signale in einem sehr kleinen Frequenzbereich auswertbar. Nachteilig ist dabei sowohl, daß die Mindestmeßzeit für mehrere Signale steigt, als auch, daß das SNR (Signal-zu-Rausch-Verhältnis, engl.: Signal-to-noise-ratio") pro Einheitsmeßzeit sinkt, da die Messungen nur sequentiell und nicht simultan erfolgen können.

Aufgabenstellung

[0003] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, mittels dessen geringere Mindestmeßzeiten realisiert werden.

[0004] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gemäß einem ersten Aspekt gelöst durch ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen: mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, zwischen den HF-Anregungspulsen werden in einem ersten Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten ein FID-artiges SSFP-Signal S1 und in einem vom ersten Auslesefenster separaten zweiten Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten ein Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen, vor dem ersten Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet.

[0005] Weiterhin wird diese Aufgabe gemäß einem zweiten Aspekt gelöst durch ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SS-FP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen: mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten nur ein FID-artiges SSFP-Signal S1 ausgelesen, vor dem Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung geschaltet.

[0006] Außerdem wird diese Aufgabe gemäß einem dritten Aspekt gelöst durch ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SS-FP-HF-Anregungspuls-Sequenz mit folgenden Merkmalen: mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten nur ein Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen, vor dem Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung geschaltet.

[0007] Darüber hinaus wird diese Aufgabe gemäß einem vierten Aspekt gelöst durch ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen: mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, und zwischen den HF-Anregungspulsen werden in einem ersten Auslesefenster unter mindestens einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten ein FID-artiges SSFP-Signal S1 und in einem vom ersten Auslesefenster separaten zweiten Auslesefenster unter mindestens einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen.

[0008] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gemäß einem fünften Aspekt der Erfindung auch gelöst durch ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen: mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, und zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster unter mindestens einem in einer Raumrichtung oszillierenden

Auslesegradienten nur ein FID-artiges SSFP-Signal S1 ausgelesen.

[0009] Eine weitere Lösung besteht gemäß einem sechsten Aspekt in einem spektroskopischen Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen: mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, und zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster unter mindestens einem in einer Richtung oszillierenden Auslesegradienten nur ein Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen.

[0010] Bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem ersten Aspekt erfolgt die Separierung der ersten und zweiten Auslesefenster vorteilhafterweise durch Schalten eines ersten Spoilergradienten zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und dem Echo-artigen SSFP-Signal S2.

[0011] Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden. Dies ist z. B. durch Einstrahlung der HF-Anregungspulse bei gleichzeitig geschaltetem Schichtselektionsgradienten möglich.

[0012] Vorteilhafterweise ist ein zweiter Spoilergradient zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und dem Echo-artigen SSFP-Signal S2 geschaltet und wird zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt. Bei dem störenden Signal kann es sich allgemein um das Signal eines dominanten Lösungsmittels, z. B. Wasser, handeln.

[0013] Vorteilhafterweise werden nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung und mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet.

[0014] Bei dem Bildgebungsverfahren kann auch vorgesehen sein, daß nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander genau zwei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in zwei Raumrichtungen und genau zwei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in zwei Raumrichtungen geschaltet werden.

[0015] Außerdem kann vorgesehen sein, daß nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander genau drei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in drei Raumrichtungen und genau drei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in drei Raumrichtungen geschaltet werden.

[0016] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind. Vorteilhafterweise sind die HF-Anregungspulse derart frequenzselektiv, daß allgemein ein störendes dominierendes Signal, wie z. B. ein Wassersignal, nicht bzw. nur wenig angeregt und/oder nicht bzw. nur wenig refokussiert wird. Eine derartige frequenzselektive Anregung und/oder Refokussierung kann insbesondere durch amplituden- und/oder frequenzmodulierte HF-Pulse oder durch Gruppen von Rechteck-HF-Anregungspulsen ("hard pulses") erfolgen.

[0017] Weiterhin kann bei dem Bildgebungsverfahren vorgesehen sein, daß vor dem ersten Auslesefenster genau zwei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in zwei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau zwei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den zwei Raumrichtungen geschaltet werden. Dies liefert eine zweidimensionale Auflösung innerhalb einer selektierten Schicht.

[0018] Andererseits kann auch vorgesehen sein, daß vor dem ersten Auslesefenster genau drei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in drei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau drei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den drei Raumrichtungen geschaltet werden. Dies liefert eine dreidimensionale Auflösung in der selektierten Schicht.

[0019] Vorteilhafterweise wird bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem zweiten Aspekt nach dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet.

[0020] Insbesondere kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

[0021] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß nach dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

[0022] Alternativ kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

[0023] Bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem dritten Aspekt kann vorgesehen sein, daß vor dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet

wird.

[0024] Insbesondere kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

[0025] Günstigerweise wird vor dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt.

[0026] Alternativ kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

[0027] Bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem zweiten Aspekt kann vorgesehen sein, daß vor dem Auslesefenster genau zwei Phasenkodiergradienten in zwei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau zwei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den zwei Raumrichtungen geschaltet werden.

[0028] Es kann auch vorgesehen sein, daß vor dem Auslesefenster genau drei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in drei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau drei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den drei Raumrichtungen geschaltet werden.

[0029] Bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem vierten Aspekt kann vorgesehen sein, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 und das Echo-artige SSFP-Signal S2 jeweils unter genau einem oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen werden, vor dem ersten Auslesefenster ein oder zwei Phasengradient(en) zur Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls ein oder zwei Phasenkodiergradient(en) zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet wird/werden. Da der oszillierende Auslesegradient bereits eine Auflösung in einer Dimension innerhalb einer selektierten Schicht liefert, trägt ein Phasengradient zur Auflösung in der zweiten Dimension und ein weiterer Phasengradient zur Auflösung in der dritten Dimension bei.

[0030] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 und das Echo-artige SSFP-Signal S2 jeweils unter genau zwei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen und vor dem ersten Auslesefenster genau ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in einer Raumrichtung geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in der Raumrichtung geschaltet werden.

[0031] Es kann auch vorgesehen sein, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 und Echo-artige SSFP-Signal S2 jeweils unter genau drei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen werden.

[0032] Günstigerweise erfolgt die Separierung der ersten und zweiten Auslesefenster durch Schalten eines ersten Spoilergradienten zwischen dem FID-artige SSFP-Signal S1 und dem Echo-artigen SSFP-Signal S2.

[0033] Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

[0034] Günstigerweise wird ein zweiter Spoilergradient zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und Echo-artigen SSFP-Signal S2 geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt.

[0035] Günstigerweise werden nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung und mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet.

[0036] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

[0037] Bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem fünften Aspekt der Erfindung wird vorteilhafterweise das FID-artige SSFP-Signal S1 unter genau einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen, vor dem Auslesefenster ein oder zwei Phasengradient(en) zur Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) und wird/werden vor dem nächsten HF-Anregungspuls ein oder zwei Phasenkodiergradient(en) zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet.

[0038] Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 unter genau zwei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird und vor dem Auslesefenster genau ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in einer Raumrichtung geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in der Raumrichtung geschaltet werden.

[0039] Auch kann vorgesehen werden, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 unter genau drei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird.

[0040] Günstigerweise wird nach dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet.

[0041] Auch kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

[0042] Vorteilhafterweise wird nach dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt.

[0043] In einer alternativen Ausführungsform kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

[0044] Bei dem Bildgebungsverfahren gemäß dem sechsten Aspekt der Erfindung kann vorgesehen sein, daß das Echo-artige SSFP-Signal S2 unter genau einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird, vor dem Auslesefenster ein oder zwei Phasengradient(en) zur Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls ein oder zwei Phasenkodiergradient(en) zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet wird/werden.

[0045] Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß das Echo-artige SSFP-Signal S2 unter genau zwei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird und vor dem Auslesefenster genau ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in einer Raumrichtung geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in der Raumrichtung geschaltet werden.

[0046] Wiederum kann vorgesehen sein, daß das Echo-artige SSFP-Signal S2 unter genau drei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird.

[0047] Vorteilhafterweise wird nach dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet.

[0048] Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

[0049] Günstigerweise wird nach dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt.

[0050] In einer alternativen Ausführungsform kann vorgesehen sein, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

[0051] Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die Signale S1 und/oder S2 mit einer einzigen HF-Spule erfaßt werden.

[0052] Alternativ kann vorgesehen sein, daß die Signale S1 und/oder S2 mit mindestens zwei HF-Spulen mit räumlich unterschiedlichen Empfindlichkeitsprofilen erfaßt werden. In jeder HF-Spule werden parallel Signale erfaßt. Dadurch kann dann für eine definierte Voxelgröße und Voxelzahl die Zahl der notwendigen Phasenkodierschritte gesenkt werden ("parallel imaging"). Hinsichtlich Einzelheiten hierzu wird auf K: Pruessmann, M. Weiger, M.B. Scheidegger, P. Boesiger: "SENSE: Sensitivity encoding for fast MRI", Magn. Reson. Med. 42, 952-962 (1999) verwiesen, dessen Inhalt hierzu durch Bezugnahme aufgenommen wird.

[0053] Außerdem wird auch noch die Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 49 zur Materialcharakterisierung vorgeschlagen.

[0054] Schließlich wird auch die Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 49 zur Untersuchung von Alterungsprozessen vorgeschlagen.

[0055] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß mit den erfindungsgemäß spektroskopischen Bildgebungsverfahren die bei Verwendung von SSFP-Sequenzen in der MRI (Magnetic Resonance Imaging) erzielbaren Vorteile, wie insbesondere geringe Mindestmeßzeiten (d.h. die Zeit, die notwendig ist, um einen vollständigen Datensatz aufzunehmen) und hohe SRN ebenfalls erzielt werden können. Besonders kurz sind die Mindestmeßzeiten, wenn die Signale unter einem oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen werden. Diese liegen deutlich unter den Gesamtmeßzeiten der zur Zeit an klinischen Kernspintomographiegeräten verfügbaren Pulssequenzen. Dabei ist ein breiterer Einsatz der erfindungsgemäßen spektroskopischen Bildgebungsverfahren an klinischen und/oder anderen (z. B. kleineren Systemen für Tierexperimente, Materialuntersuchungen o.a.) Kernspintomographiegeräten denkbar.

[0056] Die erfindungsgemäßen spektroskopischen Bildgebungsverfahren stellen nur geringe Anforderungen an die Hardware (Magnetfeld (B_0)-Gradienten, HF-Leistung u.a.) und lassen sich günstig skalieren, wenn die Messungen bei höheren Magnetfeldstärken erfolgen. Der Einsatz höherer Magnetfelder

ist aber gerade ein Haupttrend für die klinischen oder anderen Einsatzgebiete der Kernspintomographie/spektroskopie.

[0057] Weitere Vorteile der erfindungsgemäßen spektroskopischen Bildgebungsverfahren sind:

– SNR pro Einheitsmeßzeit (SNR_t)
Das SNR kann speziell für angekoppelte Signale höher als bei anderen bisher bekannten spektroskopischen Bildgebungsverfahren sein. Auch für J-gekoppelte Signale ist eine Optimierung möglich (Repetitionszeit TR in Abhängigkeit von T_2 (Spin-Spin-Relaxationszeit) und J-Kopplung).

- räumliche Auflösung
Wenn Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung der räumlichen information eingesetzt werden, werden Verluste in der räumlichen Auflösung vermieden, die durch den Signalabfall mit T_2 bzw. T_2* (effektive transversale Relaxationszeit) verursacht werden, wie er z. B. in U-FLARE oder RARE (Rapid Acquisition with Relaxation Enhancement)-basierten Sequenzen auftritt. Auch bei Verwendung eines oszillierenden Auslesegradienten ist die Verringerung der räumlichen Auflösung nahezu vernachlässigbar.

[0058] Das ausschließliche Auslesen des FID-Signals S1 ermöglicht insbesondere auch Detektion von Signalen, die eine kurze T_2 haben und daher nicht oder nur mit geringer Intensität zum Echo-artigen SSFP-Signal S2 beitragen. Das SNR ist aufgrund der geringen T_2 höher als für das Echo-artige SSFP-Signal S2. Zudem erfolgt der Beginn der Detektion von S1 bereits nur kurz nach der Signalanregung (typischerweise wenige ms), da die Phasenmodulation von J-gekoppelten Signalen, die insbesondere zu Signalverlusten von Multiplettsignalen führen, sehr gering ist.

[0059] Das ausschließliche Auslesen des SSFP-Signals S2 ermöglicht insbesondere die Detektion von Signalen mit längerer T_2, nicht aber von Signalen mit kurzer T_2. Es sind Singulett-Signale (ohne J-Kopplung) detektierbar, aber auch J-gekoppelte Signale, wobei der Abstand der HF-Anregungspulse deren Intensität stark beeinflußt. Dadurch können – abhängig vom Abstand der HF-Anregungspulse – sowohl J-gekoppelte Signale mit gutem SNR detektiert als auch bewußt unterdrückt werden (um z. B. die Überlagerung mit einem anderen Signal zu vermeiden). Vorteilhaft ist insbesondere die einfachere (und stärkere) Unterdrückung störender Signale (z. B. Wasser und Lipidsignale in der ^{1}H-NMR). Dies kann nicht nur durch den unterschiedlichen T_2-Einfluß hervorgerufen werden, sondern auch durch den Einsatz frequenzselektiver HF-Anregungsimpulse, da sowohl die frequenzselektive Anregung als auch (die ein- oder mehrmalige) frequenzselektive Refokussierung des Signals eine bessere Unterdrückung der störenden Signale bewirkt.

[0060] Durch das Auslesen beider Signale S1 und S2 in benachbarten Auslesefenstern können die Vorzüge der spektroskopischen Bildgebungsverfahren mit ausschließlichem Auslesen der jeweiligen S1 und S2 genutzt werden, jedoch mit dem Nachteil, daß natürlich bei gegebener Repetitionszeit der HF-Anregungspulse für das Auslesen jedes einzelnen S1 und S2 weniger Auslesezeit im Vergleich zu der ausschließlichen Auslesung zur Verfügung steht.

[0061] Im übrigen kann die Repetitionszeit TR derart optimiert werden, daß eine Auswertung der Meßzeiten entweder im Frequenzbereich erfolgt (Rekonstruktion z. B. durch Fourier-Transformation) nach Einsatz spezieller Apodisationsfunktionen (Datenvorverarbeitung) und/oder mit Hilfe von Verfahren der Datenextrapolation des gemessenen Zeitsignals oder durch Analyse im Zeitbereich (Anpassen von Modellfunktionen) erfolgen kann. Dabei werden sowohl eine hinreichende spektrale Auflösung als auch ein ausreichendes SNR erzielt. Die optimiale Repetitionszeit TR hängt dabei von T_1 (Spin-Gitter-Relaxationszeit), T_2, T_2* sowie der notwendigen bzw. gewünschten Breite und Auflösung des Spektrums ab. Speziell die Detektion der Signale J-gekoppelter Spins kann dadurch optimiert werden, daß die Repetitionszeit TR zudem in Abhängigkeit von der Multiplettstruktur und den J-Kopplungskonstanten gewählt wird.

[0062] Wenn in einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen spektroskopischen Bildgebungsverfahren allgemein ein störendes dominantes Signal (D1, D2), wie z. B. ein Wassersignal, unterdrückt wird, so ermöglicht dies den Einsatz bei der Protonenspektroskopie (1H)-SI, was z. Z. den größten Teilbereich der SI für klinische Anwendungen darstellt.

Ausführungsbeispiel

[0063] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und der nachstehenden Beschreibung, in der mehrere Ausführungsbeispiele anhand der schematischen Zeichnungen erläutert sind. Dabei zeigen:

[0064] Fig. 1 bis Fig. 7 Anregungs- und Gradientenschemata gemeinsam mit Signalen von spektroskopischen Bildgebungsverfahren gemäß besonderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung; und

[0065] **Fig.** 8 Beispiele für mit einem spektroskopischen Bildgebungsverfahren gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzielte Meßergebnisse.

[0066] Bevor auf die einzelnen Figuren eingegangen wird, muß vorausgeschickt werden, daß die Anregungspuls- und Gradientenschemata schematisch

gemeint und insbesondere nicht maßstäblich gezeigt sind. Ferner können einige aufeinanderfolgende Gradienten gleichzeitig angewendet werden, was hier aber aus Gründen der Übersichtlichkeit bzw. Lesbarkeit der Schemata vermieden wurde. Zudem sind grundsätzlich jeweils sieben Spuren (RF (HF-Anregungspulse und Signal(e)), $G_{pe,1}$, $G_{pe,2}$, $G_{pe,3}$, $G_{spoiler}$, G_{slice}, G_{read}) eingezeichnet, auch wenn einige nicht verwendet werden. Für die praktische Umsetzung sind dann die sechs Gradientenspuren auf die drei physikalischen Gradienten (G_x, G_y, G_z) durch Überlagerung umzusetzen.

[0067] Weiterhin ist speziell für die Verwendung eines schichtselektiven HF-Anregungspulses der Einsatz eines dritten Phasenkodiergradienten optional.

[0068] Die Raumrichtungen für die Phasenkodier-, Schichtselektions- und Auslesegradienten sollten vorzugsweise paarweise orthogonal sein, auch wenn dies nicht zwingend ist. Die Spoilergradienten können in einem anderen Winkel dazu stehen, da sie durch Summation mehrerer Gradienten (x, y, z) entstehen (können).

[0069] Schließlich wird durch die gestrichelt dargestellten Kästchen ein jeweiliges Auslesefenster angegeben.

[0070] Das in der Fig. 1 dargestellte Anregungspuls- und Gradientenschema zeigt ein spektroskopisches Bildgebungsverfahren gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, das auf einer FADE (Fast Acquisition Double Echo (hinsichtlich Einzelheiten wird auf "FADE – A New Fast Imaging Sequence", T. W. Redpath, R. A. Jones, Magnetic Resonace in Medicine 6, 224 bis 234 (1988) verwiesen)-SSFP-Sequenz basiert. Durch Einstrahlen eines HF-Anregungspulses mit einem Flipwinkel α unter einem Schichtselektionsgradienten GL1 auf ein Untersuchungsobjekt erfolgt eine schichtselektive Anregung.

[0071] Zur dreidimensionalen Ortsauflösung in einer selektierten Schicht werden vor einem ersten Auslesefenster 10 die Phasenkodiergradienten GP11, GP21 und G31 geschaltet, wobei nach einem zweiten Auslesefenster 20 mittels der Phasenkodiergradienten GP14, GP24 und GP34 die Phasenkodierung rückgängig gemacht wird.

[0072] Aufgrund der Abwesenheit eines Magnetfeldgradienten während des Auslesens des FID-Signals S1 und des SSFP-Signals S2 wird neben der räumlichen Signalverteilung auch die Information der chemischen Verschiebung (spektrale Verteilung) erfaßt.

[0073] Die Separierung der ersten und zweiten Auslesefenster 10 und 20 erfolgt durch Schalten eines ersten Spoilergradienten GS1 zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und Echo-artigen SSFP-Signal S2. Weiterhin wird ein zweiter Spoilergradient GS2 zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und dem SSFP-Echo S2 geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten GS1 und GS2 ein frequenzselektiver Sättigungspuls Sat zur Unterdrückung eines Störsignals, hier Wassersignals, eingestrahlt.

[0074] Sicherheitshalber werden nach dem ersten Auslesefenster die Phasenkodierungen durch die GP11, GP21 und GP31 mittels Schaltung der Phasenkodiergradienten GP12, GP22 und GP32 rückgängig gemacht und vor dem zweiten Auslesefenster erneute Phasenkodierungen durch Schalten der Phasenkodiergradienten GP13, GP23 und GP33 vorgenommen.

[0075] Die für die hier zur Messung an Phantomen (Modellösungen) oder an einem Rattengehirn verwendete Magnetfeldstärke von B_0 = 4,7 T typischen Repetitionszeiten TR liegen im Bereich von 60 bis 120 ms. Der Sättigungspuls Sat weist eine Länge im Bereich von 10 bis 15 ms auf. Bevor eine Messung erfolgt, wird eine Zahl Dummy-Meßzyklen durchgeführt, um den dynamischen Gleichgewichtszustand (SSFP-Zustand) zu erreichen. Die Zahl der Dummy-Meßzyklen beträgt typischerweise 64 bis 128 Zyklen. Das FOV (Field-Of-View) weist eine Größe von 48 mm × 48 mm × 48 mm oder 32 mm × 32 mm × 32 mm auf, wobei es nicht notwendigerweise in x, y und z gleichgroß sein muß.

[0076] Die Zahl der Kodierschritte je Raumrichtung beträgt in diesem Beispiel 8, 16 oder 32 (nicht notwendig ein Vielfaches von 2, kann auch in den Raumrichtungen unterschiedlich sein, wobei die Zahl in einer Richtung vom Index in einer/der anderen Richtung abhängen kann).

[0077] Das in der Fig. 2 gezeigte Anregungspuls- und Gradientenschema gehört zu einem spektroskopischen Bildgebungsverfahren gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung, das auf einer FAST (Fourier Acquired Study State) (auch FISP (Fast Imaging with Study Precession) oder GRASS (GRAdient-Recalled Study State) genannt, wobei hinsichtlich Einzelheiten auf "Fast Field Echo Imaging: In Overview and Contrast Calculations", P. von der Meulen, J. P. Groen, A. M. C. Tinus, G. Bruntink, Magnetic Resonance Imaging, Band 6, Seiten 355 bis 368, 1988 verwiesen wird)-SSFP-Sequenz basiert. Genau wie in der Ausführungsform von Fig. 1 wird ein schichtselektiver HF-Anregungspuls mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt. Vor dem einzigen Auslesefenster 15 werden zur dreidimensionalen Phasenkodierung Phasenkodiergradienten GP11, GP21 und GP31 geschaltet, wobei die Phasenkodierung vor dem nächs-

ten HF-Anregungspuls (nicht gezeigt) durch Phasenkodiergradienten GP14, GP24 und GP34 rückgängig gemacht werden.

[0078] Die Unterdrückung des Echo-artigen SSFP-Signals S2 erfolgt durch Schaltung eines ersten Spoilergradienten GS1 nach dem Auslesefenster 15. Zusätzlich wird nach dem Auslesefenster 15 ein zweiter Spoilergradient GS2 geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten GS1 und GS2 ein frequenzselektiver Sättigungspuls Sat zur Unterdrückung eines Wassersignals eingestrahlt. Der Sättigungspuls Sat ist optional. Wenn er nicht vorgesehen ist, können die Spoilergradienten GS1 und GS2 zur Unterdrückung des SSFP-Echos S2 auch zusammengefaßt werden. Das Auslesen des FID-artigen SSFP-Signals S1 in dem einzigen Auslesefenster 15 erfolgt ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten.

[0079] Die Fig. 3 zeigt ein Anregungspuls- und Gradientenschema eines spektroskopischen Bildgebungsverfahrens gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung, das auf einer CE-FAST (Contrast Enhanced FAST) (auch PSIF (Time Reversed FISP) genannt))-SSFP-Sequenz basiert.

[0080] Genau wie in den Ausführungsformen gemäß den Fig. 1 und Fig. 2 wird ein schichtselektiver HF-Anregungspuls mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt. Vor dem einzigen Auslesefenster 25 wird eine dreidimensionale Phasenkodierung wie in den Ausführungsformen gemäß den Fig. 1 und Fig. 2 vorgenommen, die nach dem Auslesefenster 25 durch Schaltung der Phasenkodiergradienten GP14, GP24 und GP34 wieder rückgängig gemacht wird. Zum Unterdrücken des FID-Signals S1 wird vor dem Auslesefenster 25 ein erster Spoilergradient GS1 geschaltet. Zusätzlich wird vor dem Auslesefenster 25 ein zweiter Spoilergradient GS2 geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten GS1 und GS2 ein frequenzselektiver Sättigungspuls Sat zur Unterdrückung eines Wassersignals eingestrahlt. Das Auslesen des Echo-artigen SSFP-Signals S2 in dem einzigen Auslesefenster 25 erfolgt ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten.

[0081] Die Fig. 4 zeigt ein Anregungspuls- und Gradientenschema eines spektroskopischen Bildgebungsverfahrens gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung, das sich von dem in der Fig. 1 gezeigten dadurch unterscheidet, daß anstelle eines schichtselektiven HF-Anregungspulses ein frequenzselektiver HF-Anregungspuls in Form von Rechteckpulsen ("Hard Pulses") vorliegt, wodurch für die ^{1}H-NMR auch auf eine Unterdrückung des Wassersignals mittels eines Sättigungspulses verzichtet werden kann. Zur Trennung der beiden Auslesefenster 10 und 20 reicht daher ein einziger Spoilergradient GS1 aus. Ebenfalls ist auch die Schaltung der Phasenkodiergradienten GP12, GP22 und GP32 sowie GP31, GP23 und GP33 weggefallen.

[0082] Durch die frequenzselektive (chemical shift-selective) Anregung/Refokussierung durch eine optimierte Gruppe von Rechteck-HF-Anregungspulsen werden die Metabolitensignale angeregt bzw. refokussiert, aber nicht (oder nur geringfügig) das Wassersignal. Die für die hier zur Messung an Phantomen oder an einem Rattengehirn verwendete Magnetstärke von B_0 = 4,7T typische Repetitionszeit TR liegt im Bereich von 30 bis 120 ms. Bevor die Messung erfolgt, wird eine Zahl von Dummy-Meßzyklen durchgeführt, um den dynamischen Gleichgewichtszustand zu erreichen. Die Zahl von Dummy-Meßzyklen beträgt typischerweise 64 bis 128. Das FOV weist die Abmessungen 48 mm × 48 mm × 48 mm oder 32 mm × 32 mm × 32 mm auf, wobei es nicht notwendigerweise in x, y und z gleichgroß sein muß. Die Zahl der Kodierschritte je Raumrichtung beträgt 8, 16 oder 32 (nicht notwendig ein Vielfaches von 2, kann in den Raumrichtungen unterschiedlich sein, wobei die Zahl der Richtungen vom Index in einer/der anderen Richtung abhängen kann).

[0083] Die Fig. 5 zeigt ein Anregungspuls- und Gradientenschema eines spektroskopischen Bildgebungsverfahrens gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung, das sich von der Ausführungsform gemäß Fig. 2 dadurch unterscheidet, daß anstelle eines schichtselektiven HF-Anregungspulses ein frequenzselektiver HF-Anregungspuls verwendet wird, wodurch auch auf die Einstrahlung eines Sättigungpulses und auf den Spoilergradienten GS2 verzichtet werden kann. Die Unterdrückung des Echo-artigen SSFP-Signals S2 erfolgt durch Schaltung des Spoilergradienten GS1.

[0084] Die Fig. 6 zeigt ein Anregungspuls- und Gradientenschema eines spektroskopischen Bildgebungsverfahrens gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung, das sich von der Ausführungsform gemäß Fig. 3 darin unterscheidet, daß anstelle eines schichtselektiven HF-Anregungspulses ein frequenzselektiver HF-Anregungspuls in Form von Rechteck-Pulsen ("Hard Pulses") verwendet wird, wodurch auch auf einen Sättigungspuls Sat zur Unterdrückung eines Wassersignals und einen Spoilergradienten GS2 verzichtet werden kann. Die Unterdrückung des FID-artigen SSFP-Signals S1 erfolgt durch die Schaltung des Spoilergradienten GS1.

[0085] Die Fig. 7 zeigt ein Anregungspuls- und Gradientenschema eines spektroskopischen Bildgebungsverfahrens gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung, das sich von der Ausführungsform gemäß Fig. 2 dadurch unterschei-

det, daß lediglich zwei Phasenkodiergradienten GP11 und GP21 vor dem Auslesefenster **15** geschaltet und nach dem Auslesefenster **15** zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung die Phasenkodiergradienten GP14 und GP24 geschaltet werden.

[0086] Weiterhin unterscheidet sich die in der Fig. 7 gezeigte Ausführungsform von der in der Fig. 2 gezeigten Ausführungsform darin, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 in dem Meßfenster **15** unter einem oszillierenden Auslesegradienten G_{read} ausgelesen wird. Dies liefert zusammen mit der zweidimensionalen Phasenkodierung eine dreidimensionale Auflösung in einer selektierten Schicht.

[0087] Schließlich zeigt die **Fig.** 8 Meßergebnisse des spektroskopischen Bildgebungsverfahrens gemäß Fig. 1 an einem kugelförmigen Phantom, das mit 100mM NAA gefüllt ist. Fig. 8a zeigt das anhand der Auswertung des FID-artigen SSFP-Signals S1 erhaltene Spektrum, Fig. 8b zeigt das anhand der Auswertung des Echo-artigen SSFP-Signals S2 erhaltene Spektrum (TR = 69 ms, 16 × 16 PE-Schritte, $T_{Meß}$ = 17s) und Fig. 8c zeigt die Abbildung des CH_3-Signals von NAA, das sich anhand des Echo-artigen SSFP-Signals S2 ergibt (TR = ...ms, 32 × 32 PE-Schritte, $T_{Meß}$ = 68s).

[0088] Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebigen Kombinationen für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

10 erstes Auslesefenster
15 Auslesefenster
20 zweites Auslesefenster
25 Auslesefenster

Patentansprüche

1. Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt,
– zwischen den HF-Anregungspulsen werden in einem ersten Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten ein FID-artiges SSFP-Signal S1 und in einem vom ersten Auslesefenster separaten zweiten Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten ein Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen,
– vor dem ersten Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und
– vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet.

2. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Separierung der ersten und zweiten Auslesefenster durch Schalten eines ersten Spoilergradienten zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und dem Echo-artigen SSFP-Signal S2 erfolgt.

3. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

4. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Spoilergradient zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und dem Echo-artigen SSFP-Signal S2 geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

5. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung und mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet werden.

6. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander genau zwei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in zwei Raumrichtungen und genau zwei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in zwei Raumrichtungen geschaltet werden.

7. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander genau drei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in drei Raumrichtungen und genau drei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in drei Raumrichtungen geschaltet werden.

8. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

9. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem ersten Auslesefenster genau zwei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in zwei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anre-

gungspuls genau zwei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den zwei Raumrichtungen geschaltet werden.

10. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem ersten Auslesefenster genau drei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in drei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau drei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den drei Raumrichtungen geschaltet werden.

11. Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt,
– zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten nur ein FID-artiges SSFP-Signal S1 ausgelesen,
– vor dem Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und
– vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung geschaltet.

12. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet wird.

13. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

14. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

15. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

16. Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt,
– zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster ohne Vorliegen eines Magnetfeldgradienten nur ein Echo-artigen SSFP-Signal S2 ausgelesen,
– vor dem Auslesefenster wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet, und
– vor dem nächsten HF-Anregungspuls wird mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung geschaltet.

17. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet wird.

18. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

19. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

20. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

21. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Auslesefenster genau zwei Phasenkodiergradienten in zwei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau zwei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den zwei Raumrichtungen geschaltet werden.

22. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Auslesefenster genau drei Phasenkodiergradienten zur Phasenkodierung in drei Raumrichtungen geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau drei Phasenkodiergradienten zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in den drei Raumrichtungen geschaltet werden.

23. Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, und
– zwischen den HF-Anregungspulsen werden in einem ersten Auslesefenster unter mindestens einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten ein FID-artiges SSFP-Signal S1 und in einem vom ersten Auslesefenster separaten zweiten Auslesefenster unter mindestens einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen.

24. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das FID-artige SSFP-Si-

gnal S1 und das Echo-artige SSFP-Signal S2 jeweils unter genau einem oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen werden, vor dem ersten Auslesefenster ein oder zwei Phasengradient(en) zur Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls ein oder zwei Phasenkodiergradient(en) zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet wird/werden.

25. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 und das Echo-artige SSFP-Signal S2 jeweils unter genau zwei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen und vor dem ersten Auslesefenster genau ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in einer Raumrichtung geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in der Raumrichtung geschaltet werden.

26. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 und Echo-artige SSFP-Signal S2 jeweils unter genau drei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen werden.

27. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Separierung der ersten und zweiten Auslesefenster durch Schalten eines ersten Spoilergradienten zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und dem Echo-artigen SSFP-Signal S2 erfolgt.

28. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

29. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Spoilergradient zwischen dem FID-artigen SSFP-Signal S1 und Echo-artigen SSFP-Signal S2 geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

30. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem ersten Auslesefenster und vor dem zweiten Auslesefenster nacheinander mindestens ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung der Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung und mindestens ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in mindestens einer Raumrichtung geschaltet werden.

31. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

32. Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, und
– zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster unter mindestens einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten nur ein FID-artige SSFP-Signal S1 ausgelesen.

33. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 unter genau einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird, vor dem Auslesefenster ein oder zwei Phasengradient(en) zur Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls ein oder zwei Phasenkodiergradient(en) zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet wird/werden.

34. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 unter genau zwei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird und vor dem Auslesefenster genau ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in einer Raumrichtung geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in der Raumrichtung geschaltet werden.

35. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß das FID-artige SSFP-Signal S1 unter genau drei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird.

36. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 32 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet wird.

37. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 32 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

38. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

39. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 32 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

40. Spektroskopisches Bildgebungsverfahren unter Verwendung einer SSFP-HF-Anregungspuls-Sequenz, mit folgenden Merkmalen:
– mit einer Repetitionszeit (TR) werden HF-Anregungspulse mit einem Flipwinkel α auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt, und
– zwischen den HF-Anregungspulsen wird in einem einzigen Auslesefenster unter mindestens einem in einer Richtung oszillierenden Auslesegradienten nur ein Echo-artiges SSFP-Signal S2 ausgelesen.

41. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß das Echo-artige SSFP-Signal S2 unter genau einem in einer Raumrichtung oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird, vor dem Auslesefenster ein oder zwei Phasengradient(en) zur Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls ein oder zwei Phasenkodiergradient(en) zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in einer oder zwei Raumrichtung(en) geschaltet wird/werden.

42. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß das Echo-artige SSFP-Signal S2 unter genau zwei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird und vor dem Auslesefenster genau ein Phasenkodiergradient zur Phasenkodierung in einer Raumrichtung geschaltet und vor dem nächsten HF-Anregungspuls genau ein Phasenkodiergradient zur Rückgängigmachung einer Phasenkodierung in der Raumrichtung geschaltet werden.

43. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß das SSFP-Echo S2 unter genau drei in unterschiedlichen Raumrichtungen oszillierenden Auslesegradienten ausgelesen wird.

44. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 40 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Auslesefenster ein erster Spoilergradient geschaltet wird.

45. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 40 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse schichtselektiv eingestrahlt werden.

46. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Auslesefenster ein zweiter Spoilergradient geschaltet und zwischen den ersten und zweiten Spoilergradienten ein frequenzselektiver Sättigungspuls zur Unterdrückung eines störenden Signals eingestrahlt wird.

47. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 40 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß die HF-Anregungspulse frequenzselektiv sind.

48. Bildgebungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Signale S1 und/oder S2 mit einer einzigen HF-Spule erfaßt werden.

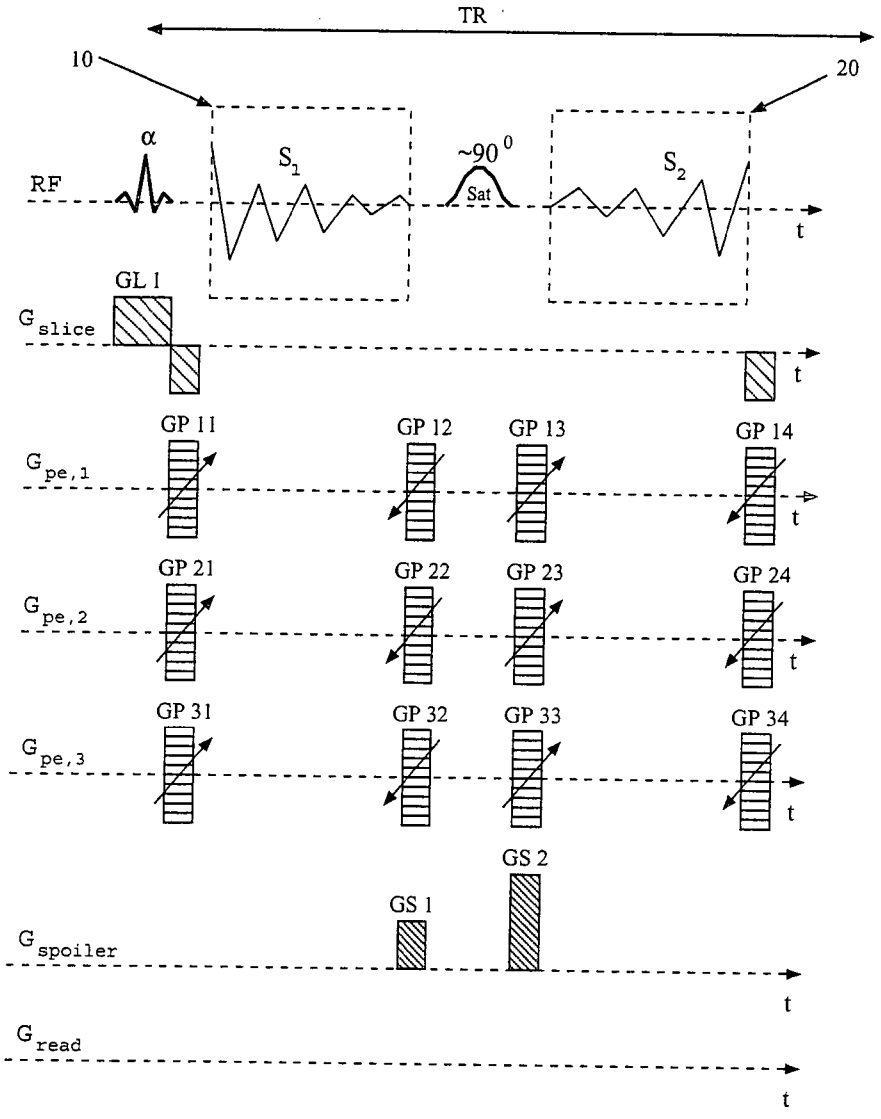
49. Bildgebungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Signale S1 und/oder S2 mit mindestens zwei HF-Spulen mit räumlich unterschiedlichen Empfindlichkeitsprofilen erfaßt werden.

50. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 49 zur Materialcharakterisierung.

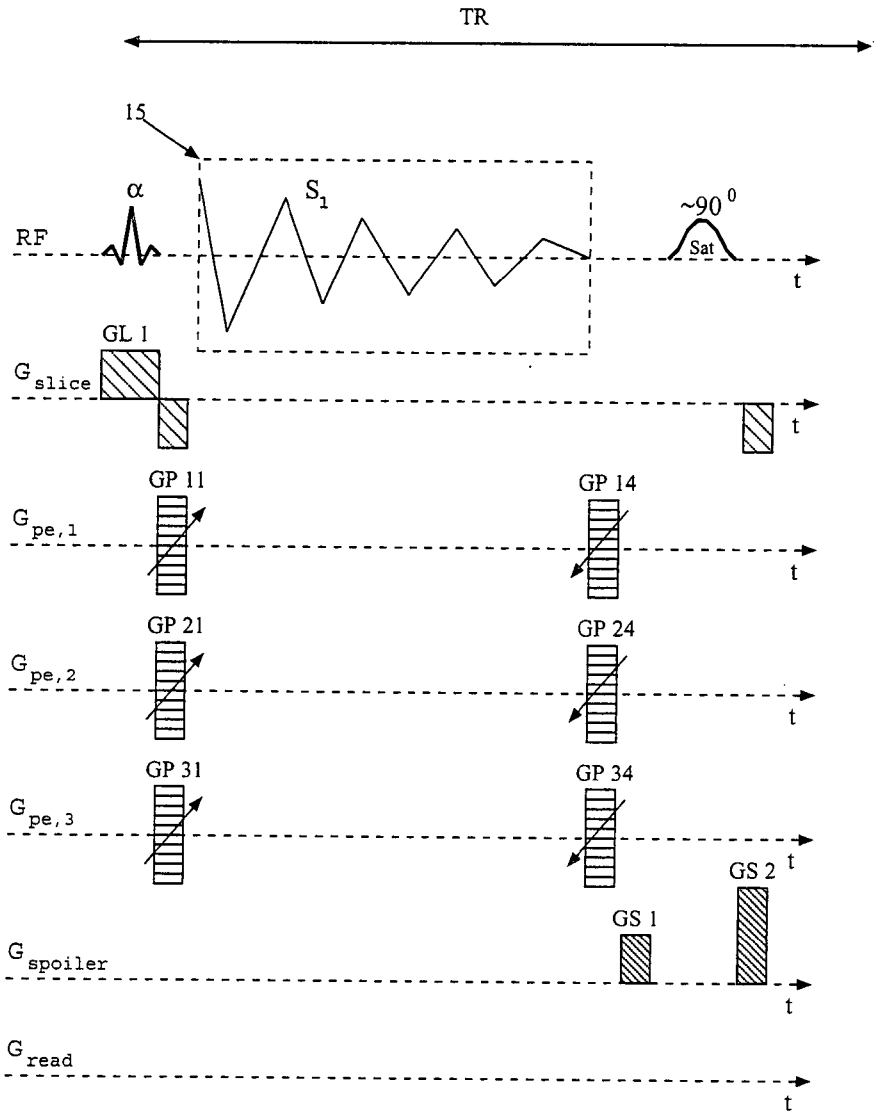
51. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 49 zur Charakterisierung von Alterungsprozessen.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

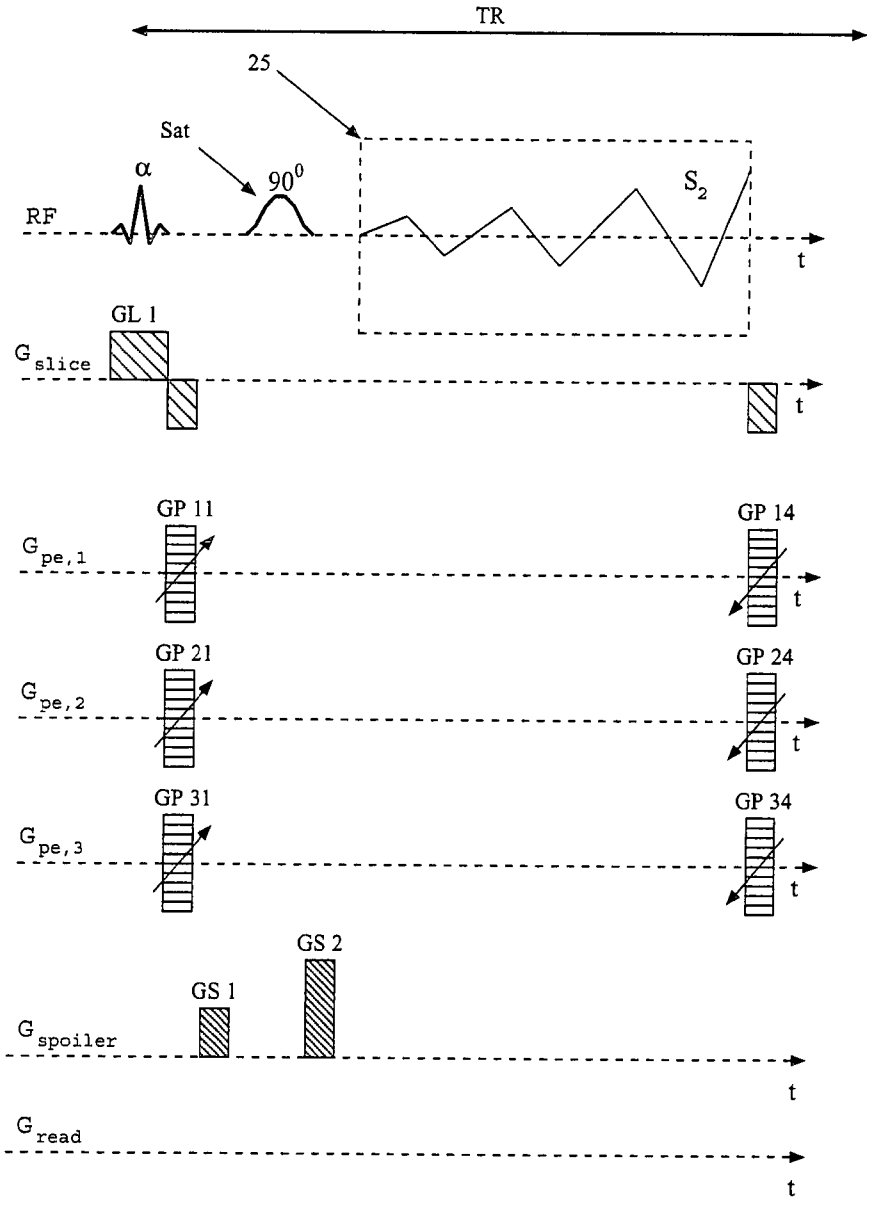
Anhängende Zeichnungen



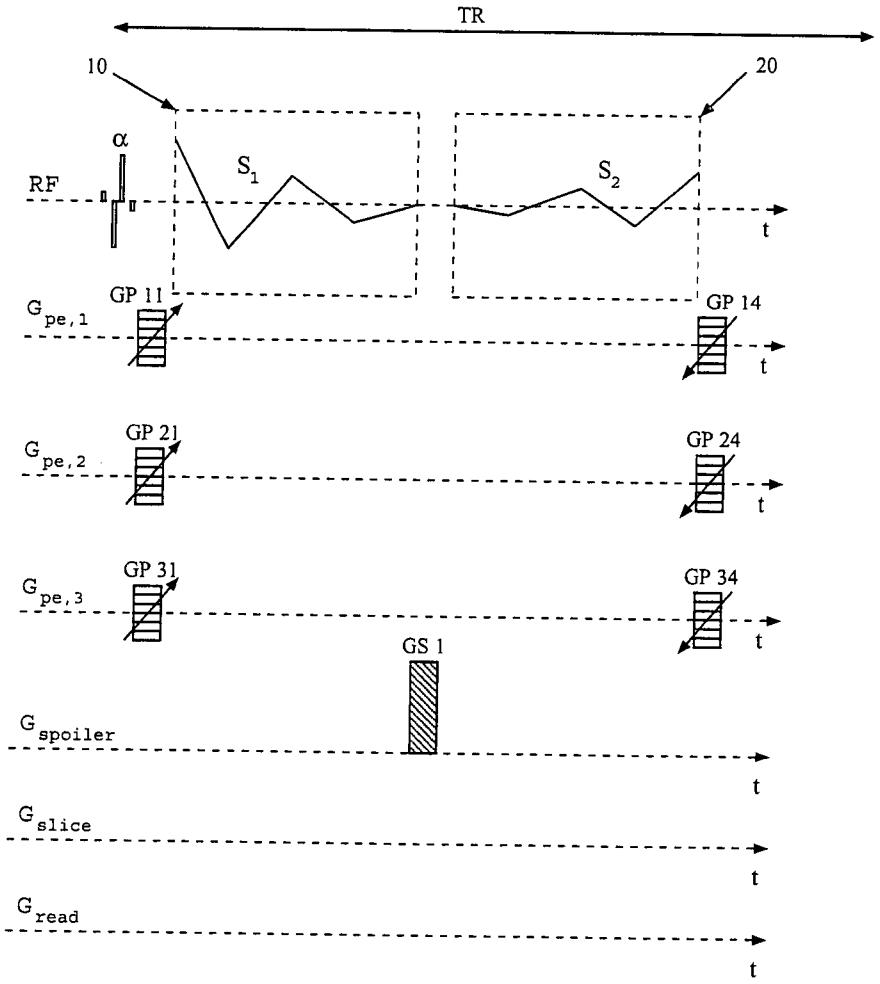
Figur 1


TR
15
α
S1
~90 0
Sat
RF
t
GL 1
G slice
GP 11
GP 14
G pe,1
GP 21
GP 24
G pe,2
GP 31
GP 34
G pe,3
GS 2
GS 1
G spoiler
G read

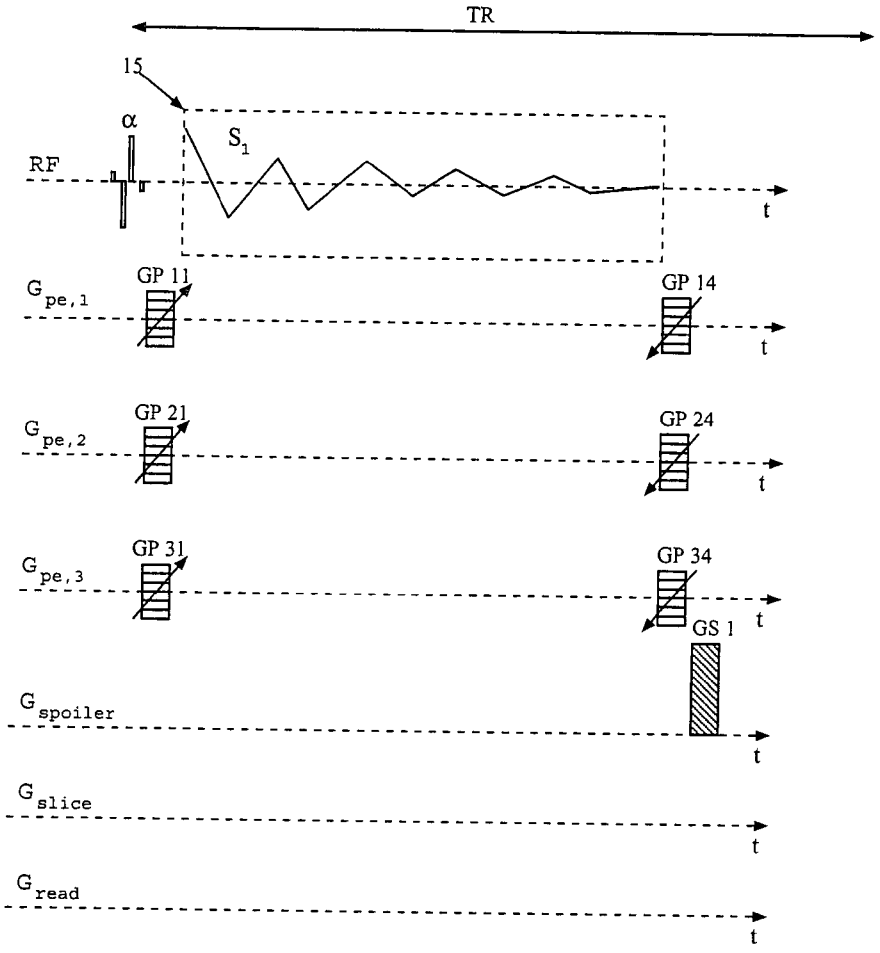
Figur 2


TR
25
Sat
α
90⁰
RF
S2
t
GL 1
Gslice
t
GP 11
GP 14
Gpe,1
t
GP 21
GP 24
Gpe,2
t
GP 31
GP 34
Gpe,3
t
GS 2
GS 1
Gspoiler
t
Gread
t

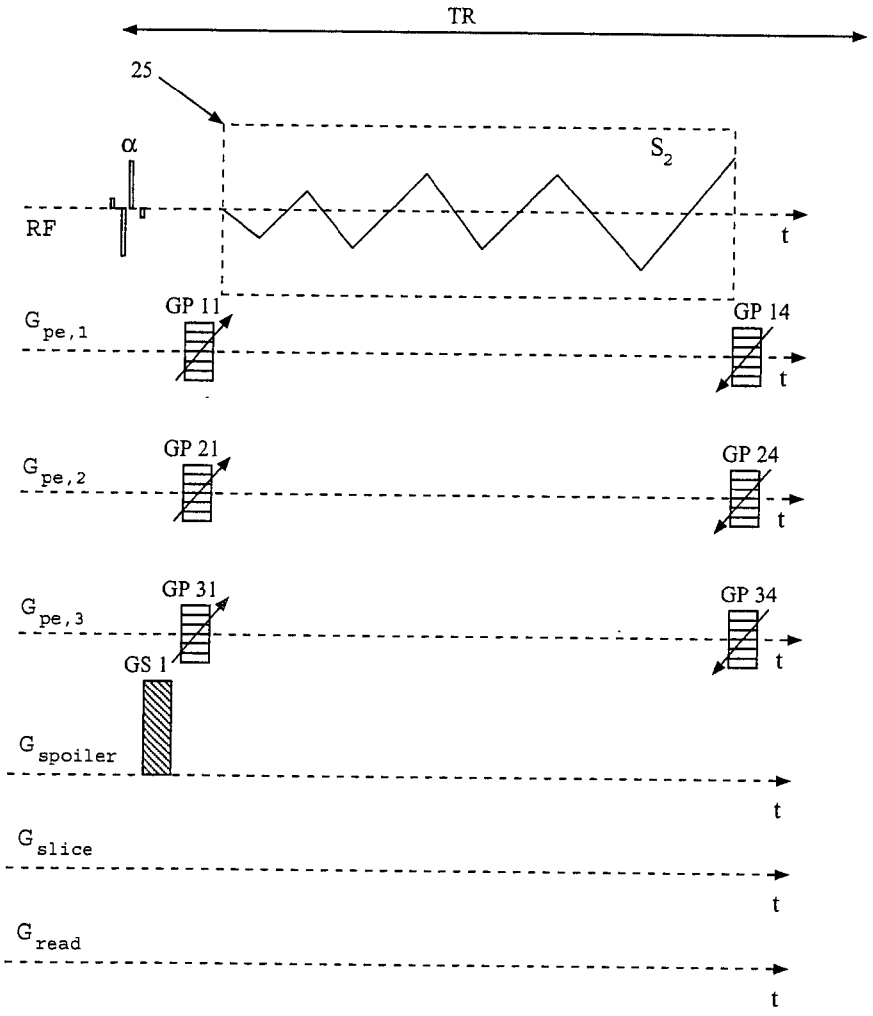
Figur 3


TR
10
20
α
RF
S1
S2
t
GP 11
GP 14
Gpe,1
GP 21
GP 24
Gpe,2
GP 31
GP 34
Gpe,3
GS 1
Gspoiler
Gslice
Gread

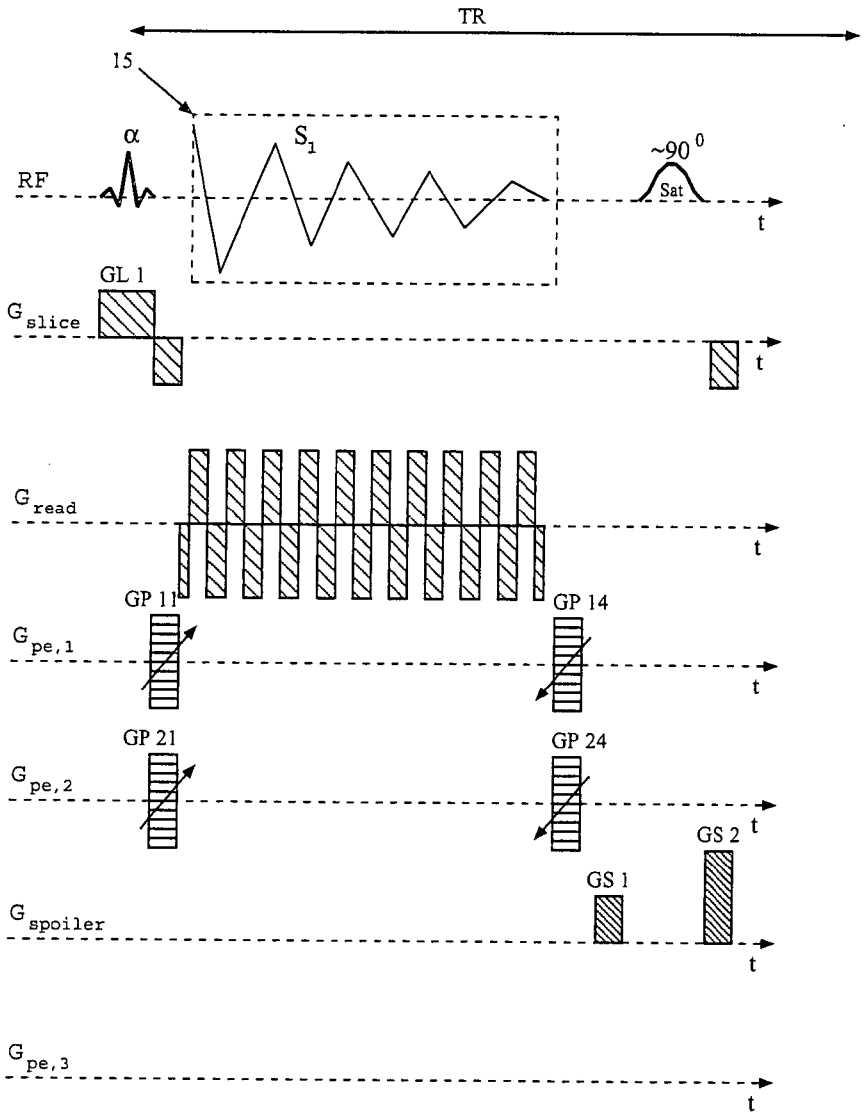
Figur 4


TR
15
α
S1
RF
t
GP 11
GP 14
Gpe,1
GP 21
GP 24
Gpe,2
GP 31
GP 34
Gpe,3
GS 1
Gspoiler
Gslice
Gread

Figur 5

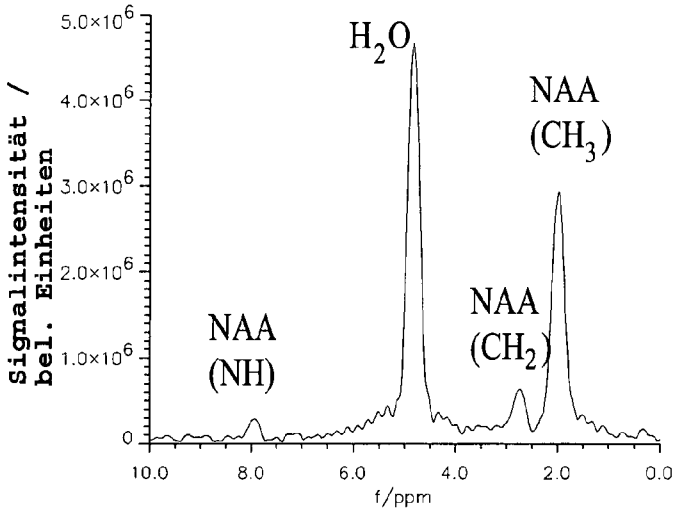

TR
25
α
S2
RF
t
GP 11
GP 14
Gpe,1
t
GP 21
GP 24
Gpe,2
t
GP 31
GP 34
Gpe,3
t
GS 1
Gspoiler
t
Gslice
t
Gread
t

Figur 6

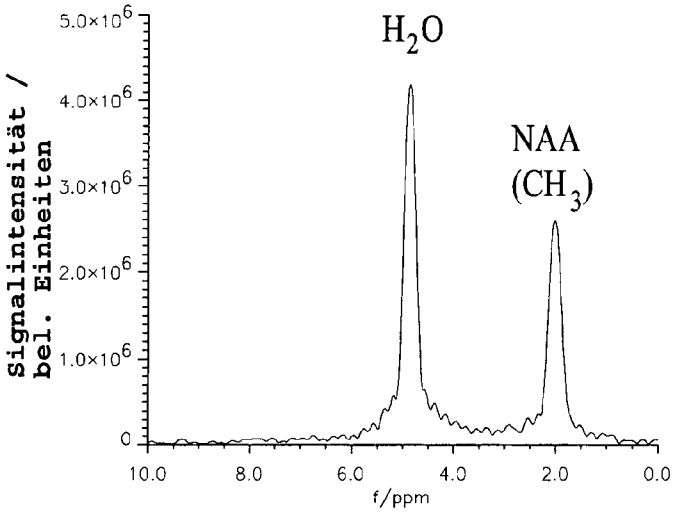
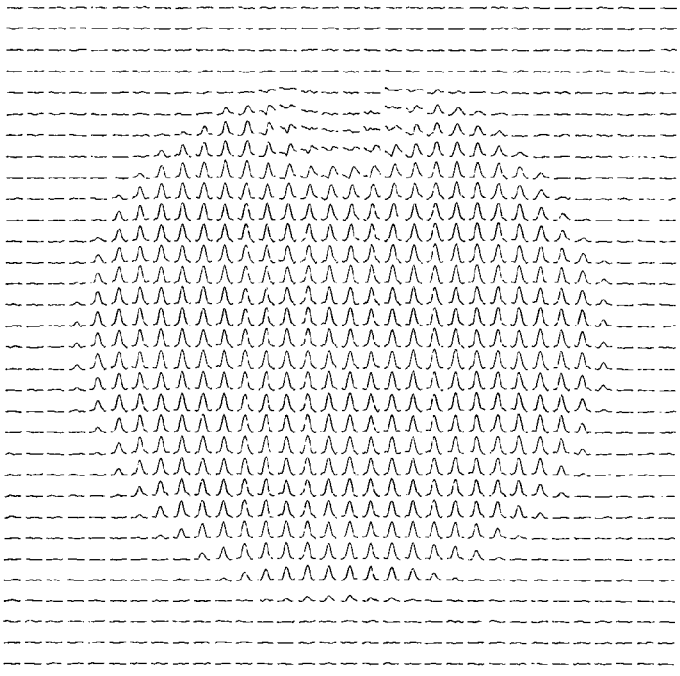

TR
15
α
S1
~90 0
Sat
RF
t
GL 1
G slice
t
G read
t
GP 11
GP 14
G pe,1
t
GP 21
GP 24
G pe,2
t
GS 2
GS 1
G spoiler
t
G pe,3
t

Figur 7

Figur 8a



Figur 8b



Figur 8c