

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Juni 2010 (10.06.2010)

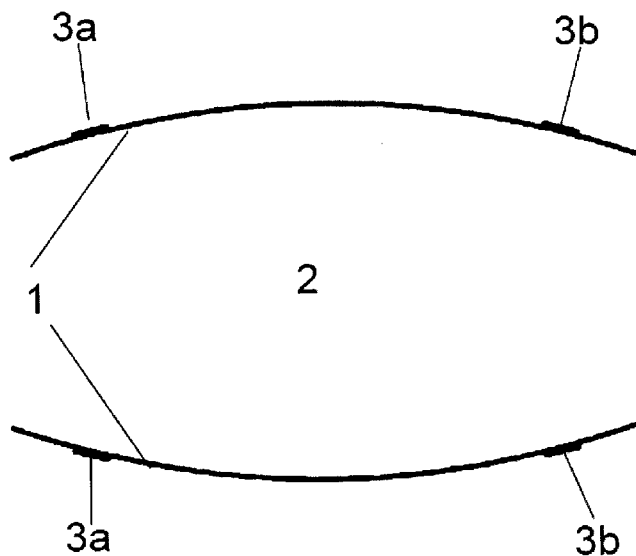
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/063260 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 33/387 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001674
- (22) Internationales Anmeldedatum:
30. November 2009 (30.11.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 060 757.6
5. Dezember 2008 (05.12.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH [DE/DE]; 52425 Jülich (DE). RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN [DE/DE]; 53115 Bonn (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RACCANELLI, Andrea [IT/DE]; Bornheimer Str. 34, 53111 Bonn (DE). KRAUSE, Rolf [DE/DE]; Dorotheenstr. 66, 53111 Bonn (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH; Fachbereich Patente, 52425 Jülich (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTINUOUSLY WOUND SOLENOID COIL WITH FINAL CORRECTION FOR GENERATING A HOMOGENEOUS MAGNETIC FIELD IN THE INTERIOR OF THE COIL AND ASSOCIATED OPTIMIZATION METHOD

(54) Bezeichnung : KONTINUIERLICH GEWICKELTE SOLENOIDSPULE MIT ENDKORREKTUR ZUR ERZEUGUNG EINES HOMOGENEN MAGNETFELDES IM SPULENINNEREN UND ZUGEHÖRIGES OPTIMIERUNGSVERFAHREN



Figur 1a

(57) Abstract: The invention relates to an apparatus for generating a homogeneous magnetic field and to an optimization method for magnetic fields in a sample space, which method provides specifications for producing such an apparatus. The apparatus comprises at least one field coil for generating the magnetic field and is characterized in that the turns of the field coil are continuously wound around the sample space and the turn diameter of the field coil continuously changes at least in a subarea of the field coil along the longitudinal axis of the sample space. In this case, the correction of inhomogeneities in the magnetic field which are caused by the finite length of the field coil is distributed over the entire field coil. The apparatus can thus be implemented in a simpler and more precise manner than with the correction coils used to correct inhomogeneities according to the prior art. Instead of the previous series expansion of the magnetic field, the method for optimizing the magnetic field uses a quality function in conjunction with a simulation of the magnetic field on the basis of the optimization parameters. This can be used in a larger volume than the series ex-

pansion.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/063260 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines homogenen Magnetfeldes sowie ein Optimierungsverfahren für Magnetfelder in einem Probenraum, das Spezifikationen für die Herstellung einer solchen Vorrichtung liefert. Die Vorrichtung umfasst mindestens eine Feldspule zur Erzeugung des Magnetfeldes und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Windungen der Feldspule kontinuierlich um den Probenraum gewickelt sind und der Windungsdurchmesser der Feldspule sich mindestens in einem Teilbereich der Feldspule entlang der Längsachse des Probenraums kontinuierlich ändert. Dabei wird die Korrektur von durch die endliche Länge der Feldspule bedingten Inhomogenitäten des Magnetfeldes auf die gesamte Feldspule verteilt. Dadurch ist die Vorrichtung einfacher und präziser zu realisieren als mit den nach dem Stand der Technik für die Korrektur von Inhomogenitäten verwendeten Korrekturspulen. Das Verfahren zur Optimierung des Magnetfeldes verwendet statt der bisherigen Reihenentwicklung des Magnetfeldes eine Gütefunktion in Verbindung mit einer Simulation des Magnetfeldes auf der Basis der Optimierungsparameter. Diese ist in einem größeren Volumen verwendbar als die Reihenentwicklung.

B e s c h r e i b u n g

KONTINUIERLICH GEWICKELTE SOLENOIDSPULE MIT ENDKORREKTUR ZUR ERZEUGUNG EINES HOMOGENEN MAGNETFELDES IM SPULENINNEREN UND ZUGEHÖRIGES OPTIMIERUNGSVERFAHREN

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines homogenen Magnetfeldes sowie ein Optimierungsverfahren für Magnetfelder in einem Probenraum, das Spezifikationen für die Herstellung einer solchen Vorrichtung liefert.

Stand der Technik

5 In vielen Anwendungen, wie beispielsweise in der Magnetresonanztomographie, ist es erforderlich, einen länglichen Probenraum mit einem homogenen Magnetfeld zu beaufschlagen. Hierbei werden in der Regel längliche Solenoidspulen verwendet, die um den Probenraum gewickelt sind. Das Magnetfeld im Inneren einer solchen Spule ist jedoch nur in dem Grenzfall exakt homogen, in dem die Spule unendlich lang ist. Bei endlich langen Spulen in realen
10 Anwendungen dagegen ist die Homogenität durch Randeffekte beeinträchtigt.

Zur Kompensation dieser Randeffekte werden Korrekturspulen verwendet, die den unerwünschten Abweichungen von der perfekten Homogenität entgegen wirken. Nachteilig benötigen diese Korrekturspulen zusätzlichen Einbauraum und zusätzliche Stromzuführungen, die insbesondere in dem beengten Innenraum eines Kryostaten nicht immer zur Verfügung stehen.
15 Zudem kann die gewünschte Homogenität des Magnetfeldes nur erzielt werden, wenn die vorab berechneten Größen und Positionen der Korrekturspulen bei der materiellen Herstellung der Magnetanordnung genauestens eingehalten werden. Die Genauigkeitsanforderungen, die im Submikrometerbereich liegen können, übersteigen zuweilen die Fertigungstoleranzen.

20 Um zusätzliche Stromzuführungen sowie die durch solche zusätzliche Stromzuführungen bewirkte Erwärmung zu vermeiden, wurden die separat ansteuerbaren Korrekturspulen zuweilen als in die Solenoidspule integrierte zusätzliche Korrekturwindungen realisiert, die immer den gleichen Strom führen wie die Solenoidspule. Nachteilig ist, dass die Genauigkeitsanforderungen für die Positionierung der Korrekturwindungen noch größer sind als die Genauigkeitsanforderungen für die Positionierung der separat ansteuerbaren Korrekturspulen.
25

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Aufgabe und Lösung

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Magnetfeldes zur Verfügung zu stellen, die auch ohne Korrekturspulen oder Korrekturwindungen einen Probenraum mit einem homogenen Feld beaufschlagt als eine Solenoidspule und die mit
5 geringeren mechanischen Genauigkeitsanforderungen herstellbar ist als die Anordnungen mit Korrekturspulen oder Korrekturwindungen nach dem Stand der Technik.

Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung gemäß Hauptanspruch sowie ein Optimierungsverfahren gemäß Nebenanspruch. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich jeweils aus den darauf rückbezogenen Unteransprüchen.

10 Gegenstand der Erfindung

Im Rahmen der Erfindung wurde eine Vorrichtung zur Erzeugung eines homogenen Magnetfeldes in einem länglichen Probenraum entwickelt. Die Vorrichtung umfasst mindestens eine Feldspule zur Erzeugung des Magnetfeldes.

15 Homogenität ist hier nicht im mathematischen Sinne als Ja-Nein-Eigenschaft zu sehen, sondern als gradueller Begriff, der die verbleibende Abweichung des Ist-Zustandes von diesem mathematischen, physikalisch nicht realisierbaren Idealzustand verkörpert. Sie kann absolut als maximale Differenz zwischen dem Ist-Zustand und dem Idealzustand in Einheiten des Magnetfeldes definiert sein („Homogenität bis auf x Millitesla“). Sie kann aber auch relativ
20 als (auch betragsmäßiger oder quadratischer) Quotient $\Delta B/B$ aus dieser Abweichung und der Magnetfeldstärke definiert sein („Homogenität bis auf 10^{-4} “).

Erfindungsgemäß ist die Feldspule kontinuierlich um den Probenraum gewickelt, und ihr Windungsdurchmesser ändert sich mindestens in einem Teilbereich der Feldspule entlang der Längsachse des Probenraums kontinuierlich.

Es wurde erkannt, dass sich mit einer derartigen Formgebung der Feldspule Randeffekte, die
25 bei nicht unendlich langen Solenoidspulen auftreten und die Homogenität des Feldes verschlechtern, auch dann deutlich verringern lassen, wenn keine zusätzlichen Korrekturspulen oder Korrekturwindungen vorhanden sind. Erfindungsgemäß ist somit in der Feldspule selbst bereits eine teilweise Korrektur der Inhomogenität ihres Magnetfeldes integriert, welche durch die endliche Länge der Feldspule verursacht wird. Die Magnetfeldverteilung im Inneren
30 des Probenraums kann somit auch ohne Korrekturspulen oder Korrekturwindungen wesent-

lich homogener sein als bei Verwendung einer herkömmlichen zylindrischen Solenoidspule.

Hierbei ist wesentlich, dass sich der Windungsdurchmesser der Feldspule entlang der Längsachse des Probenraums kontinuierlich ändert. Das Magnetfeld der Feldspule ist auf Grund ihrer endlichen Länge inhomogen. Die Korrektur für diese Inhomogenität, die nach dem Stand der Technik durch wenige diskrete Korrekturspulen oder Korrekturwindungen bewirkt wurde, wird durch die kontinuierliche Änderung des Windungsdurchmessers auf die gesamte Feldspule verteilt. Jedes infinitesimale Windungselement trägt einen infinitesimalen Anteil zu der Korrektur bei. Dadurch ist der Zusammenhang zwischen der geforderten Homogenität des Magnetfeldes im Inneren des Probenraums und der genauen Formgebung der Feldspule kontinuierlich.

Der Fachmann ist vor die Aufgabe gestellt, eine Vorrichtung mit einer vorgegebenen Gesamtgröße herzustellen, die in einem vorgegebenen Teilvolumen des Probenraums („Volume of Interest“, VOI) ein Magnetfeld mit vorgegebener Feldstärke und Homogenität erzeugt. Ausgerüstet mit der erfindungsgemäßen Lehre, dass die Feldspule kontinuierlich um den Probenraum zu wickeln ist und ihr Windungsdurchmesser sich mindestens in einem Teilbereich der Feldspule entlang der Längsachse des Probenraums kontinuierlich ändern soll, kann der Fachmann die genaue Formgebung der Feldspule mit einem geeigneten Optimierungsverfahren so maßschneidern, dass die ihm als Aufgabe gestellten Vorgaben erfüllt werden. Dem Fachmann steht hierfür eine breite Palette von Verfahren zur Verfügung. Für einfache Standardsituationen steht kommerzielle Software zur Berechnung der Magnetfeldverteilung zur Verfügung. Alternativ oder auch in Kombination hierzu kann für die Form der Feldspule ein parametrisierter Ansatz gemacht werden. Die freien Parameter können anschließend mit Standardsoftware optimiert werden. Die kontinuierliche Abhängigkeit der Magnetfeldeigenschaften von der genauen Formgebung der Feldspule gestattet die Anwendung moderner Techniken sowohl für die numerische Simulation als auch die Parameteroptimierung. Die Erfindung bezieht sich auch auf ein besonders geeignetes Parameteroptimierungsverfahren, bei dem bestimmte Eigenschaften des Magnetfeldes optimiert werden. Die Optimierungsparameter sind dabei mit der Form der Feldspule assoziiert. In jedem Schritt des Optimierungsverfahrens wird zur Bewertung eines Satzes konkreter Werte für die Optimierungsparameter die aus diesen Werten resultierende Magnetfeldverteilung im Probenraum numerisch simuliert. Die Optimierung mittels numerischer Simulation ist mit den heute verfügbaren Werkzeugen bedeutend schneller als die klassische, auf der physikalischen Fertigung von Prototy-

pen und der Messung des jeweils erzeugten Magnetfeldes basierende Optimierung. Selbst diese Art der Optimierung würde dem Fachmann jedoch nur eine zumutbare Anzahl Versuche abverlangen, um eine Homogenität des Magnetfeldes zu erzielen, die besser ist als die einer zylindrischen Solenoidspule.

5 Das gutartige Verhalten der Magnetfeldeigenschaften bei einer Optimierung der Spulenform ist dem Umstand geschuldet, dass durch die Verteilung der Korrektur auf die ganze Feldspule eine noch nicht optimale Positionierung von Windungen sich weitaus weniger stark auf die Homogenität des Magnetfeldes im Probenraum auswirkt als eine Fehlpositionierung der gemäß Stand der Technik verwendeten wenigen diskreten Korrekturspulen oder Korrektur-
10 windungen. Nach dem Stand der Technik hing die Magnetfeldverteilung im Probenraum derart empfindlich von den Positionen der Korrekturspulen oder Korrekturwindungen ab, dass selbst ein bereits numerisch aufgefundenes Optimum dieser Positionen sich nicht immer physikalisch realisieren ließ. Das Optimum war derart schmal, dass die Genauigkeitsanforderungen die Fertigungstoleranzen bisweilen überstiegen. Nach der jetzigen Erkenntnis der
15 Erfinder war Ursache für diesen Nachteil des Standes der Technik, dass die gesamte Wirkung der Korrektur nur an wenigen Parametern hing, nämlich an den Positionen und Feldstärken der wenigen diskreten Korrekturspulen, beziehungsweise an den Positionen der Korrekturwindungen. Es wurde erkannt, dass die Wirkung der Korrektur des Magnetfeldes bei Korrekturwindungen schwieriger zu steuern ist als bei separaten Korrekturspulen, weil bei Korrekturwindungen der Strom nicht separat einstellbar ist. Dies ist dafür verantwortlich, dass die
20 Genauigkeitsanforderungen für die Positionierung von Korrekturwindungen noch höher sind als für die Positionierung von Korrekturspulen.

Erfindungsgemäß hängt die Wirkung der Korrektur nun an der Positionierung eines jeden infinitesimalen Windungselements, so dass die Korrektur als kontinuierliche Größe angesehen
25 werden kann. Die Wirkung von Fehlpositionierungen einzelner Bereiche von Windungen auf die Magnetfeldverteilung ist daher so gering, dass sich insbesondere zufällige Schwankungen im Herstellungsprozess gegenseitig herausmitteln.

Die verbesserte Homogenität des Magnetfeldes im Probenraum bedeutet auch, dass das Teilvolumen des Probenraums, in dem vom konkreten Anwendungsfall vorgegebene Anforderungen an die Homogenität erfüllt sind („Volume of Interest“, VOI), größer ist als bei Verwendung herkömmlicher Solenoidspulen.
30

Die Feldspule oder die Gesamtheit aller Feldspulen müssen nicht den ganzen Probenraum umgeben. Die erfindungsgemäße Wirkung wird auch erzielt, wenn entlang der Längsachse des Probenraums Lücken zwischen mehreren Feldspulen sind oder auch eine einzelne Feldspule Lücken aufweist. Durch derartige Lücken kann der Probenraum bei anliegendem Magnetfeld zur Beobachtung oder Manipulation der darin befindlichen Probe zugänglich gehalten werden.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung nimmt in der Feldspule oder in der Gesamtheit aller Feldspulen der Windungsdurchmesser entlang von mindestens 10 %, bevorzugt von mindestens 20 % und ganz besonders bevorzugt von mindestens 30 % der Längsachse des Probenraums streng monoton zu, und er nimmt entlang von mindestens 10%, bevorzugt von mindestens 20 % und ganz besonders bevorzugt von mindestens 30 % der Längsachse des Probenraums streng monoton ab. Dann verteilt sich die Korrektur für die Inhomogenität des von der Feldspule bewirkten Magnetfeldes auf ein so großes Gebiet entlang der Längsachse, dass geringfügige Fehlpositionierungen einzelner Windungen die Korrektur nicht zunichte machen. Die beim maschinellen Wickeln von Spulen üblicherweise erzielbare Präzision genügt.

Dies bedeutet anschaulich gesprochen folgendes: Grundsätzlich liegen in einer Solenoidspule die Feldlinien im Zentrum der Spule dichter, so dass das Magnetfeld stärker ist als an den Enden der Spule. Nimmt mit zunehmender Annäherung an das Zentrum der Spule der Windungsdurchmesser zu, so dass er insbesondere im Zentrum der Spule maximal ist, werden die dichter liegenden Feldlinien auseinander gebogen. Das Magnetfeld wird so homogenisiert.

Die Feldspule kann frei tragend ausgestaltet sein; es ist nicht zwingend erforderlich, dass sie auf einen Träger gewickelt ist. Beispielsweise kann in Anwendungen der Nuklearphysik gefordert sein, dass sich möglichst wenig Massenbelegung zwischen der Strahlungsquelle und dem Detektor befindet; dies verhindert, dass zu viele Teilchen absorbiert werden, bevor sie auf den Detektor treffen. Vorteilhaft ist die Feldspule jedoch auf einen hohlen Träger gewickelt; dies vereinfacht sowohl die Herstellung als auch die Handhabung.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Spule auf einen hohlen Träger gewickelt, dessen Oberfläche Teilmenge einer Oberfläche ist, welche symmetrisch bezüglich der Längsachse des Probenraums ist. Dies impliziert, dass die Form des Trägers sich entlang der Längsachse des Probenraums kontinuierlich ändert. Der Träger besteht aus

mindestens einem Teilstück, kann aber auch aus mehreren Teilstücken bestehen. Die letztgenannte Ausgestaltung gestattet zum Beispiel einen transversalen Zugang zum Inneren des Probenraums.

Die Oberfläche kann insbesondere ein Rotationskörper um die Längsachse des Probenraums sein. Dann ist der Träger rotationssymmetrisch und kann daher durch mechanische Materialbearbeitung einfach und mit hoher Genauigkeit hergestellt werden. Anschließend kann auf ihn auf Grund der Rotationssymmetrie besonders einfach maschinell die Feldspule gewickelt werden. Der Durchmesser des Trägers kann in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung entlang von mindestens 10 %, bevorzugt von mindestens 20 % und ganz besonders bevorzugt von mindestens 30 % der Längsachse des Probenraums streng monoton zunehmen sowie entlang von mindestens 10 %, bevorzugt von mindestens 20 % und ganz besonders bevorzugt von mindestens 30 % der Längsachse des Probenraums streng monoton abnehmen, um die Homogenität des Feldes weiter zu verbessern.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfassen die Mittel zur Erzeugung des Magnetfeldes mindestens eine separat ansteuerbare Korrekturspule. Diese kann, sofern die Feldspule auf einen Träger gewickelt ist, insbesondere auf diesem angeordnet sein. Dadurch wird die Homogenität des Magnetfeldes im Probenraum weiter gesteigert. Korrekturspulen und die Formgebung der Feldspule ergänzen sich insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Korrekturspulen zu einer groben Korrektur der Homogenität verwendet werden und die Formgebung der Feldspule der Feinabstimmung dient. Wie oben beschrieben, hängt die Wirkung der Korrekturspulen auf die Magnetfeldverteilung sehr empfindlich von ihren Positionen und Stromstärken ab. Kommen ausschließlich Korrekturspulen zum Einsatz, ist dies von Nachteil. Steht aber auch die Formgebung der Feldspule als Stellschraube zur Verfügung, kann genau dieser Umstand zum Vorteil umgemünzt werden: Der hohe, aber schwer steuerbare Durchgriff der Korrekturspulen wird genutzt, um eine große Abweichung der Magnetfeldverteilung im Probenraum von der perfekten Homogenität in einen Bereich zu bringen, in dem sie für die weitere Optimierung über eine schwächer wirkende, aber präziser steuerbare Änderung der Formgebung der Feldspule handhabbar ist. Die Vorkorrektur durch die Korrekturspulen ist nicht mit dem Risiko behaftet, dass die Homogenität durch eine geringfügige Fehlpositionierung der Korrekturspulen verschlechtert statt verbessert wird. Die Toleranz für die Positionierung der Korrekturspulen kann je nach Anwendung gegenüber dem Stand der Technik um einen Faktor bis zu 1000 erhöht werden.

Die Vorteile eines solchen Zusammenspiels von Feldspule und Korrekturspulen werden physikalisch dadurch bewirkt, dass der Beitrag eines gegebenen Strom führenden Bereichs zum Magnetfeld an einem gegebenen Punkt im Probenraum stetig vom Abstand zwischen dem Bereich und dem Punkt abhängt und dieser Abstand kontinuierlich variiert werden kann.

5 Genau dies geschieht bei der erfindungsgemäßen Formgebung der Feldspule. Dabei wirkt eine lokale Änderung des Windungsdurchmessers in der Feldspule im Allgemeinen deutlich schwächer als eine Änderung des Stroms durch eine von nur wenigen diskreten Korrekturspulen.

Vorteilhaft weist die Feldspule mindestens zwei übereinander gewickelte Lagen von Windun-
10 gen auf. Dadurch wird die für den magnetischen Fluss maßgebliche Gesamtzahl von Windungen, die sich auf einer gegebenen Spulenlänge unterbringen lässt, vorteilhaft vergrößert.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Vorrichtung eine Stromzuführung auf, die die Gesamtheit aller Feldspulen zu versorgen vermag. Dies bewirkt, dass nur zwei elektrische Leitungen in die Vorrichtung führen müssen an Stelle einer Vielzahl
15 von Leitungen für zusätzliche Korrekturspulen. Die maximale Anzahl der elektrischen Leitungen unterliegt in vielen Anwendungen, wie beispielsweise beim Einsatz der Vorrichtung in einem Kryostaten, Beschränkungen. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird bei einer gegebenen Anzahl an Leitungen eine bessere Homogenität des Feldes im Probenraum erzielt als nach dem Stand der Technik.

20 Beispielsweise kann eine einzige Feldspule verwendet werden, die kontinuierlich auf einen Träger mit der erfindungsgemäßen Formgebung gewickelt ist.

Im Rahmen der Erfindung wurde auch ein Verfahren zur Optimierung einer oder mehrerer vorgegebener Eigenschaften des Magnetfeldes, welches von einer Vorrichtung in einem länglichen Probenraum erzeugt wird, entwickelt. Die vorgegebene Eigenschaft des Magnet-
25 feldes kann beispielsweise die Homogenität, aber auch beispielsweise die absolute oder relative Stärke einer Richtungskomponente sein.

Das Verfahren geht davon aus, dass die Vorrichtung mindestens eine kontinuierlich um den Probenraum gewickelte Feldspule beinhaltet und dass ein Satz freier Optimierungsparameter, von denen das Magnetfeld im Probenraum abhängt, vorgegeben ist. Ferner können Zusatzbe-
30 dingungen vorgegeben sein. Diese Zusatzbedingungen können beispielsweise die Gesamtgröße der Vorrichtung, die Größe und der Leitungsquerschnitt der Feldspule, die angestrebte

Feldstärke, die angestrebte Homogenität sowie Größe und Form der Region, in denen diese Feldstärke und Homogenität gewünscht werden (Volume of Interest, VOI), sein.

Erfindungsgemäß wird zunächst aus gegebenen Werten für die Optimierungsparameter die Magnetfeldverteilung im Probenraum ermittelt. Für diese ermittelte Magnetfeldverteilung wird anschließend der Wert einer Gütefunktion, die von der oder den zu optimierenden Eigenschaften des Magnetfeldes abhängt, ermittelt. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung hängt die Gütefunktion von einer Norm der Homogenität des Magnetfeldes im Probenraum ab.

Anhand der Gütefunktion sowie aus den gegebenen Werten für die Optimierungsparameter werden neue Werte der Optimierungsparameter ermittelt, die eventuell vorgegebenen Zusatzbedingungen genügen. „Anhand“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Gütefunktion im Parameterraum ausgewertet werden kann, so dass Rückschlüsse über ihren Verlauf gezogen werden können.

Die vorgenannten Schritte werden unter Verwendung der neugewonnenen Werte der Optimierungsparameter wiederholt, bis eine vorgegebene Abbruchbedingung erreicht ist. Als Abbruchbedingung sind beispielsweise das Erreichen eines vorgegebenen Schwellenwertes für den Wert der Gütefunktion oder das Erreichen einer vorgegebenen Anzahl an Wiederholungen (Iterationen) sowie beliebige Kombinationen aus diesen Bedingungen geeignet. Die letztendlich erhaltenen Werte der Optimierungsparameter können dann als Spezifikationen für die Herstellung der Vorrichtung verwendet werden.

Es wurde erkannt, dass bei der Durchführung dieses Verfahrens die zu optimierende Eigenschaft, wie beispielsweise in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung die Homogenität des Magnetfeldes, in einem größeren Teilvolumen des Probenraums in die Gütefunktion und daher in die Bestimmung der optimalen Werte für die Optimierungsparameter eingehen kann als bei der Durchführung von Optimierungsverfahren nach dem Stand der Technik. Dadurch kann auch die Vorrichtung derart optimiert werden, dass sie bei gleicher Qualität in Bezug auf die zu optimierende Eigenschaft eine geringere Baugröße aufweist oder bei gleicher Baugröße ein größeres nutzbares Volumen (Volume of Interest, VOI) mit einer gegebenen Qualität in Bezug auf die zu optimierende Eigenschaft aufweist.

Die Optimierungsverfahren nach dem Stand der Technik beruhen auf einer Reihenentwicklung des lokalen Magnetfeldes um einen gegebenen Punkt im Probenraum. Die freien Para-

meter der Vorrichtung (Positionen und Ströme der Korrekturspulen) wurden bestimmt, indem die Fehler bestimmter Ordnungen dieser Reihenentwicklung gleich Null gesetzt und das dabei entstehende Gleichungssystem gelöst wurden. Das Teilvolumen des Probenraums, in dem mit diesen Verfahren gemäß Stand der Technik eine Homogenität des Magnetfeldes erzielt werden konnte, war dadurch begrenzt, dass die Reihenentwicklung nur in einem begrenzten Teilvolumen um den gegebenen Punkt Gültigkeit hatte und mit zunehmendem Abstand von diesem Punkt schnell ungenau wurde. Das erfindungsgemäße Optimierungsverfahren ist nicht mehr auf eine näherungsweise analytische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Optimierungsparametern und dem Magnetfeld im Probenraum angewiesen. Das Optimierungsverfahren krankt daher nicht mehr an dem Problem, dass eine solche analytische Darstellung eine nur in einem sehr engen Teilvolumen des Probenraums gültige Näherung ist.

Zur Ermittlung neuer Werte der Optimierungsparameter aus den vorhandenen Werten der Optimierungsparameter und dem Wert der Gütefunktion kann prinzipiell jedes numerische Optimierungsverfahren zum Einsatz kommen. Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, ein Abstiegsverfahren und hier insbesondere eine Gradientenmethode zu verwenden. Ein solches Verfahren schreitet sukzessive in Richtung des negativen Gradienten der Gütefunktion voran und findet so Werte für die Optimierungsparameter, bei denen die Gütefunktion zumindest ein lokales Minimum annimmt. Eine zusätzliche Schrittweitensteuerung kann ebenfalls verwendet werden, etwa „Armijo’s step size rule“.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Optimierungsparameter so gewählt, dass bezüglich des entlang der Längsachse des Probenraums variierenden Windungsdurchmessers mindestens einer Feldspule optimiert wird. Der am Ende der Optimierung erhaltene Verlauf kann dann beispielsweise als Vorlage verwendet werden, um einen Träger maschinell zu fertigen, auf den dann eine Feldspule maschinell aufgewickelt wird.

Vorteilhaft wird der Verlauf des Windungsdurchmessers durch Splines approximiert oder durch einen anderen parametrisierten Ansatz beschrieben. Damit wird der gesuchte optimale Funktionsverlauf durch einen diskreten Satz freier Optimierungsparameter ausgedrückt, der für Optimierungsalgorithmen einfacher handhabbar ist. Splines haben auf Grund ihrer abschnittswisen Definition gegenüber global erklärten Polynomen den Vorteil, dass für viele Funktionen eine deutlich bessere Approximation erzielt werden kann. So können mit Splines höherer Ordnung auch komplizierte Funktionen mit nur wenigen Extrema nachgebildet werden. Bei der Approximation komplizierter Funktionen durch globale Interpolationspolynome

höheren Grades oszilliert die Approximationsfunktion unerwünscht stark. Es können auch Bezier-Kurven als Approximationsfunktionen verwendet werden.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Position und/oder die Größe mindestens einer zusätzlichen Korrekturspule als weitere Optimierungsparameter gewählt. Dann kann die Optimierung der Homogenität des Magnetfeldes im Probenraum vorteilhaft auf die Position und/oder Größe der Korrekturspule einerseits und auf die Formgebung der Feldspule andererseits aufgeteilt werden. Mit einer Korrekturspule kann beispielsweise bewirkt werden, dass eine vorgegebene Homogenität mit einer geringeren Abweichung der Formgebung der Feldspule von der Solenoidform erzielt werden kann. Da bei einer Abweichung von der Solenoidform zusätzliches Bauvolumen zu erwarten ist, kann somit die mit einem gegebenen Bauvolumen erzielbare Homogenität verbessert werden.

Dabei ergibt sich zusätzlich der synergetische Effekt, dass die Optimierung der Formgebung die Empfindlichkeit des Magnetfeldes im Probenraum gegenüber kleinen Veränderungen in den Positionen und/oder Größen von Korrekturspulen verringert. Die Optimierung dieser Positionen und Größen wird somit zum einen einfacher im Hinblick auf die Handhabung durch den Optimierungsalgorithmus selbst; zum anderen ist das erhaltene Optimum stabil gegen Ungenauigkeiten bei der materiellen Realisierung. Nach dem Stand der Technik, bei dem nur Korrekturspulen zum Einsatz kamen, war das Optimum derart instabil, dass die Genauigkeitsanforderungen für die Positionierung der Korrekturspulen im Rahmen der mechanischen Fertigungstoleranzen zum Teil nicht mehr realisierbar waren.

Die Gütefunktion kann ein Maß für das Integral über eine Norm der Homogenität des Magnetfeldes in einem Teilvolumen des Probenraums sein, wobei die Norm sich auf die relative Homogenität $\Delta B/B$ oder auch auf die absolute Homogenität in Einheiten des Magnetfeldes beziehen kann. Das Integral kann beispielsweise dadurch angenähert werden, dass die Gütefunktion die Summe von, beispielsweise gewichteten, Normen der lokalen (relativen oder absoluten) Homogenitäten des Magnetfeldes über eine diskrete Menge von Punkten im Probenraum enthält. Diese diskrete Menge von Punkten kann beispielsweise in einem Gitternetz angeordnet sein.

Als Norm können beispielsweise die euklidische Norm oder auch die Maximumnorm der Homogenität gewählt werden.

Das Verfahren kann insbesondere zur Herstellung erfindungsgemäßer Vorrichtungen verwendet werden.

Erfindungsgemäße Vorrichtungen sowie Vorrichtungen, deren Magnetfeld erfindungsgemäß optimiert wurde, können verwendet werden, um Festkörpertargets in Teilchenbeschleunigern kontinuierlich zu polarisieren. Für diese Anwendung müssen gleichzeitig unterschiedliche und für das Magnetdesign widersprüchliche Anforderungen an Stärke und Homogenität des Magnetfeldes, Größe des Magneten und eine möglichst geringe Anzahl von Stromzuführungen erfüllt werden. Auch die Magnetresonanztomographie (MRT) kann von erfindungsgemäßen Vorrichtungen sowie Vorrichtungen, deren Magnetfeld erfindungsgemäß optimiert wurde, profitieren.

Spezieller Beschreibungsteil

Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren näher erläutert, ohne dass der Gegenstand der Erfindung dadurch beschränkt wird. Es ist gezeigt:

Figur 1: Querschnitte durch Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einteiligem Träger (Teilbild a) und mit zweiteiligem Träger (Teilbild b).

Figur 2: Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Figur 1a zeigt einen Querschnitt durch eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Der Träger 1, der den länglichen Probenraum 2 umgibt, ist symmetrisch bezüglich der Längsachse dieses Probenraums, und sein Durchmesser weist in der Mitte dieser Längsachse ein lokales Maximum auf. Somit nimmt in der Feldspule der Windungsdurchmesser entlang von 50 % der Längsachse des Probenraums streng monoton zu, und er nimmt entlang von 50 % der Längsachse des Probenraums streng monoton ab. Die Windungen der Feldspule, die kontinuierlich auf den Träger gewickelt sind, sind hier nicht eingezeichnet. Auf dem Träger 1 sind Korrekturspulen 3a und 3b zur Vorkorrektur des Magnetfeldes im Probenraum angeordnet.

Figur 1b zeigt einen Querschnitt durch eine andere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Der Träger 1 besteht hier aus zwei Teilen 1a und 1b. Auf jeden dieser Teile 1a und 1b ist jeweils eine Feldspule gewickelt. Zwischen den Teilen 1a und 1b ist eine Lücke (Öffnung), durch die das Innere des Probenraums 2 auch während des Betriebs der Vorrich-

5 tung transversal zugänglich ist. Auf der Gesamtlänge der auf die Teile 1a und 1b gewickelten Feldspulen nimmt der Windungsdurchmesser entlang von fast der Hälfte der Längsachse des Probenraums streng monoton zu, und er nimmt entlang von fast der Hälfte der Längsachse des Probenraums streng monoton ab. Die beiden Spulen sind elektrisch hintereinander geschaltet. Somit weist die Vorrichtung eine Stromzuführung auf, die die Gesamtheit aller Feldspulen zu versorgen vermag.

10 Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Der Durchmesser des Trägers 1, der den länglichen Probenraum 2 umgibt, weist neben einem lokalen Maximum auch zwei lokale Minima auf. Die Korrekturspulen 3a und 3b sind in der Nähe dieser Minima auf dem Träger angeordnet. In dem Probenraum 2 ist das Teilvolumen 2a mit der besten Homogenität des Magnetfeldes eingezeichnet. Dieses Teilvolumen kann insbesondere bei Magnetresonanzuntersuchungen als „Volume of Interest“ (VOI) genutzt werden.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines homogenen Magnetfeldes in einem länglichen Probenraum, umfassend mindestens eine Feldspule zur Erzeugung des Magnetfeldes, dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Feldspule kontinuierlich um den Probenraum gewickelt ist und ihr Windungsdurchmesser sich mindestens in einem Teilbereich der Feldspule entlang der Längsachse des Probenraums kontinuierlich ändert.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Feldspule oder in der Gesamtheit aller Feldspulen der Windungsdurchmesser entlang von mindestens 10 % der
10 Längsachse des Probenraums streng monoton zunimmt sowie entlang von mindestens 10 % der Längsachse des Probenraums streng monoton abnimmt.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Feldspule auf einen hohlen Träger gewickelt ist, dessen Oberfläche Teilmenge einer Oberfläche ist, welche symmetrisch bezüglich der Längsachse des Probenraums ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel
15 zur Erzeugung des Magnetfeldes mindestens eine separat ansteuerbare Korrekturspule umfassen.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Feldspule mindestens zwei übereinander gewickelte Lagen von Windungen aufweist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine
20 Stromzuführung aufweist, die die Gesamtheit aller Feldspulen zu versorgen vermag.
7. Verfahren zur Optimierung einer oder mehrerer vorgegebener Eigenschaften des Magnetfeldes, welches von einer Vorrichtung in einem länglichen Probenraum erzeugt wird, wobei die Vorrichtung mindestens eine kontinuierlich um den Probenraum gewickelte
25 Feldspule beinhaltet, unter der Vorgabe eines Satzes freier Optimierungsparameter, von denen das Magnetfeld im Probenraum abhängt, sowie optional unter der Vorgabe eines Satzes von Zusatzbedingungen, mit den Schritten:
 - aus gegebenen Werten für die Optimierungsparameter wird die Magnetfeldverteilung

im Probenraum ermittelt;

- der Wert einer Gütefunktion, die von der oder den zu optimierenden Eigenschaften abhängt, wird für diese Magnetfeldverteilung ermittelt;
- aus den gegebenen Werten für die Optimierungsparameter und anhand der Gütefunktion werden neue Werte der Optimierungsparameter ermittelt, die eventuell vorgegebenen Zusatzbedingungen genügen;
- unter Verwendung der neuen Werte der Optimierungsparameter werden die vorgenannten Schritte wiederholt, bis eine vorgegebene Abbruchbedingung erreicht ist.

5

10

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Gütefunktion von einer Norm der Homogenität des Magnetfeldes im Probenraum abhängt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Erreichen eines vorgegebenen Schwellenwertes für den Wert der Gütefunktion als Abbruchbedingung gewählt wird.

15

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Erreichen einer vorgegebenen Anzahl an Iterationen als Abbruchbedingung gewählt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Optimierungsparameter so gewählt werden, dass bezüglich des entlang der Längsachse des Probenraums variierenden Windungsdurchmessers mindestens einer Feldspule optimiert wird.

20

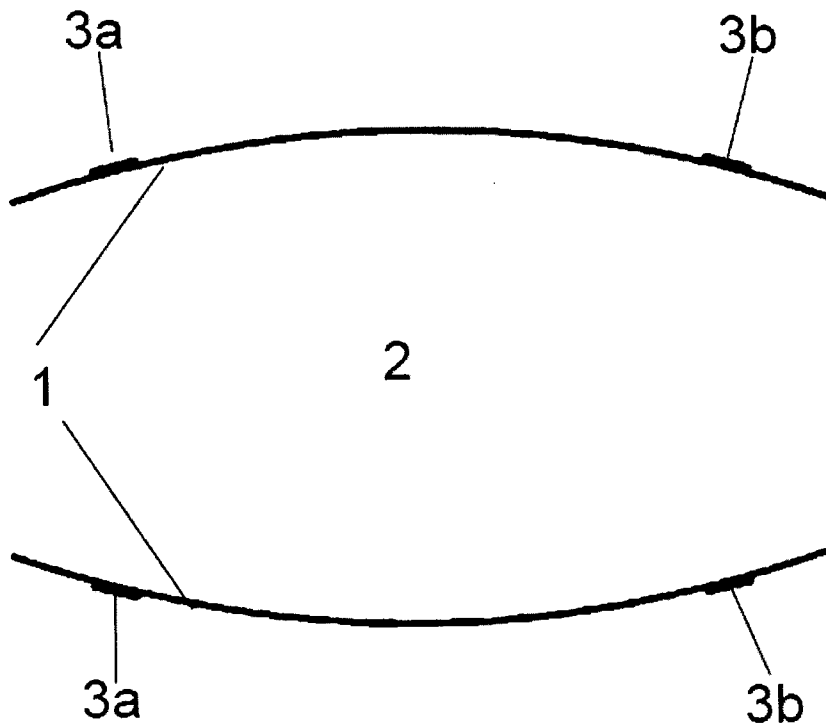
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Verlauf des Windungsdurchmessers durch Splines approximiert oder durch einen parametrisierten Ansatz beschrieben wird.

25

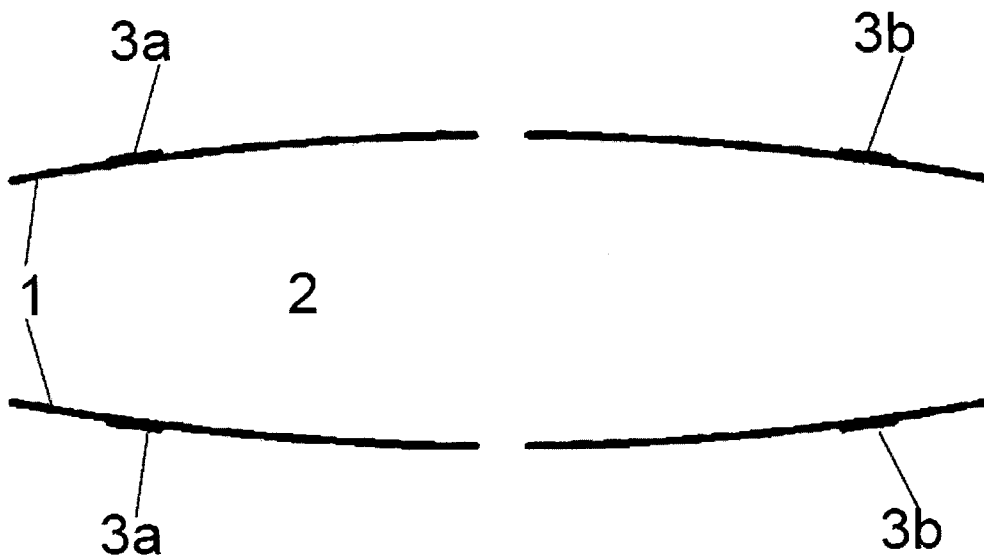
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Position und/oder die Größe mindestens einer zusätzlichen Korrekturspule als weitere Optimierungsparameter gewählt werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Gütefunktion die Summe von Normen der lokalen relativen Homogenitäten des Magnetfeldes über eine diskrete Menge von Punkten im Probenraum enthält.

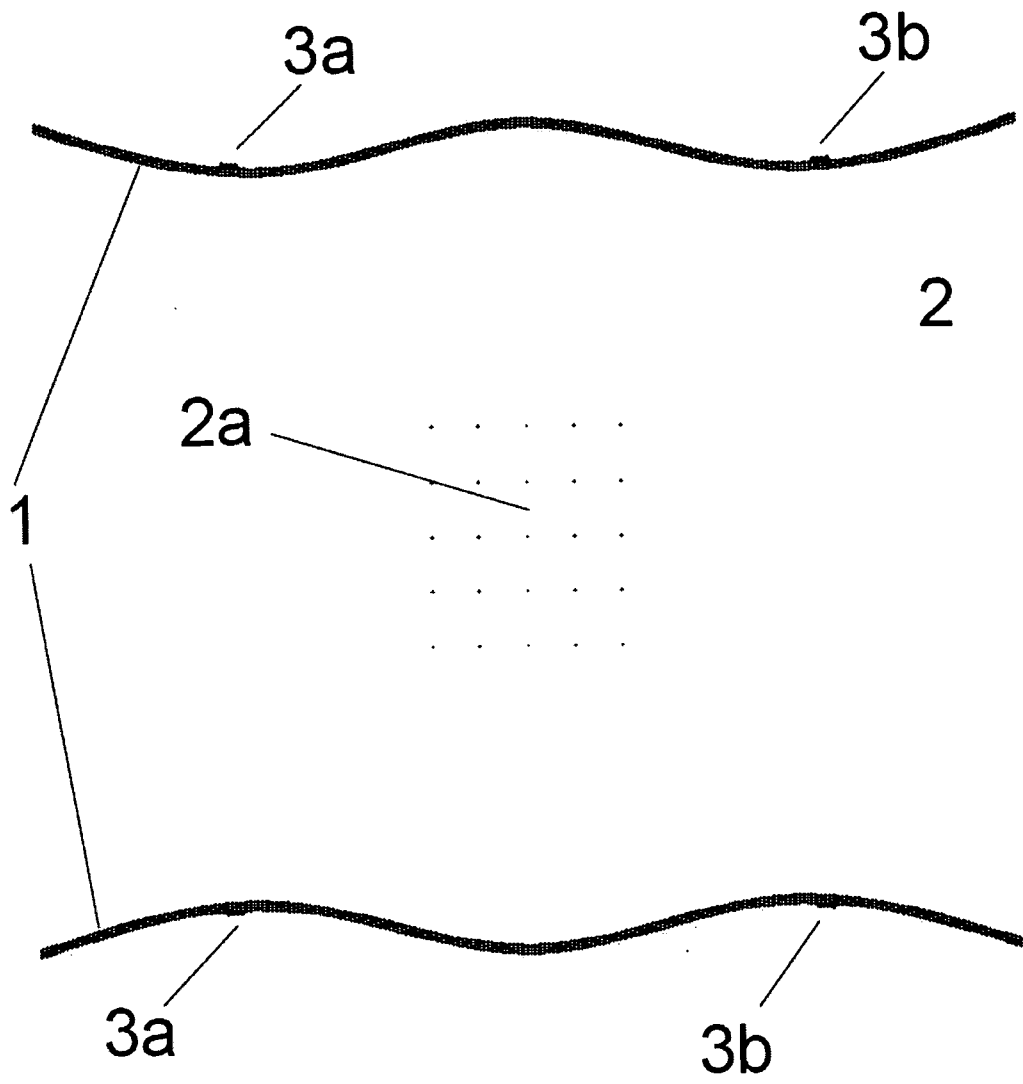
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die euklidische Norm der Homogenität gewählt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Maximumnorm der Homogenität gewählt wird.



Figur 1a



Figur 1b



Figur 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/001674

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01R33/387				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
X	LUGANSKY L B ET AL: "Optimal coils for producing uniform magnetic fields" JOURNAL OF PHYSICS E. SCIENTIFIC INSTRUMENTS, IOP PUBLISHING, BRISTOL, GB, vol. 20, no. 3, 1 March 1987 (1987-03-01), pages 277-285, XP020018452 ISSN: 0022-3735 the whole document	1-16		
X	P.N.MORGAN ET AL.: "Resistive Homogeneous MRI Magnet Design by Matrix Subset Selection" MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, vol. 41, 1999, pages 1221-1229, XP002573904 the whole document	1-16		
-/--				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex. </td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.	<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.	<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.			
* Special categories of cited documents :				
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention			
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone			
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.			
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family			
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed				
Date of the actual completion of the international search <p style="text-align: center; font-weight: bold;">19 March 2010</p>	Date of mailing of the international search report <p style="text-align: center; font-weight: bold;">31/03/2010</p>			
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Lersch, Wilhelm</p>			

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/001674

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 412 195 A (KURODA KUNISHIGE [JP]) 25 October 1983 (1983-10-25) the whole document	1-6
X	WO 03/019589 A1 (COATED CONDUCTORS CONSULTANCY [GB]; MAHER EAMONN [GB]) 6 March 2003 (2003-03-06) page 1, line 6 - page 1, line 21 page 8, line 30 - page 10, line 2 page 20, line 30 - page 22, line 2 figure 4	1-3,5-6
X	G.GOTTARDI ET AL.: "A Four Coil Exposure System (Tetracoil) Producing a Highly Uniform Magnetic Field" BIOELECTROMAGNETICS, vol. 24, 2003, pages 125-133, XP002573905 the whole document	1-3,5-6
X	J.E.EVERETT ET AL.: "Spherical coils for uniform magnetic fields" J.SCI.INSTRUM., vol. 43, 1966, pages 470-474, XP002573906 the whole document	1-3,6
X	JP 01 206607 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 18 August 1989 (1989-08-18) the whole document	1-4,6
X	JP 61 082404 A (TOSHIBA CORP) 26 April 1986 (1986-04-26) the whole document	1-3,5-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2009/001674

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4412195	A	25-10-1983	JP 1497506 C	29-05-1989
			JP 57172704 A	23-10-1982
			JP 63047127 B	20-09-1988
<hr/>				
WO 03019589	A1	06-03-2003	EP 1421592 A1	26-05-2004
			US 2005028347 A1	10-02-2005
<hr/>				
JP 1206607	A	18-08-1989	NONE	
<hr/>				
JP 61082404	A	26-04-1986	NONE	
<hr/>				

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/001674

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01R33/387

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	LUGANSKY L B ET AL: "Optimal coils for producing uniform magnetic fields" JOURNAL OF PHYSICS E. SCIENTIFIC INSTRUMENTS, IOP PUBLISHING, BRISTOL, GB, Bd. 20, Nr. 3, 1. März 1987 (1987-03-01), Seiten 277-285, XP020018452 ISSN: 0022-3735 das ganze Dokument	1-16
X	P.N.MORGAN ET AL.: "Resistive Homogeneous MRI Magnet Design by Matrix Subset Selection" MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, Bd. 41, 1999, Seiten 1221-1229, XP002573904 das ganze Dokument	1-16

-/--

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. März 2010

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

31/03/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lersch, Wilhelm

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/001674

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 412 195 A (KURODA KUNISHIGE [JP]) 25. Oktober 1983 (1983-10-25) das ganze Dokument	1-6
X	WO 03/019589 A1 (COATED CONDUCTORS CONSULTANCY [GB]; MAHER EAMONN [GB]) 6. März 2003 (2003-03-06) Seite 1, Zeile 6 - Seite 1, Zeile 21 Seite 8, Zeile 30 - Seite 10, Zeile 2 Seite 20, Zeile 30 - Seite 22, Zeile 2 Abbildung 4	1-3,5-6
X	G.GOTTARDI ET AL.: "A Four Coil Exposure System (Tetracoil) Producing a Highly Uniform Magnetic Field" BIOELECTROMAGNETICS, Bd. 24, 2003, Seiten 125-133, XP002573905 das ganze Dokument	1-3,5-6
X	J.E.EVERETT ET AL.: "Spherical coils for uniform magnetic fields" J.SCI.INSTRUM., Bd. 43, 1966, Seiten 470-474, XP002573906 das ganze Dokument	1-3,6
X	JP 01 206607 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 18. August 1989 (1989-08-18) das ganze Dokument	1-4,6
X	JP 61 082404 A (TOSHIBA CORP) 26. April 1986 (1986-04-26) das ganze Dokument	1-3,5-6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2009/001674

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
US 4412195	A	25-10-1983	JP 1497506 C	29-05-1989
			JP 57172704 A	23-10-1982
			JP 63047127 B	20-09-1988

WO 03019589	A1	06-03-2003	EP 1421592 A1	26-05-2004
			US 2005028347 A1	10-02-2005

JP 1206607	A	18-08-1989	KEINE	

JP 61082404	A	26-04-1986	KEINE	
