

(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
21. Juni 2018 (21.06.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/109099 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 33/421 (2006.01) *G01R 33/385* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/082863

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Dezember 2017 (14.12.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 225 347.6
16. Dezember 2016 (16.12.2016) DE

(71) Anmelder: **BRUKER BIOSPIN GMBH** [DE/DE]; Silberstreifen, 76287 Rheinstetten (DE).

(72) Erfinder: **WESTPHAL, Michael**; Trifelsstr. 22, 76877 Offenbach (DE).

(74) Anwalt: **KOHLER SCHMID MÖBUS PATENT-ANWÄLTE PARTNERSCHAFTSGESELLSCHAFT MBB**; Gropiusplatz 10, 70563 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: MRI SYSTEM WITH A GAP STRUCTURE IN A SCREENING TUBE ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung: MRI-SYSTEM MIT SPALTSTRUKTUR IN EINER ABSCHIRMROHR-ANORDNUNG

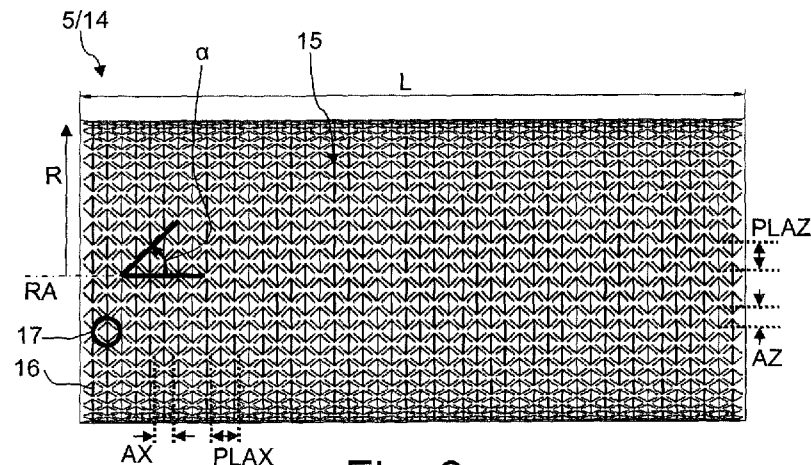


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to an MRI system (1) comprising: a cryostat (2) with a vacuum container (8) and a cryo container (10) in which a superconducting magnetic coil system (12) for generating a magnetic field (B0) in a sample volume (7), in the room temperature bore (3) of the cryostat (2) is arranged; an HF coil system (6) in the room temperature bore (3) for generating and capturing HF-signals in or outside of the sample volume (7); a gradient coil system (4) in the room temperature bore (3) for generating magnetic field gradients in the sample volume (7) and a screening tube arrangement (5) which is made at least partially from an electrically conductive material, the screening tube arrangement (5) being arranged radially about the gradient coil system (4). The invention is characterised in that the screening tube arrangement (5) has a gap structure (15) with a plurality of gaps (16: 26) which extend at least over one part of the radial depth of the screening tube arrangement (5) such that the gaps (16:26) are distributed axially and azimuthally on the screening tube arrangement (5) and that the profiles of the gaps (16:26) have parts in the axial direction and parts in the azimuthal direction. The invention also relates to an MRI system in which the effects of mechanical oscillations of the gradient coil system can

WO 2018/109099 A1



SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Rechenbericht (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)

be reduced more easily and in a better matter.

(57) Zusammenfassung: Ein MRI-System (1), umfassend - einen Kryostaten (2) mit einem Vakuumbehälter (8) und einem Kryobehälter (10), wobei im Kryobehälter (10) ein supraleitendes Magnetspulensystem (12) zur Erzeugung eines Magnetfelds B₀ in einem Probenvolumen (7) in einer Raumtemperaturbohrung (3) des Kryostaten (2) angeordnet ist, - ein HF-Spulensystem (6) in der Raumtemperaturbohrung (3), zum Erzeugen und Empfangen von HF-Signalen in bzw. aus dem Probenvolumen (7), - ein Gradientenspulensystem (4) in der Raumtemperaturbohrung (3), zur Erzeugung von Magnetfeldgradienten im Probenvolumen (7), - und eine Abschirmrohr-Anordnung (5), die zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material besteht, wobei die Abschirmrohr-Anordnung (5) radial um das Gradientenspulensystem (4) angeordnet ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmrohr-Anordnung (5) eine Spaltstruktur (15) mit einer Vielzahl von Spalten (16; 26) aufweist, die sich zumindest über einen Teil der radialen Tiefe der Abschirmrohr-Anordnung (5) erstrecken, dass die Spalten (16; 26) axial und azimuthal über die Abschirmrohr-Anordnung (5) verteilt angeordnet sind, und dass die Verläufe der Spalten (16; 26) Anteile in axialer Richtung und Anteile in azimuthaler Richtung haben. Die Erfindung stellt ein MRI-System zur Verfügung, bei dem die Auswirkungen von mechanischen Schwingungen des Gradientenspulensystems auf einfachere und bessere Weise gemindert werden können.

MRI-System mit Spaltstruktur in einer Abschirmrohr-Anordnung

15

Die Erfindung betrifft ein MRI-System, umfassend

- einen Kryostaten mit einem Vakuumbehälter und einem Kryobehälter, wobei im Kryobehälter ein supraleitendes Magnetspulensystem zur Erzeugung eines
- 20 Magnetfelds B_0 in einem Probenvolumen in einer Raumtemperaturbohrung des Kryostaten angeordnet ist,
- ein HF-Spulensystem in der Raumtemperaturbohrung, zum Erzeugen und Empfangen von HF-Signalen in bzw. aus dem Probenvolumen,
- ein Gradientenspulensystem in der Raumtemperaturbohrung, zur Erzeugung
- 25 von Magnetfeldgradienten im Probenvolumen,
- und eine Abschirmrohr-Anordnung, die zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material besteht, wobei die Abschirmrohr-Anordnung radial um das Gradientenspulensystem angeordnet ist.

Ein solches MRI-System ist aus der US 2010/0271024 A1 bekannt geworden.

In der bildgebenden Kernspinresonanz (magnetic resonance imaging, MRI) werden zur Erzeugung von Bildschnitten in schneller Folge Hochfrequenzpulse und Gradientenfelder erzeugt. Insbesondere das schnelle Schalten von Gradientenfeldern führt im starken Magnetfeld B₀ aufgrund von Lorenzkraften zu mechanischen Schwingungen des Gradientenspulensystems. Diese Schwingungen können zum einen in der Raumtemperaturbohrung einen untersuchten Patienten einem erheblichen Lärm aussetzen. Zum anderen können die Schwingungen des Gradientenspulensystems im starken Magnetfeld B₀ zur Induktion von Wirbelströmen (Eddy currents) führen, die wiederum Wirbelströme in benachbarten leitfähigen Strukturen des umgebenden Kryostaten induzieren, was sich bis in den Kryobehälter fortsetzen kann. Die induzierten Wirbelströme erwärmen den Kryobehälter und führen zu einem erhöhten Verbrauch an Kühlmittel (meist flüssiges Helium) des supraleitenden Magnetspulensystems im Kryobehälter, was den Betrieb des MRI-Systems teurer macht.

Die Problematik von mechanischen Schwingungen eines Gradientenspulensystems wird beispielsweise in der EP 2 864 802 B1 (Calvert) diskutiert; als Maßnahme wird dort eine aktive Schwingungsdämpfung vorgeschlagen. Eine aktive Schwingungsdämpfung ist jedoch sehr aufwändig.

In der DE 101 27 822 B4 (Ries) wurde vorgeschlagen, bei einem Grundfeldmagneten eines MRI-Systems mit einer inneren, einer äußeren und einer mittleren Einheit, die hohlzylinderförmig und elektrisch leitfähig ausgebildet sind, die Eigenfrequenz eines inneren Zylindermantels einer der Einheiten verstimmt gegenüber den Eigenfrequenzen der inneren Zylindermäntel der anderen Einheiten zu wählen, so dass eine auf magnetischer Kopplung beruhende Schwingungsübertragung gedämpft wird. Insbesondere wird zur Verstimmung ein 80K Strahlungsschild aus Kupfer oder

Messing vorgeschlagen. In Ausführungsformen wird vorgeschlagen, den inneren Zylindermantel der mittleren Einheit in axialer Richtung mit wenigstens drei Schlitzen zu versehen, oder auch einen der Zylindermäntel mit in axialer Richtung länglich ausgebildeten Streifen zu versehen. Nachteilig dabei ist, dass

5 die vorgeschlagenen Maßnahmen einen konstruktiven Eingriff in den Kryostaten erforderlich machen, und auch in gewissem Umfang Wirbelstromeinträge verbleiben.

In der DE 10 2006 018 650 B4 (Westphal) wird vorgeschlagen, ein warmes

10 Schwingungssystem, etwa ein Edelstahlrohr in der Raumtemperaturbohrung des Kryostaten, bezüglich elektrischer Leitzahl und mechanischer Kennzahl auf ein oder mehrere tiefkalte Schwingungssysteme abzustimmen. Auch hierbei verbleiben in gewissem Umfang Wirbelstromeinträge.

15 Aus der US 2010/0271024 A1 (Aubert) ist es bekannt geworden, zwischen einem Gradientenspulensystem und einem inneren Zylinder eines Kryostaten eine zusätzliche zylindrische Hülle vorzusehen, deren charakteristische Frequenz sich möglichst stark von den charakteristischen Frequenzen der übrigen Hüllen in Kryostaten unterscheidet, und die weiterhin eine schlechte

20 elektrische Leitfähigkeit aufweist. Es werden unter anderem schwere Materialien (mit hoher Dichte) und hoher Elastizität (niedrigem E-Modul) empfohlen, insbesondere Blei. Für diesen Ansatz stehen nur wenige Materialien zur Verfügung, die teuer sind und auch gesundheitliche bzw. umweltschutztechnische Probleme bereiten können. Insbesondere ist der

25 Einsatz von Blei aufgrund zahlreicher Vorschriften mittlerweile kaum mehr möglich.

Aufgabe der Erfindung

30 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein MRI-System zur Verfügung zu stellen, bei dem die Auswirkungen von mechanischen Schwingungen des

Gradientenspulensystems auf einfachere und bessere Weise gemindert werden können.

Kurze Beschreibung der Erfindung

5

Diese Aufgabe wird auf überraschend einfache und wirkungsvolle Weise gelöst durch ein MRI-System der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist,

10 dass die Abschirmrohr-Anordnung eine Spaltstruktur mit einer Vielzahl von Spalten aufweist, die sich zumindest über einen Teil der radialen Tiefe der Abschirmrohr-Anordnung erstrecken,

dass die Spalten axial und azimuthal über die Abschirmrohr-Anordnung verteilt angeordnet sind,

15 und dass die Verläufe der Spalten Anteile in axialer Richtung und Anteile in azimuthaler Richtung haben.

Die erfindungsgemäße MRI-Anordnung nutzt eine Abschirmrohr-Anordnung, die sowohl in axialer Richtung als auch in azimuthaler Richtung mechanisch geschwächt ist und sich daher in axialer Richtung und azimuthaler Richtung
20 vergleichsweise leicht elastisch verformen lässt, d.h. ein jeweiliges „effektives“ E-Modul wird gesenkt. Dadurch können die Frequenzen f_0 von Eigenresonanzen von allen Arten von Schwingungsmoden (insbesondere longitudinalen und azimuthalen Schwingungsmoden) gezielt verändert werden, insbesondere gesenkt werden. Insbesondere kann die Ausbildung von
25 langwelligen Schwingungsmoden unterdrückt werden.

Die Eigenresonanzen der Abschirmrohr-Anordnung können insbesondere gegenüber den Eigenresonanzen von anderen näherungsweise zylindrischen leitfähigen Strukturen wie den Wänden vom Vakuumbehälter oder Kryobehälter
30 oder auch von Strahlungsschilden verstimmt werden. Eine Resonanzkatastrophe kann so leicht ausgeschlossen werden. Eine besondere

Materialauswahl ist dafür nicht erforderlich, insbesondere können gängige, gleichwohl bevorzugt schwere Materialien (mit hoher Dichte) wie Kupfer gut eingesetzt werden. Durch die Menge des Materials für die Abschirmrohr-Anordnung kann ein hohes Gewicht, das bei einer Schwingung bewegt werden
5 muss, vorgegeben werden, ohne gleichzeitig die Elastizität zu vermindern.

Durch die Spalten wird erreicht, dass eine effektive Federkonstante $D1$ in axialer Richtung und eine effektive Federkonstante $D2$ in azimuthaler Richtung der Abschirmrohr-Anordnung im Vergleich zu einer Federkonstanten $D1'$ in
10 axialer Richtung und einer Federkonstanten $D2'$ in azimuthaler Richtung einer Abschirmrohr-Anordnung ohne Spaltstruktur vermindert ist.

Durch die sowohl azimuthalen als auch axialen Verlaufsanteile der Spalten der Spaltstruktur ist es grundsätzlich möglich, durch verschwenkende Biegungen in
15 der Abschirmrohr-Anordnung eine Streckung oder Stauchung in axialer oder auch radialer Richtung herbeizuführen. Dadurch wird die Elastizität besonders hoch.

Die Abschirmrohr-Anordnung stellt, trotz der Spaltenstruktur, in der Regel
20 azimuthal und axial durchgehende Strompfade zur Verfügung, ggf. jedoch nicht über die volle radiale Wandstärke. Die Abschirmrohr-Anordnung ist elektrisch leitfähig und daher dazu ausgebildet, dass Wirbelströme in ihr induziert werden können, insbesondere mit grundsätzlich beliebigen Größen von Stromschleifen-Durchmessern in axialer und azimuthaler Richtung. Insbesondere wird die Größe
25 von Stromschleifen nicht durch die Spalten nach oben hin begrenzt. Dadurch kann eine sehr effektive elektrische Abschirmung nach weiter außen, insbesondere in den Bereich einer supraleitenden Magnetfeldspule, erreicht werden.

30 Aufgrund des (in Hinblick auf die Elastizität) hohen Gewichts der Abschirmrohr-Anordnung erfährt die Abschirmrohr-Anordnung nur vergleichsweise geringe

mechanische Schwingungsamplituden durch Lorenzkräfte aufgrund von in ihr induzierten Wirbelströmen, wodurch elektromagnetische Kopplungen nach weiter außen vermindert sind, also die Weitergabe von Energie reduziert wird.

- 5 Die Spalten sind typischerweise gleichmäßig auf der Abschirmrohr-Anordnung verteilt. Typischerweise werden durch die Spalten Beschwerungselemente (oder Beschwerungsbereiche) auf einem Trägerrohr voneinander separiert, oder separierte Perforationen in einem Abschirmrohr ausgebildet. In der Regel weist eine Abschirmrohr-Anordnung wenigstens 50, und in der Regel sogar
10 wenigstens 500 voneinander separate Beschwerungselemente oder Perforationen auf.

Die Abschirmrohr-Anordnung ist selbsttragend, d.h. alle Teile des Abschirmrohrs sind (ohne eine Stützstruktur) fest miteinander verbunden.

15

Bevorzugt ist die Abschirmrohr-Anordnung radial zwischen dem Gradientenspulensystem und dem Kryobehälter, und besonders bevorzugt zwischen dem Gradientenspulensystem und dem Kryostaten angeordnet; es ist aber auch möglich, die Abschirmrohr-Anordnung innerhalb des Kryostaten
20 anzuordnen, etwa im Vakuumbehälter anstelle von (oder zusätzlich zu) einem Strahlungsschild.

25

Das MRI-System ist typischerweise ein Ganzkörpertomograph, mit einer Patientenöffnung von wenigstens 60cm Durchmesser; alternativ können auch
25 präklinische MRI-Systeme ausgebildet werden. Im Kryobehälter ist typischerweise flüssiges Helium angeordnet, das das supraleitende Magnetspulensystem kühlt. Typischerweise ist die Abschirmrohr-Anordnung im Wesentlichen kreiszylindermantelförmig ausgebildet, wobei eine axiale Länge L der Abschirmrohr-Anordnung meist 3-bis 6-mal so groß ist wie dessen (größerer Außen-)Radius R. Eine typische Länge L liegt zwischen 150 cm und 250 cm.
30 Ein typischer Radius R liegt zwischen 35 cm und 55 cm. Meist gilt $L \geq 3 \cdot R$ oder

$L \geq 4 \cdot R$. Die Abschirmrohr-Anordnung ist grundsätzlich bleifrei und Uran-frei ausgebildet. Die Abschirmrohr-Anordnung ist bevorzugt zu wenigstens 50Vol% aus einem Material mit hoher Dichte (bevorzugt mit 6 g/cm³ oder höher, oder auch mit 8 g/cm³ oder höher, etwa aus oder enthaltend Kupfer) gefertigt, meist
5 einem metallischen Material.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

Ausführungsformen zu einem Trägerrohr mit Beschwerungselementen

10

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen MRI-Systems sieht vor, dass die Abschirmrohr-Anordnung ein elektrisch leitfähiges Trägerrohr und eine Vielzahl von Beschwerungselementen umfasst, die voneinander beabstandet auf dem Trägerrohr angeordnet sind, so dass zwischen den
15 Beschwerungselementen die Spaltstruktur ausgebildet ist, insbesondere wobei das Trägerrohr aus Edelstahl gefertigt ist. Die elektrische Leitfähigkeit und die Steifigkeit der Abschirmrohr-Anordnung werden durch das Trägerrohr bestimmt, wohingegen über die Beschwerungselemente bzw. deren Trägheit das Schwingungsverhalten gezielt beeinflusst werden kann, und insbesondere
20 eine Eigenfrequenz gesenkt werden kann. Die Anbringung von Beschwerungselementen ist meist sehr einfach möglich, insbesondere meist einfacher als das Einbringen von Perforationen. Die Beschwerungselemente werden typischerweise auf der Außenseite des Trägerrohrs befestigt, beispielsweise aufgelötet, geschweißt (insbesondere punktgeschweißt) oder
25 aufgeklebt. Die Spaltstruktur bildet meist ein Gitter auf der gesamten Abschirmrohr-Anordnung aus. Die Beschwerungselemente können beispielsweise als quadratische Plättchen ausgebildet sein; die Spaltstruktur bildet dann ein quadratisches Gitter. Das Trägerrohr ist typischerweise aus Metall gefertigt, insbesondere Edelstahl. Bei Verwendung eines
30 vergleichsweise schlecht leitenden Metalls (etwa mit der Leitfähigkeit von Edelstahl von ca. $1,4 \cdot 10^6$ S/m oder schlechter bei 20°C) für das Trägerrohr

kann die vom Gradientenspulensystem ausgekoppelte Energie mit besonders hohem Anteil als ohmsche Wärme im Trägerrohr verbraucht werden, was besonders wirksam einen Energieeintrag in den Kryobehälter verhindert bzw. reduziert. Das Trägerrohr stellt in der Regel azimuthal und axial ununterbrochene Strompfade zur Verfügung. Das Trägerrohr ist in der Regel durchgehend (ohne Perforationen) ausgebildet, und hat meist eine kreiszylindermantelförmige Gestalt. Die Beschwerungselemente werden bevorzugt aus einem Material mit hoher Dichte (bevorzugt mit 6 g/cm³ oder auch mit 8 g/cm³ oder höher, etwa aus oder enthaltend Kupfer) gefertigt, meist einem metallischen Material.

10

Bei einer bevorzugten Weiterbildung dieser Ausführungsform sind die Beschwerungselemente jeweils über einen oder mehrere Abstandhalter auf dem Trägerrohr befestigt, insbesondere wobei der oder die Abstandhalter, mit denen jeweils ein Beschwerungselement befestigt ist, zusammen eine Fläche AS einnehmen, und das Beschwerungselement eine Fläche AB überdeckt, mit $5 \cdot AS \leq AB$. Durch den Abstandhalter wird bewirkt, dass das Beschwerungselement eine große Fläche überspannen kann, aber nur minimal die elektrische Leitfähigkeit und die Steifigkeit der Abschirmrohr-Anordnung beeinflusst. Meist ist genau ein Abstandhalter je Beschwerungselement ausgebildet. Die radiale Höhe eines Abstandhalters ist typischerweise kleiner als die radiale Höhe des Beschwerungselements, bevorzugt um wenigstens einen Faktor 2. Alternativ können die Beschwerungselemente auch direkt auf dem Trägerrohr angeordnet sein.

15

20

25 *Ausführungsformen betreffend perforiertes Abschirmrohr*

Bei einer anderen, bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Abschirmrohr-Anordnung ein Abschirmrohr aufweist, das als Spaltstruktur eine Vielzahl von separaten Perforationen aufweist, die jeweils vollständig durch die Wand des Abschirmrohres hindurchtreten, insbesondere wobei jede Perforation einen Spalt oder mehrere zusammenhängende Spalten umfasst. Die

30

Perforationen bringen einer Verformung keinen Widerstand entgegen. Hierdurch kann eine sehr starke Erhöhung der Elastizität erreicht werden (d.h. eine sehr starke Absenkung des effektiven E-Moduls). Zudem kann mit durchgehenden Perforationen bei Verwendung des Abschirmrohrs in der Umgebungsluft in der Raumtemperaturbohrung ein akustischer Kurzschluss eingerichtet werden, so dass Schwingungen des Abschirmrohrs zu keiner (oder nur einer geringen) Lärmentwicklung führen. Alternativ zu dieser Ausführungsform ist es auch möglich, in ein Rohr die Spalten lediglich als Vertiefungen bzw. Nuten von radial innen und/oder radial außen einzubringen, etwa einzufräsen.

Bevorzugt ist eine Weiterbildung dieser Ausführungsform, bei der für die Spaltbreite SB und eine größte Ausdehnung AD eines jeweiligen Spaltes gilt: $SB < 0,25 \cdot AD$, bevorzugt $SB < 0,1 \cdot AD$. Durch vergleichsweise schmale Spalten kann eine starke mechanische Schwächung bei Erhalt von viel Masse erreicht werden. Typischerweise gilt auch alternativ oder zusätzlich $SB < 1/20 \cdot R$, bevorzugt wobei $SB < 1/50 \cdot R$, mit R : größter Radius der Abschirmrohr-Anordnung. Meist liegt die Spaltbreite SB zwischen $100 \mu m$ und $2,5 mm$. Die Spaltbreite kann quer zur (lokalen) Erstreckungsrichtung bzw. quer zur (größten) Ausdehnung des Spalts gemessen werden.

Bevorzugt ist auch eine Weiterbildung, bei der zumindest ein Teil der Perforationen jeweils ausgebildet ist mit wenigstens einem geraden Spalt, der in einem Winkel α zwischen 30° und 60° oder zwischen -60° und -30° zur axialen Richtung verläuft. Dadurch ist es möglich, mittels lokaler Biegeverformungen von Material am geraden Spalt besonders einfach axiale und radiale Streckungen bzw. Stauchungen zu bewirken, was weit weniger Kraft erfordert als eine unmittelbare lokale Streckung oder Stauchung von Material. Bevorzugt beträgt $\alpha = 45^\circ$ oder -45° .

Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung sind die Spalte einer Perforation oder einer Gruppe von Perforationen jeweils näherungsweise rautenförmig angeordnet, insbesondere wobei ein Paar einander gegenüberliegender Spitzen einer Raute axial und/oder ein Paar einander gegenüberliegender
5 Spitzen der Raute azimuthal ausgerichtet sind. Diese Gestalt hat in der Praxis besonders niedrige Frequenzen von Eigenresonanzen sowohl axial/longitudinal als auch radial/azimutal.

Besonders bevorzugt ist eine Weiterentwicklung, bei der in jeder Raute
10 weiterhin ein mittiger Schlitz vorgesehen ist, der zwischen einem Paar einander gegenüberliegender Spitzen der Raute verläuft. Die Rauten bzw. Perforationen können dann die Gestalt eines „Doppelpfeils“ aufweisen. Durch den mittigen Schlitz (Spalt) erhöht sich die Elastizität des Abschirmrohrs in Richtung senkrecht zum mittigen Schlitz weiter.

15 Dabei ist es vorteilhaft, wenn abwechselnd zwei Typen von Rauten vorgesehen sind, deren mittige Schlitze (Spalten) zwischen unterschiedlich orientierten Paaren von Spitzen verlaufen. Dadurch kann eine Erhöhung der Elastizität in mehrere Richtungen, insbesondere axial und azimuthal, eingerichtet werden.

20 Vorteilhaft ist auch eine Weiterbildung, bei der das Abschirmrohr mit zwei sich abwechselnden Typen von Perforationen ausgebildet ist, insbesondere wobei die beiden Typen von Perforationen mit gleicher Gestalt, aber gegeneinander verdreht, bevorzugt um 90° gegeneinander verdreht, ausgebildet sind.

25 Hierdurch kann eine hohe Elastizität auch in zwei (oder bei noch mehr Typen von Perforationen noch mehr) Richtungen erreicht werden. Ein Typus ist typischerweise axial ausgerichtet, und der andere Typus ist typischerweise azimuthal ausgerichtet, um die effektiven Federkonstanten D1, D2 gezielt beeinflussen zu können.

Bei einer anderen Weiterbildung gilt für eine Wandstärke WS des Abschirmrohrs: $WS > 8 \text{ mm}$, bevorzugt $WS > 10 \text{ mm}$, besonders bevorzugt $WS > 12 \text{ mm}$. Durch eine hohe Wandstärke kann eine große Gesamtmasse des Abschirmrohrs erreicht werden, wodurch die Schwingungsamplitude infolge von
5 Lorenzkraften durch Wirbelströme im Abschirmrohr klein gehalten wird. Dies hält weiter außen induzierte Wirbelströme klein.

Vorteilhaft ist auch eine Weiterbildung, bei der das elektrisch leitfähige Material des Abschirmrohrs eine Dichte ρ aufweist, mit $\rho > 6,0 \text{ g/cm}^3$,
10 bevorzugt wobei $\rho > 8,0 \text{ g/cm}^3$. Auch dadurch kann eine hohe Gesamtmasse des Abschirmrohrs erreicht werden, wodurch die Schwingungsamplitude infolge von Lorenzkraften durch Wirbelströme im Abschirmrohr klein gehalten wird. Dies hält wiederum weiter außen induzierte Wirbelströme klein.

15 Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist das Abschirmrohr aus einer Vielzahl von gegeneinander fixierten Folien, insbesondere Metallfolien, gebildet. Die Folien (oder Bleche) sind so dünn, dass sie zur Einbringung der Perforationen leicht bearbeitet (etwa gestanzt) werden können. Die Folien werden so miteinander verbunden, dass die eingebrachten Perforationen fluchten,
20 beispielsweise durch Löten.

Ebenfalls bevorzugt ist eine Weiterbildung, bei der das Abschirmrohr zwischen benachbarten Perforationen Stege mit einer minimalen Breite MB ausbildet, mit $1/100 \cdot R < MB$ und $MB < 1/5 \cdot R$, bevorzugt wobei $1/40 \cdot R < MB$ und/oder $MB < 1/10 \cdot R$, mit R: größter Radius der Abschirmrohr-Anordnung. Meist liegt die
25 minimale Breite zwischen 2,5 mm und 4,0 cm. Diese Stegbreiten haben sich in der Praxis bewährt, insbesondere bezüglich einer ausreichenden mechanischen Stabilität bei Montage und Betrieb, sowie bezüglich der Einstellung von Resonanzfrequenzen.

30

Allgemeine Ausführungsformen

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Ausführungsform mit Beschwerungselementen oder der Ausführungsform mit durchgehenden Perforationen ist vorgesehen, dass die Beschwerungselemente oder

5 Perforationen jeweils eine maximale axiale Ausdehnung AX und eine maximale azimutale Ausdehnung AZ aufweisen, wobei gilt: $AX < 0,3 \cdot R$ und $AZ < 0,3 \cdot R$, bevorzugt wobei $AX < 0,2 \cdot R$ und/oder $AZ < 0,2 \cdot R$, besonders bevorzugt wobei $AX < 0,1 \cdot R$ und/oder $AZ < 0,1 \cdot R$, mit R : größter Radius der Abschirmrohr-Anordnung. Durch eine fein unterteilte Spaltstruktur ist sichergestellt, dass die

10 (relativen) mechanischen Schwächungen und die (verbleibende) Leitfähigkeit entsprechend fein verteilt werden, wodurch die Ausbildung von störenden Zusatzmoden vermieden wird bzw. eine Ausbildung auch von kleineren Kreisströmen möglich wird, so dass Energie gezielt im Abschirmrohr absorbiert werden kann. Man beachte, dass meist auch zusätzlich gilt: $AX \geq 1/200 \cdot R$ oder

15 $AX \geq 1/100 \cdot R$, und $AZ \geq 1/100 \cdot R$.

Vorteilhaft ist eine Weiterentwicklung hierzu, bei der für die Spaltbreite SB der Spalte weiterhin gilt: $SB \leq 1/5 \cdot AX$ und $SB \leq 1/5 \cdot AZ$. Durch die kleine Spaltbreite ist sichergestellt, dass eine große Gesamtmasse der Abschirmrohr-Anordnung

20 erreicht werden kann. Meist gilt auch zusätzlich $SB \geq 1/50 \cdot AX$ und $SB \geq 1/50 \cdot AZ$.

Vorteilhaft ist auch eine Ausführungsform, bei der durch die Spaltstruktur eine effektive Federkonstante $D1$ in axialer Richtung und eine effektive

25 Federkonstante $D2$ in azimutaler Richtung der Abschirmrohr-Anordnung im Vergleich zu einer Federkonstanten $D1'$ in axialer Richtung und einer Federkonstanten $D2'$ in azimutaler Richtung einer Abschirmrohr-Anordnung ohne Spaltstruktur vermindert ist, wobei gilt: $D1/D1' < 0,3$ und $D2/D2' < 0,3$, bevorzugt wobei $D1/D1' < 0,1$ und/oder $D2/D2' < 0,1$. Die angegebenen

30 Verminderungen der Federkonstanten $D1$, $D2$ sind mit Beschwerungselementen oder auch durchgehenden Perforationen gut zu

erreichen, und ermöglichen eine gezielte Einstellung von Frequenzen von Eigenresonanzen grundsätzlich unabhängig vom verwendeten Material der Abschirmrohr-Anordnung.

- 5 Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der die Abschirmrohr-Anordnung radial zwischen dem Gradientenspulensystem und dem Kryostaten angeordnet ist. Mit anderen Worten, die Abschirmrohr-Anordnung befindet sich in der Raumtemperaturbohrung in Umgebungsluft, um das Gradientenspulensystem herum. In diesem Fall braucht die Konstruktion des
- 10 Kryostaten nicht verändert zu werden, was einen besonders einfachen Aufbau erlaubt. Bei Verwendung von durchgehenden Perforationen kann über einen so genannten akustischen Kurzschluss die Lärmentwicklung klein gehalten werden.
- 15 Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform, bei der die Spaltstruktur periodisch auf der Abschirmrohr-Anordnung ausgebildet ist. Eine periodische Struktur ist einfach auszubilden und ermöglicht im Wesentlichen lokal überall das gleiche mechanische und elektrische Verhalten. Dies vermeidet die Entstehung von Zusatzmoden und unterschiedlich starke elektrische Abschirmwirkungen über
- 20 die Ausdehnung der Abschirmrohr-Anordnung. Ein periodischer Spalt oder eine periodische Gruppe von Spalten wiederholt sich auf der Abschirmrohr-Anordnung mit einem immer gleichen Versatz in axialer und/oder radialer Richtung. Typischerweise gilt für eine kleinste Periodenlänge PL der periodisch angeordneten Spalten oder Gruppen von Spalten: $PL < 0,4 \cdot R$, bevorzugt wobei
- 25 $PL < 0,3 \cdot R$, besonders bevorzugt wobei $PL < 0,2 \cdot R$. Bevorzugt gilt für die Periodenlänge PL_{AZ} in azimuthaler Richtung und die Periodenlänge PL_{AX} in axialer Richtung auch $PL_{AZ} < 0,4 \cdot R$, bevorzugt $PL_{AZ} < 0,3 \cdot R$, und/oder $PL_{AX} < 0,4 \cdot R$, bevorzugt $PL_{AX} < 0,3 \cdot R$. Meist gilt auch zusätzlich $PL_{AZ} \geq 1/100 \cdot R$, und $PL_{AX} \geq 1/200 \cdot R$ oder $PL_{AX} \geq 1/100 \cdot R$.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform gilt für einen Flächenanteil FP der Spaltstruktur an der Abschirmrohr-Anordnung: $FP \leq 25\%$, bevorzugt $FP \leq 10\%$. Dadurch kann wiederum die Gesamtmasse der Abschirmrohr-Anordnung besonders groß gewählt werden. Entsprechend wird eine niedrige

5 Schwingungsamplitude in der Abschirmrohr-Anordnung eingestellt, und ein Energieübertrag weiter nach außen ist reduziert. Man beachte, dass zusätzlich meist auch gilt $FP \geq 1\%$.

Besonders bevorzugt ist eine Ausführungsform, bei der die Abschirmrohr-

10 Anordnung gegenüber dem Gradientenspulensystem und gegenüber dem Kryobehälter, und bevorzugt gegenüber dem gesamten Kryostaten, zumindest in axialer Richtung, und bevorzugt auch in radialer Richtung, frei schwingfähig gelagert ist. Mit anderen Worten, die Abschirmrohr-Anordnung ist mechanisch schwingungs isoliert gelagert. Dadurch werden mechanische Schwingungen des

15 supraleitenden Magnetspulensystems einer Probe im Probenvolumen minimiert, und dadurch die Qualität einer MRI-Messung verbessert.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter

20 ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung und Zeichnung

Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen MRI-Systems, mit einer Abschirmrohr-Anordnung in der Raumtemperaturbohrung zwischen Gradientenspulensystem und Innenwand des Kryostaten;
- Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen MRI-System, mit einer Abschirmrohr-Anordnung im Vakuumbehälter des Kryostaten;
- Fig. 3 eine schematische Seitenansicht eines Abschirmrohrs für die Erfindung, mit rautenförmigen Perforationen;
- Fig. 4 eine schematische Stirnansicht des Abschirmrohrs von Fig. 3;
- Fig. 5a-5e verschiedene Varianten von periodischen Perforationsmustern eines Abschirmrohrs, für die Erfindung;
- Fig. 6a einen Ausschnitt aus einem schematischen Längsschnitt eines Abschirmrohrs für die Erfindung, mit durchgehenden Perforationen;
- Fig. 6b einen Ausschnitt aus einem schematischen Längsschnitt eines Abschirmrohrs für die Erfindung, mit nutenförmigen Spalten;

Fig. 7 eine schematische Seitenansicht einer Abschirmrohr-Anordnung für die Erfindung, mit einem Trägerrohr und quadratischen Beschwerungselementen;

5 Fig. 8 ein Ausschnitt aus einem schematischen Längsschnitt der Abschirmrohr-Anordnung von Fig. 7;

Fig. 9 einen ausgeschnittenen Teil eines Abschirmrohrs für die Erfindung, in schematischer perspektivischer Darstellung;

10

Fig. 10 eine schematische, teilweise geschnittene Ansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen MRI-Systems, mit schwingungsentkoppelter Lagerung der Abschirmrohr-Anordnung in der Raumtemperaturbohrung.

15

Die **Fig. 1** zeigt in einer ersten Ausführungsform ein erfindungsgemäßes MRI-System 1, hier ausgebildet als Ganzkörper-Tomograph, umfassend einen Kryostaten 2 mit einer Raumtemperaturbohrung 3.

20

In der Raumtemperaturbohrung 3 ist ein Gradientenspulensystem 4 angeordnet, das erfindungsgemäß von einer Abschirmrohr-Anordnung 5 radial umgeben ist, die hier ebenfalls in der Raumtemperaturbohrung 3 angeordnet ist. Weiterhin enthält die Raumtemperaturbohrung 3 ein HF-Spulensystem 6,
25 mit dem HF-Pulse in ein Probenvolumen 7 im Inneren des HF-Spulensystems 6 eingestrahlt werden können und HF-Signale aus dem Probenvolumen 7 empfangen werden können.

30

Der Kryostat 2 umfasst einen evakuierten Vakuumbehälter 8, der nach radial Innen durch eine Kryostatenwand 8a begrenzt ist. Im Vakuumbehälter 8 ist hier ein Strahlungsschild 9 angeordnet, der auf eine Temperatur von ca. 80 K

gekühlt ist, etwa mit flüssigem Stickstoff. Weiterhin enthält der Vakuumbehälter 8 einen Kryobehälter 10, der mit einem Kühlmittel (hier flüssiges Helium bei 4,2 K) zumindest teilweise gefüllt ist nach radial innen durch eine Kryobehälterwand 10a begrenzt ist. Im Kryobehälter 10 ist ein Spulenträger 11
5 angeordnet, auf dem ein Supraleiterdraht hier solenoidförmig aufgewickelt ist und dadurch ein supraleitendes Magnetspulensystem 12 bildet. Das supraleitende Magnetspulensystem 12 erzeugt ein starkes, statisches Magnetfeld B0 im Probenvolumen 7; darüber hinaus herrscht auch im gesamten radialen Innenbereich der Magnetspulenordnung 12 ein starkes
10 Magnetfeld.

Bei Bildaufnahmen aus dem Probenvolumen 7 werden mit dem Gradientenspulensystem 4 Magnetfeldgradienten geschaltet; dabei werden starke elektrische Ströme durch das Gradientenspulensystem 4 geleitet. Die
15 Schaltfrequenz liegt meist zwischen 1 kHz und 2 kHz. Die stromführenden Leiter im Gradientenspulensystem 4 erfahren Lorentzkräfte im starken Magnetfeld des Magnetspulensystems 12, wodurch das Gradientenspulensystem 4 in mechanische Schwingungen versetzt wird. Die solchermaßen bewegten leitfähigen Strukturen des Gradientenspulensystems 4
20 im Magnetfeld können Wirbelströme in benachbarten leitfähigen zylindrischen Strukturen erzeugen, etwa in der Kryostatenwand 8a. Die Wirbelströme erzeugen wiederum Lorentzkräfte in der Kryostatenwand 8a, wodurch diese wiederum bewegt wird. Dies kann wiederum Wirbelströme in weiter außen liegenden Strukturen, etwa dem Strahlungsschild 9, und so fort über die
25 Kryobehälterwand 10a bis in den Träger 11 oder gar in das Magnetspulensystem 12 hinein erzeugen. Dadurch kommt es zu einer Erwärmung des Kühlmittels im Kryobehälter 10, was den Kühlmittelverbrauch erhöht.

30 Um die Übertragung von Wirbelströmen bis in den Träger 11 oder gar das Magnetspulensystem 12 hinein zu minimieren, ist erfindungsgemäß hier die

Abschirmrohr-Anordnung 5 zwischen dem Gradientenspulensystem 4 und dem Kryobehälter 2 bzw. dessen Kryobehälterwand 8a angeordnet. Die Abschirmrohr-Anordnung 5 ist sowohl von dem Gradientenspulensystem 4 als auch von der Kryobehälterwand 8a radial beabstandet angeordnet und
5 gegenüber dem Kryostaten 2 und dem Gradientenspulensystem 4 schwingungsentkoppelt gelagert.

Die Abschirmrohr-Anordnung 5 ist hier als ein Abschirmrohr aus Kupfer mit durchgehenden Perforationen (nicht näher dargestellt, vgl. hierzu aber Fig. 3 oder Fig. 6a) ausgebildet, die sich axial (vgl. Achse A der
10 Raumtemperaturbohrung 3, die koaxial zur Rohrachse verläuft) und azimuthal verteilen und erstrecken. Die Abschirmrohr-Anordnung 5 schirmt die äußeren leitfähigen zylindrischen Strukturen 8a, 9, 10a, 11 elektrisch von dem Gradientenspulensystem 4 ab. Weiterhin ist die Abschirmrohr-Anordnung 5
15 aufgrund der Perforationen und des Gewichts des Kupfermaterials mit deutlich niedrigeren Resonanzfrequenzen (longitudinal und radial) ausgestattet als die äußeren Strukturen 8a, 9, 10a, 11. Aufgrund der verhältnismäßig großen Masse können induzierte Wirbelströme die Abschirmrohr-Anordnung 5 auch nur mit einer sehr kleinen Amplitude auslenken, wodurch eine weitere Induktion
20 von Wirbelströmen in der Kryostatenwand 8a minimiert ist. Durch die durchgehenden Perforationen ist eine Lärmentwicklung bei Schwingung der Abschirmrohr-Anordnung 5 reduziert.

Die **Fig. 2** zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen MRI-
25 Systems 1, ähnlich zu dem MRI-System aus der Fig. 1, so dass nur die wesentlichen Unterschiede erläutert werden.

In dieser Ausführungsform sind in der Raumtemperaturbohrung 3 des Kryostaten 2 das Gradientenspulensystem 4 und das HF-Spulensystem 6
30 angeordnet. Die Abschirmrohr-Anordnung 5 ist innerhalb des Vakuumbehälters 8 angeordnet, hier zwischen der Kryostatenwand 8a und einem

- Strahlungsschild 13, der hier auf eine Temperatur von ca. 20 K gekühlt ist, etwa mit flüssigem Helium. Die Abschirmrohr-Anordnung 5 wird hier auf eine Temperatur von ca. 80 K gekühlt, etwa mittels flüssigen Stickstoffs, so dass die Abschirmrohr-Anordnung 5 gleichzeitig die Funktion eines (weiteren)
- 5 Strahlungsschildes hat. Die Abschirmrohr-Anordnung 5 besteht hier vorzugsweise aus einem Trägerrohr aus Edelstahl, auf dem Beschwerungselemente aus Kupfer befestigt sind (nicht näher dargestellt, vgl. aber Fig. 7 und Fig. 8).
- 10 Die Abschirmrohr-Anordnung 5 verhindert bzw. minimiert eine Übertragung von Wirbelströmen von der Kryostatenwand 8a auf den Strahlungsschild 13 oder die anderen, weiter außen liegenden, leitfähigen zylindrischen Strukturen wie die Kryobehälterwand 10a oder den Träger 11, und damit eine Erwärmung des supraleitenden Magnetspulensystems 12.
- 15 Die **Fig. 3** in schematischer Seitenansicht und die **Fig. 4** in einer schematischen stirnseitigen Ansicht zeigen eine Abschirmrohr-Anordnung 5 für die Erfindung, wie sie etwa im MRI-System von Fig. 1 verbaut werden kann.
- 20 Die Abschirmrohr-Anordnung 5 ist mit einem im wesentlichen zylindermantelförmigen Abschirmrohr 14 ausgebildet, das hier aus Kupfer gefertigt ist. Im Zentrum des im Querschnitt kreisringförmigen Abschirmrohrs 14 verläuft in axialer Richtung eine Rohrachse RA. In der gezeigten Ausführungsform ist die axiale Länge L des Abschirmrohrs 14 ca. 4,4 mal so
- 25 groß wie dessen (äußerer) Radius R. Die Wandstärke WS (in radialer Richtung) des Abschirmrohrs 14 beträgt hier das ca. 0,022-fache des Radius R. Typische Abmessungen der Abschirmrohr-Anordnung 5 liegen bei L von 2,0 m, R=0,45 m und WS=0,01 m.
- 30 Das Abschirmrohr 14 weist eine Spaltstruktur 15 mit einer Vielzahl von Spalten 16 auf. Die Spalten 16 verlaufen hier jeweils (auf dem kreiszylindrisch

- gebogene Abschirmrohr 14) gerade, d.h. die axiale Position und die azimutale Position ändern sich beim Fortschreiten entlang des jeweiligen Spalts 16 linear, und mit konstanter Spaltbreite. Die Spalten 16 sind hier jeweils durchgehend, d.h. erstrecken sich durch die gesamte Wandstärke WS. Die meisten der
- 5 Spalten 16 verlaufen hier unter 45° (oder -45°) zur axialen Richtung (vgl. die Rohrachse RA) und auch zur azimutalen Richtung (entlang des Rohrumfangs), haben also einen Verlaufsanteil sowohl in axialer Richtung als auch in azimutaler Richtung. Einige Spalten 16 verlaufen hier in azimutaler Richtung.
- 10 Eine Gruppe von hier jeweils fünf zusammenhängenden Spalten 16 bildet jeweils eine Perforation 17; verschiedene Perforationen 17 sind durch (durchgehende) Stege des Abschirmrohrs 14 voneinander getrennt. In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform sind alle Perforationen 17 vom gleichen Typ, insbesondere mit gleicher Gestalt, Größe und Orientierung relativ zur axialen
- 15 Richtung und zur (lokalen) azimutalen Richtung.

- Die Perforationen 17 sind hier näherungsweise rautenförmig ausgebildet, jeweils mit zwei einander gegenüberliegenden, geschlossenen Spitzen und einem zwischen diesen geschlossenen Spitzen verlaufenden Schlitz, der hier in
- 20 azimutaler Richtung verläuft („Doppelpfeil“). Die offenen Spitzen einer jeweiligen Perforation 17 liegen in axialer Richtung einander gegenüber. Die Flanken der Pfeilspitzen verlaufen hier mit einem Winkel α von 45° oder -45° zur axialen Richtung.

- 25 Die Perforationen 17 sind über die gesamte axiale Länge L und den gesamten Umfang des Abschirmrohrs 14 verteilt angeordnet, hier periodisch verteilt angeordnet. Die axiale Periodenlänge PLAX und die azimutale Periodenlänge PLAZ sind hier deutlich kleiner als der Radius R, hier mit PLAX/R von ca. 0,19 und PLAZ/R von ca. 0,19.

Die größte axiale Ausdehnung AX einer Perforation 17 und die größte azimutale Ausdehnung AZ einer Perforation 17 sind ebenfalls jeweils deutlich kleiner als der Radius R, hier mit AX/R von ca. 0,16 und AZ/R von ca. 0,16.

5 Um die vergleichsweise kleinen Perforationen 17 herum können elektrische Ströme fließen, insbesondere Kreisströme um eine oder mehrere Perforationen 17, oder auch Ströme um den gesamten Umfang des Abschirmrohrs 17 herum oder auch über die gesamte Länge L des Abschirmrohrs 14.

10 Die Spaltstruktur 15 schwächt das Abschirmrohr 14 mechanisch sowohl in axialer als auch in radialer Richtung erheblich. Dabei nimmt die Spaltstruktur 15 (bzw. deren Spalten 16) typischerweise lediglich einen Flächenanteil FP von weniger als 20% ein, meist weit weniger als 10%, ein, bezogen auf die gesamte (noch unperforierte) Außenfläche des Abschirmrohrs 14.

15

Die Abschirmrohr-Anordnung 5 weist bezüglich Stauchungen oder Dehnungen in axialer Richtung (entlang der Rohrachse RA) eine Federkonstante D1 auf, die deutlich kleiner ist als eine Federkonstante D1', die die Abschirmrohr-Anordnung 5 hätte, wenn die Spaltstruktur 15 nicht vorhanden wäre (bei
20 gleicher äußerer Gestalt und gleichem Material). Beispielsweise gilt $D1/D1'=0,08$. Hierbei gilt $D1 \cdot \Delta L = FA$, mit FA: axiale Kraft, die der Stauchung/Dehnung entgegengebracht wird, und ΔL : Änderung der axialen Länge.

25 Weiterhin weist die Abschirmrohr-Anordnung 5 bezüglich Stauchungen oder Dehnungen in radialer Richtung (vgl. Radius R) eine Federkonstante D2 auf, die deutlich kleiner ist als eine Federkonstanten D2', die die Abschirmrohr-Anordnung 5 hätte, wenn die Spaltstruktur 15 nicht vorhanden wäre (bei gleicher äußerer Gestalt und gleichem Material). Beispielsweise gilt
30 $D2/D2'=0,08$. Hierbei gilt $D2 \cdot \Delta R = FR$, mit FR: radiale Kraft, die der Stauchung/Dehnung entgegengebracht wird, und ΔR : Änderung des Radius.

Die (effektiven) Federkonstanten D1, D2 sind proportional zum (effektiven) E-Modul in der entsprechenden Richtung. Durch die Einstellung von D1, D2 können leicht Eigenresonanzen der Abschirmrohr-Anordnung eingestellt bzw.
5 verstimmt werden, insbesondere Eigenresonanzen mit $f_0 \sim (E/\rho)^{1/2}$, mit f_0 : Resonanzfrequenz; E: (effektives) E-Modul, ρ : (effektive) Dichte.

Die Figuren 5a bis 5e zeigen alternative Varianten einer Spaltstruktur 15 für eine Abschirmrohr-Anordnung 5 mit durchgehenden Perforationen 17, etwa wie
10 in Fig. 3 gezeigt.

In **Fig. 5a** weisen die Perforationen 17 jeweils zwei einander gegenüberliegende, näherungsweise halbkreisförmig gebogene Spalten 16 und einen diese verbindenden Mittelschlitz 18 auf. Die Perforationen 17 sind in
15 einem quadratischen Gitter angeordnet.

Die Spaltbreite SB (die hier für alle Spalten 16, einschließlich Mittelschlitz 18) gleich ist, ist deutlich kleiner als die maximale Ausdehnung AD eines jeweiligen Spalts 16. Hier gilt in etwa $1/20 \cdot AD = SB$.

20

In der Variante von **Fig. 5b** sind die Perforationen 17 wie in Fig. 5a ausgebildet, jedoch in einem hexagonalen Gitter angeordnet. Hierdurch können die
25 Perforationen 17 enger gesetzt werden, wodurch eine besonders leichte elastische Verformbarkeit erreichbar ist.

Die Variante von **Fig. 5c** weist im Wesentlichen rautenförmige Perforationen 17 wie in Fig. 3 erläutert auf, wobei jedoch zwei Typen 17a, 17b der
30 rautenförmigen Perforationen 17 vorgesehen sind. Beim ersten Typus 17a sind die (geschlossenen) Spitzen 20a, 20b mit einem Schlitz 19 verbunden, der

senkrecht zur Rohrachse RA (also azimuthal) verläuft. Beim zweiten Typus 17b sind die (geschlossenen) Spitzen 20a, 20b mit einem Schlitz 21 verbunden, der parallel zur Rohrachse RA (also axial) verläuft. Die beiden Typen 17a, 17b sind von gleicher Gestalt (einschließlich Größe), aber um 90° gegeneinander rotiert.

5 Perforationen gleichen Typs 17a, 17b folgen hier in axialer Richtung (und auch in azimuthaler Richtung) aufeinander; in diagonaler Richtung wechseln sie sich ab.

Eine typische Spaltbreite SB ist typischerweise deutlich kleiner als die

10 maximale axiale Ausdehnung AX oder die maximale azimuthale Ausdehnung AZ einer Perforation 17; vorliegend gilt ungefähr $SB=1/20*AX$ und $SB=1/20*AZ$.

Zwischen den (separaten) Perforationen 17 verbleiben noch Stege 22 aus dem Material des Abschirmrohrs. Die minimale Breite MB der Stege 22 ist deutlich

15 kleiner als AX und auch als AZ, hier mit ca. $MB=1/10*AX$ und $MB=1/10*AZ$. Allgemein ist meist $1/40*AX \leq MB \leq 1/3*AX$ und $1/40*AZ \leq MB \leq 1/3*AZ$ vorgesehen.

Fig. 5d zeigt eine Variante ebenfalls mit den zwei Typen 17a, 17b von rautenförmigen Perforationen wie aus Fig. 5c bekannt, wobei jedoch in axialer

20 Richtung (und auch in azimuthaler Richtung) sich die beiden Typen 17a, 17b abwechseln. In einer diagonalen Richtung folgen jeweils Perforationen gleichen Typs 17a, 17b aufeinander.

In der Variante von **Fig. 5e** sind ebenfalls zwei Typen 17a, 17b von im

25 Wesentlichen rautenförmigen Perforationen wie in Fig. 5d vorgesehen. Die Mittelschlitze 19, 21 sind hier jedoch schräg (unter 45° oder -45°) zur Rohrachse RA orientiert.

In der **Fig. 6a** ist ein Teil-Längsschnitt durch ein Abschirmrohr 14 für die

30 Erfindung dargestellt, wie es etwa in der in Fig. 3 dargestellten Abschirmrohr-Anordnung verwendet werden kann. Die Schlitze bzw. Spalten 16 der

Perforationen sind durchgängig, so dass beispielsweise Umgebungsluft von einer Innenseite 24 durch die Perforationen 17 an die Außenseite 25 des Abschirmrohrs 14 gelangen kann. Dadurch kann eine Lärmbelastung der Umgebung bei einer Schwingung des Abschirmrohrs 14 vermindert werden. Die
5 durchgängigen Perforationen 17 können beispielsweise mit Wasserstrahlschneiden gefertigt werden.

Wie in **Fig. 6b**, die einen weiteren Teil-Längsschnitt durch ein Abschirmrohr 14 für die Erfindung zeigt, ersichtlich, können auch Spalten 26 vorgesehen sein,
10 die nur nutenartig in das Abschirmrohr einragen, hier von der Außenseite 25 aus. Meist ist die Spalttiefe T dabei wenigstens so groß wie die halbe Wandstärke, also $T \geq 0,5 \cdot WS$. Bevorzugt gilt $T \geq 0,75 \cdot WS$. Im Bereich der Spalten 26 ist auch hier das Abschirmrohr 14 mechanisch geschwächt, wodurch es sich leichter verformen lässt.

15 In der **Fig. 7** in einer schematischen Seitenansicht ist eine Abschirmrohr-Anordnung 5 dargestellt, bei der auf einem elektrisch leitfähigen Trägerrohr 28 (gepunktet dargestellt) eine Vielzahl von Beschwerungselementen 29 befestigt ist. Das Trägerrohr 28 ist hier durchgehend (ohne Perforationen) ausgebildet und besteht aus Edelstahl. Alternativ könnte auch das Trägerrohr durch eine leitfähige Beschichtung auf einem nicht leitfähigen Grundkörper (etwa aus Kunststoff) ausgebildet sein. Die Beschwerungselemente 29 sind hier in Aufsicht quadratisch und aus Kupfer ausgebildet.

25 Wie in dem Teil-Längsschnitt von **Fig. 8** ersichtlich, sind die Beschwerungselemente 29 jeweils über ein Abstandhalter 30 auf dem Trägerrohr 28 befestigt. Durch die Abstandhalter 30 wird erreicht, dass die Beschwerungselemente 29 zwar mit ihrer Massenträgheit zum Schwingungsverhalten der gesamten Abschirmrohr-Anordnung 5 beitragen,
30 nicht aber das Trägerrohr 28 versteifen. Eine etwaige Versteifung beschränkt sich auf die jeweilige Fläche AS, mit der ein Abstandhalter 30 zum Trägerrohr

28 eine Verbindung hat. Die Fläche AS ist deutlich kleiner als die Fläche AB, mit der ein Beschwerungselement 29 das Trägerrohr überdeckt. Im gezeigten Beispiels gilt ca. $AS=1/25*AB$; im Allgemeinen gilt meist $AS\leq 1/5*AB$, bevorzugt $AS\leq 1/10*AB$. Die Beschwerungselemente 29 haben eine radiale Höhe HB, die
5 hier ca. 3 mal so groß ist wie die radiale Höhe HA der Abstandhalter 30 und auch ca. 3 mal so groß ist wie die (radiale) Wandstärke TW des Trägerrohrs 28. Im Allgemeinen gilt $HB\geq 2*HA$, bevorzugt $HB\geq 5*HA$, und auch $HB\geq 2*TW$, bevorzugt $HB\geq 5*TW$.

10 Die Beschwerungselemente 29 sind untereinander beabstandet angeordnet, vgl. die Spaltenstruktur 15 mit den Spalten 16, so dass die Beschwerungselemente 29 sich (bei zu erwartenden mechanischen Schwingungsamplituden) gegeneinander bewegen können, ohne aneinander zu stoßen (vgl. hierzu auch wieder Fig. 7). Ein Teil der Spalten 16 verläuft hier
15 axial, und ein weiterer Teil der Spalten 16 verläuft hier azimuthal, so dass die Spalten 16 insgesamt sowohl Verlaufsanteile in axialer Richtung und in azimuthaler Richtung haben.

Die (kleinste) Spaltbreite SB ist dabei deutlich kleiner als die maximale axiale
20 Ausdehnung AX und auch als die maximale azimuthale Ausdehnung AZ der Beschwerungselemente 29; vorliegend gilt hier ca. $SB=0,14*AX$ und $SB=0,14*AZ$. Im Allgemeinen gilt meist $SB\leq 0,2*AX$ und $SB\leq 0,2*AZ$. Die maximalen axialen Ausdehnungen AX und maximalen azimuthalen Ausdehnungen AZ der Beschwerungselemente 29 sind weiterhin deutlich
25 kleiner als der (maximale) Radius R der Abschirmrohr-Anordnung 5. Vorliegend gilt ca. $AX=0,24*R$ und $AZ=0,24*R$.

Die Federkonstanten D1 in axialer Richtung und D2 in radialer Richtung der Abschirmrohr-Anordnung 5 sind deutlich kleiner als die entsprechenden
30 Federkonstanten D1' und D2', wenn die Spaltstruktur 15 nicht vorhanden wäre, also ein durchgängiges „Beschwerungsrohr“ um das Trägerrohr 28 angeordnet

und auf diesem befestigt wäre (hier über Abstandhalter, was bei einem durchgängigen Beschwerungsrohr aber mechanisch eine untergeordnete Rolle spielt). Hier gilt ca. $D1/D1'=0,1$ und $D2/D2'=0,1$.

5 Die Beschwerungselemente 29 sind axial und azimuthal verteilt auf dem Trägerrohr 28 angeordnet, hier periodisch verteilt angeordnet, vgl. die axiale Periodenlänge PLAX und die azimuthale Periodenlänge PLAZ. Diese sind deutlich kleiner als der Radius R, hier ca. mit $PLAX=0,28 \cdot R$ und $PLAZ=0,28 \cdot R$. Die Beschwerungselemente 29 sind hier in einem quadratischen Gitter
10 angeordnet; man beachte, dass auch andere Arten von Gitter, etwa ein Rechteckgitter oder ein hexagonales Gitter, leicht eingerichtet werden können. Die Beschwerungselemente 29 bedecken hier ca. 77% der radialen Außenfläche der Abschirmrohr-Anordnung 5, und die Spaltstruktur 15 nimmt einen Flächenanteil FP von ca. 23% ein.

15

Die **Fig. 9** zeigt schematisch einen perspektivischen Ausschnitt aus einem Abschirmrohr 14 für die Erfindung. Dieses ist mit hier rautenförmigen Perforationen 17 versehen, vgl. zum Beispiel die Fig. 3. Das Abschirmrohr 14 ist aus mehreren (hier vier) Folien 31, etwa Kupferfolien, zusammengesetzt.

20 Die Folien 31 sind in radialer Richtung aufeinander gestapelt und aneinander befestigt (etwa verklebt, bevorzugt mit einem elektrisch leitfähigen Klebstoff, oder verschweißt). Jede einzelne Folie 31 ist so dünn, dass eine Einbringung einer Perforation in die jeweilige Folie 31 leicht möglich ist. Nach dem aneinander Befestigen der Folien 31 fluchten die Perforationen der jeweiligen
25 Folien 31, so dass auch das gesamte Abschirmrohr 14 durchgehende Perforationen 17 von entsprechender Gestalt aufweist.

Die **Fig. 10** zeigt schematisch einen Querschnitt eines erfindungsgemäßen MRI-Systems 1 mit einer schwingungsentkoppelten Lagerung der
30 Abschirmrohr-Anordnung 5. Der Kryostat 2 weist dabei in einem oberen und einem unteren Bereich Aufnahmen 40 für Federelemente 41 auf. Die

Federelemente 41 sind anderseitig mit Aufnahmen 42 an der Abschirmrohr-Anordnung 5 gekoppelt. Durch diese Anordnung kann vorteilhaft eine Entkopplung der Schwingungen der Abschirmrohr-Anordnung 5 gegenüber dem Kryostaten 2 und dem Gradientenspulensystem 4 erreicht werden.

5

Bezugszeichenliste

	1	MRI-System
10	2	Kryostat
	3	Raumtemperaturbohrung
	4	Gradientenspulensystem
	5	Abschirmrohr-Anordnung
	6	HF-Spulensystem
15	7	Probenvolumen
	8	Vakuumbehälter
	8a	Kryostatenwand
	9	Strahlungsschild
	10	Kryobehälter
20	10a	Kryobehälterwand
	11	Träger
	12	supraleitendes Magnetspulensystem
	13	Strahlungsschild
	14	Abschirmrohr
25	15	Spaltstruktur
	16	Spalt
	17	Perforation
	17a, 17b	Typen von Perforationen
	18	Schlitz (Spalt)
30	19	Schlitz(Spalt)
	20a, 20b	Spitzen (rautenförmige Perforation)

	21	Schlitz (Spalt)
	22	Steg
	24	Innenraum
	25	Außenraum
5	26	nutartiger Spalt
	28	Trägerrohr
	29	Beschwerungselement
	30	Abstandhalter
	31	Folie
10	40	Aufnahme
	41	Federelement
	42	Aufnahme
	A	Achse (Raumtemperaturbohrung)
	AB	Fläche (Beschwerungselement)
15	AD	maximale Ausdehnung
	AS	Fläche (Abstandhalter)
	AX	maximale axiale Ausdehnung
	AZ	maximale azimutale Ausdehnung
	HA	radiale Höhe Abstandhalter
20	HB	radiale Höhe Beschwerungselement
	L	axiale Länge
	MB	minimale Stegbreite
	PLAX	Periodenlänge (axial)
	PLAZ	Periodenlänge (azimutal)
25	R	Radius
	RA	Rohrachse
	SB	Spaltbreite
	TW	radiale Wandstärke des Trägerrohrs
	WS	Wandstärke
30	α	Winkel eines Spalts gegen die axiale Richtung

Patentansprüche

1. MRI-System (1), umfassend

- 5 - einen Kryostaten (2) mit einem Vakuumbehälter (8) und einem Kryobehälter (10), wobei im Kryobehälter (10) ein supraleitendes Magnetspulensystem (12) zur Erzeugung eines Magnetfelds B₀ in einem Probenvolumen (7) in einer Raumtemperaturbohrung (3) des Kryostaten (2) angeordnet ist,
- 10 - ein HF-Spulensystem (6) in der Raumtemperaturbohrung (3), zum Erzeugen und Empfangen von HF-Signalen in bzw. aus dem Probenvolumen (7),
- ein Gradientenspulensystem (4) in der Raumtemperaturbohrung (3), zur Erzeugung von Magnetfeldgradienten im Probenvolumen (7),
- 15 - und eine Abschirmrohr-Anordnung (5), die zumindest teilweise aus elektrisch leitfähigem Material besteht, wobei die Abschirmrohr-Anordnung (5) radial um das Gradientenspulensystem (4) angeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet,

20

dass die Abschirmrohr-Anordnung (5) eine Spaltstruktur (15) mit einer Vielzahl von Spalten (16; 26) aufweist, die sich zumindest über einen Teil der radialen Tiefe der Abschirmrohr-Anordnung (5) erstrecken,

dass die Spalten (16; 26) axial und azimuthal über die Abschirmrohr-

25 Anordnung (5) verteilt angeordnet sind,

und dass die Verläufe der Spalten (16; 26) Anteile in axialer Richtung und Anteile in azimuthaler Richtung haben.

2. MRI-System (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die

30 Abschirmrohr-Anordnung (5) ein elektrisch leitfähiges Trägerrohr (28) und eine Vielzahl von Beschwerungselementen (29) umfasst, die

voneinander beabstandet auf dem Trägerrohr (28) angeordnet sind, so dass zwischen den Beschwerungselementen (29) die Spaltstruktur (15) ausgebildet ist, insbesondere wobei das Trägerrohr (28) aus Edelstahl gefertigt ist.

5

3. MRI-System (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschwerungselemente (29) jeweils über einen oder mehrere Abstandhalter (30) auf dem Trägerrohr (28) befestigt sind, insbesondere wobei der oder die Abstandhalter (30), mit denen jeweils ein Beschwerungselement (29) befestigt ist, zusammen eine Fläche AS einnehmen, und das Beschwerungselement (29) eine Fläche AB überdeckt, mit $5 \cdot AS \leq AB$.
- 10
4. MRI-System (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmrohr-Anordnung (5) ein Abschirmrohr (14) aufweist, das als Spaltstruktur (15) eine Vielzahl von separaten Perforationen (17) aufweist, die jeweils vollständig durch die Wand des Abschirmrohres (14) hindurchtreten, insbesondere wobei jede Perforation (17) einen Spalt (16) oder mehrere zusammenhängende Spalten (16) umfasst.
- 15
5. MRI-System (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass für die Spaltbreite SB und eine größte Ausdehnung AD eines jeweiligen Spaltes (16) gilt:
- 20
- $SB < 0,25 \cdot AD$,
bevorzugt $SB < 0,1 \cdot AD$.
- 25
6. MRI-System (1) nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Perforationen (17) jeweils ausgebildet ist mit wenigstens einem geraden Spalt (16), der in einem Winkel α zwischen 30° und 60° oder zwischen -60° und -30° zur axialen Richtung verläuft.
- 30

7. MRI-System (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Spalte (16) einer Perforation (17) oder einer Gruppe von Perforationen (17) jeweils näherungsweise rautenförmig angeordnet sind, insbesondere wobei ein Paar einander gegenüberliegender Spitzen (20a, 20b) einer Raute axial und/oder ein Paar einander gegenüberliegender Spitzen (20a, 20b) der Raute azimuthal ausgerichtet sind.
8. MRI-System (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Abschirmrohr (14) aus einer Vielzahl von gegeneinander fixierten Folien (31), insbesondere Metallfolien, gebildet ist.
9. MRI-System (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Abschirmrohr (14) zwischen benachbarten Perforationen (17) Stege (22) mit einer minimalen Breite MB ausbildet, mit
- $$1/100 \cdot R < MB \text{ und } MB < 1/5 \cdot R,$$
- bevorzugt wobei $1/40 \cdot R < MB$ und/oder $MB < 1/10 \cdot R$,
mit R: größter Radius der Abschirmrohr-Anordnung (5).
10. MRI-System (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschwerungselemente (29) oder Perforationen (17) jeweils eine maximale axiale Ausdehnung AX und eine maximale azimuthale Ausdehnung AZ aufweisen, wobei gilt:
- $$AX < 0,3 \cdot R \text{ und } AZ < 0,3 \cdot R,$$
- bevorzugt wobei $AX < 0,2 \cdot R$ und/oder $AZ < 0,2 \cdot R$,
besonders bevorzugt wobei $AX < 0,1 \cdot R$ und/oder $AZ < 0,1 \cdot R$,
mit R: größter Radius der Abschirmrohr-Anordnung (5).

11. MRI-System (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass für die Spaltbreite SB der Spalte (16; 26) weiterhin gilt:
 $SB \leq 1/5 \cdot AX$ und $SB \leq 1/5 \cdot AZ$.
- 5 12. MRI-System (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Spaltstruktur (15) eine effektive Federkonstante D1 in axialer Richtung und eine effektive Federkonstante D2 in azimuthaler Richtung der Abschirmrohr-Anordnung (5) im Vergleich zu einer Federkonstanten D1' in axialer Richtung und einer
10 Federkonstanten D2' in azimuthaler Richtung einer Abschirmrohr-Anordnung (5) ohne Spaltstruktur (15) vermindert ist, wobei gilt:
 $D1/D1' < 0,3$ und $D2/D2' < 0,3$,
bevorzugt wobei $D1/D1' < 0,1$ und/oder $D2/D2' < 0,1$.
- 15 13. MRI-System (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmrohr-Anordnung (5) radial zwischen dem Gradientenspulensystem (4) und dem Kryostaten (2) angeordnet ist.
- 20 14. MRI-System (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Spaltstruktur (15) periodisch auf der Abschirmrohr-Anordnung (5) ausgebildet ist.
- 25 15. MRI-System (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmrohr-Anordnung (5) gegenüber dem Gradientenspulensystem (4) und gegenüber dem Kryobehälter (10), und bevorzugt gegenüber dem gesamten Kryostaten (2), zumindest in axialer Richtung, und bevorzugt auch in radialer Richtung, frei schwingfähig gelagert ist.

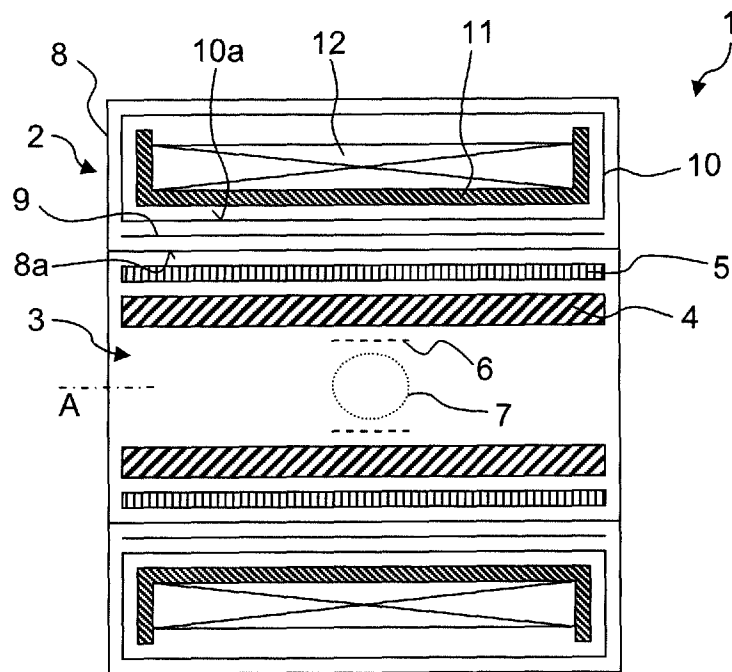


Fig. 1

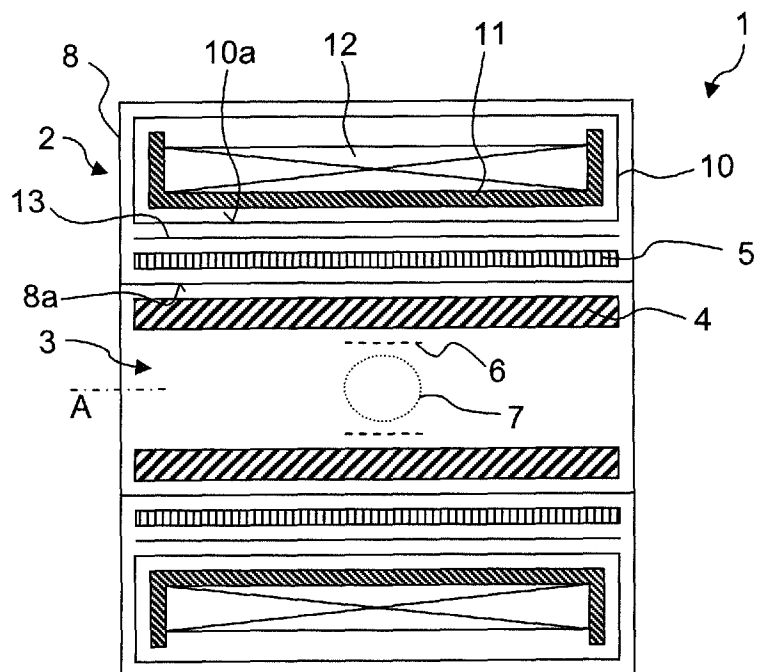
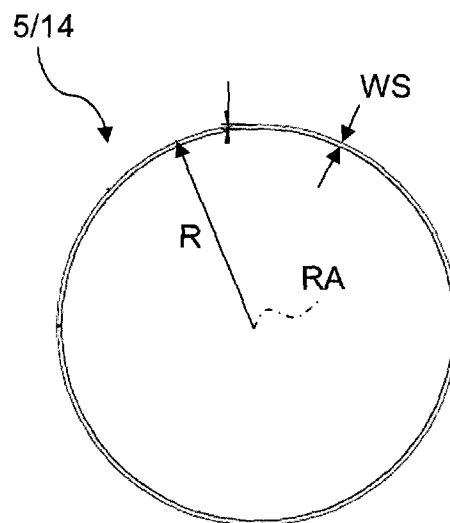
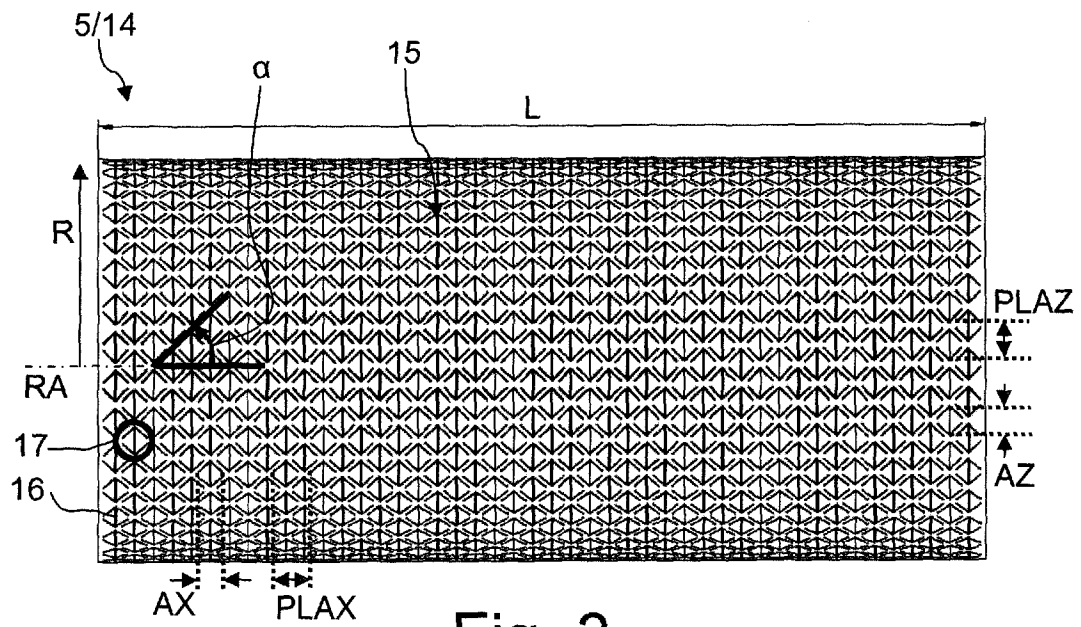


Fig. 2



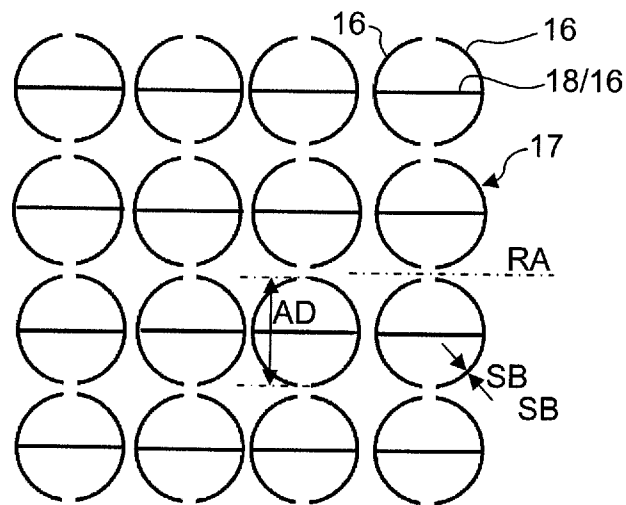


Fig. 5a

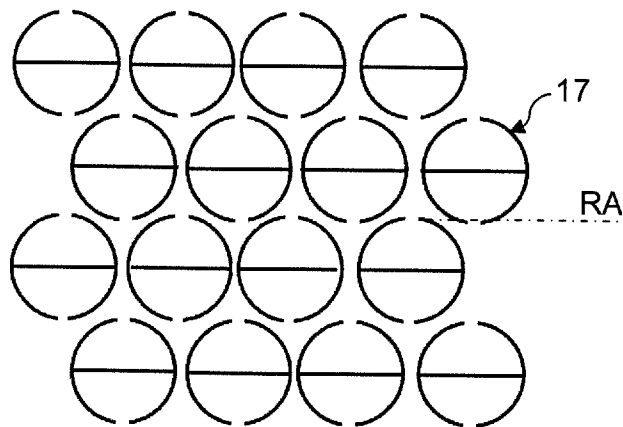


Fig. 5b

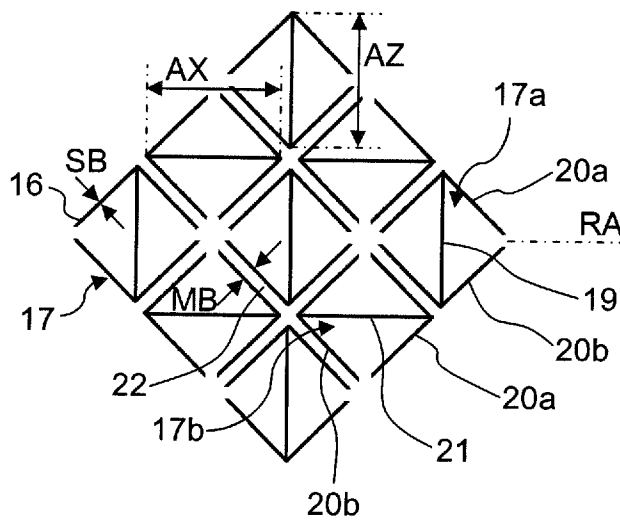


Fig. 5c

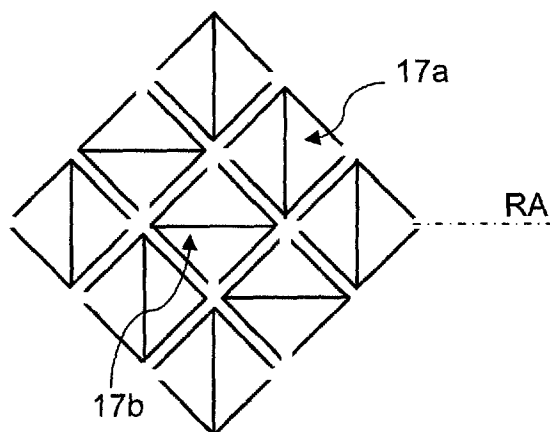


Fig. 5d

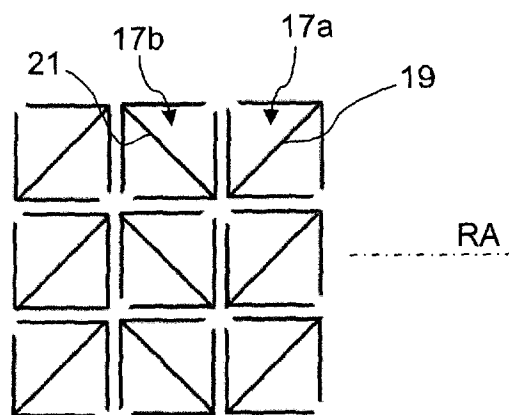


Fig. 5e

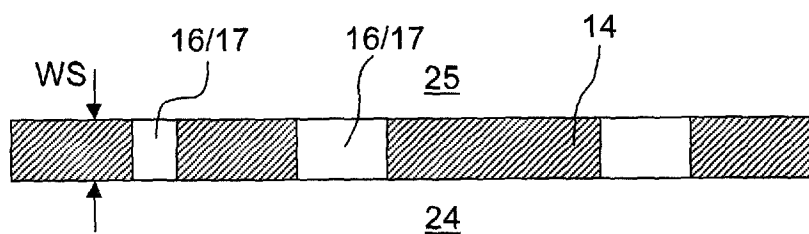


Fig. 6a

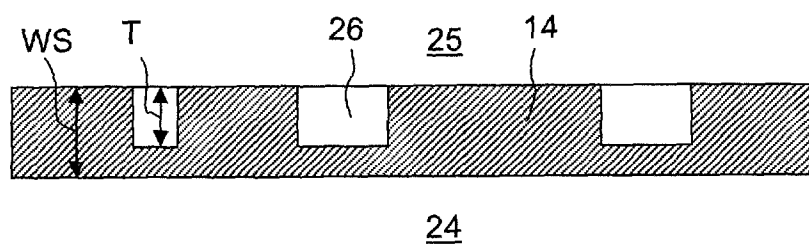


Fig. 6b

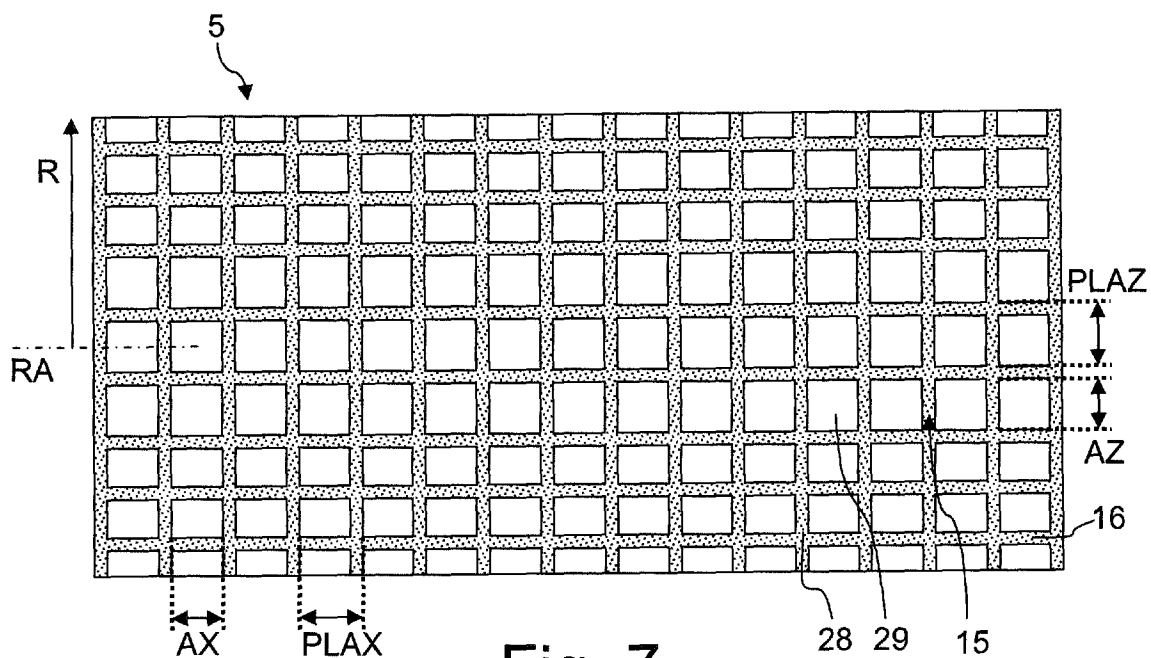


Fig. 7

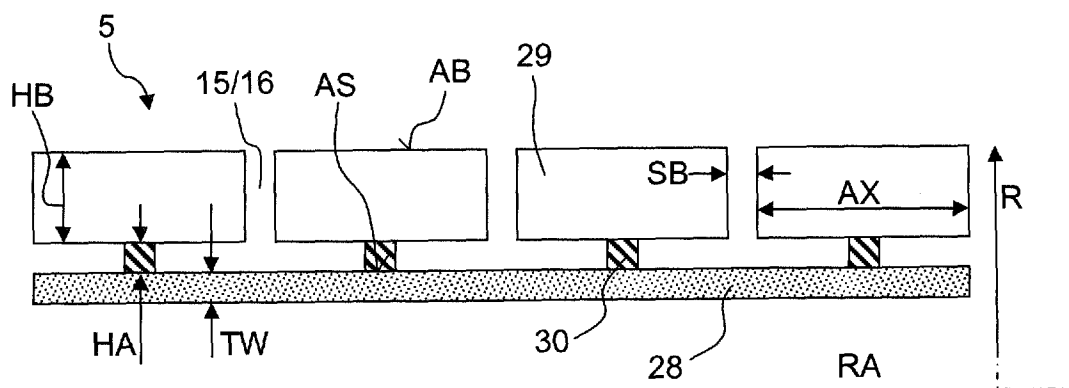


Fig. 8

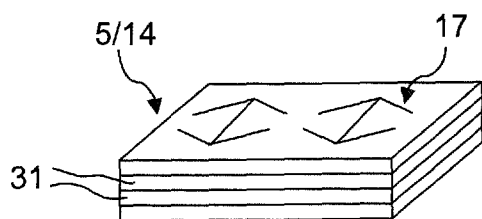


Fig. 9

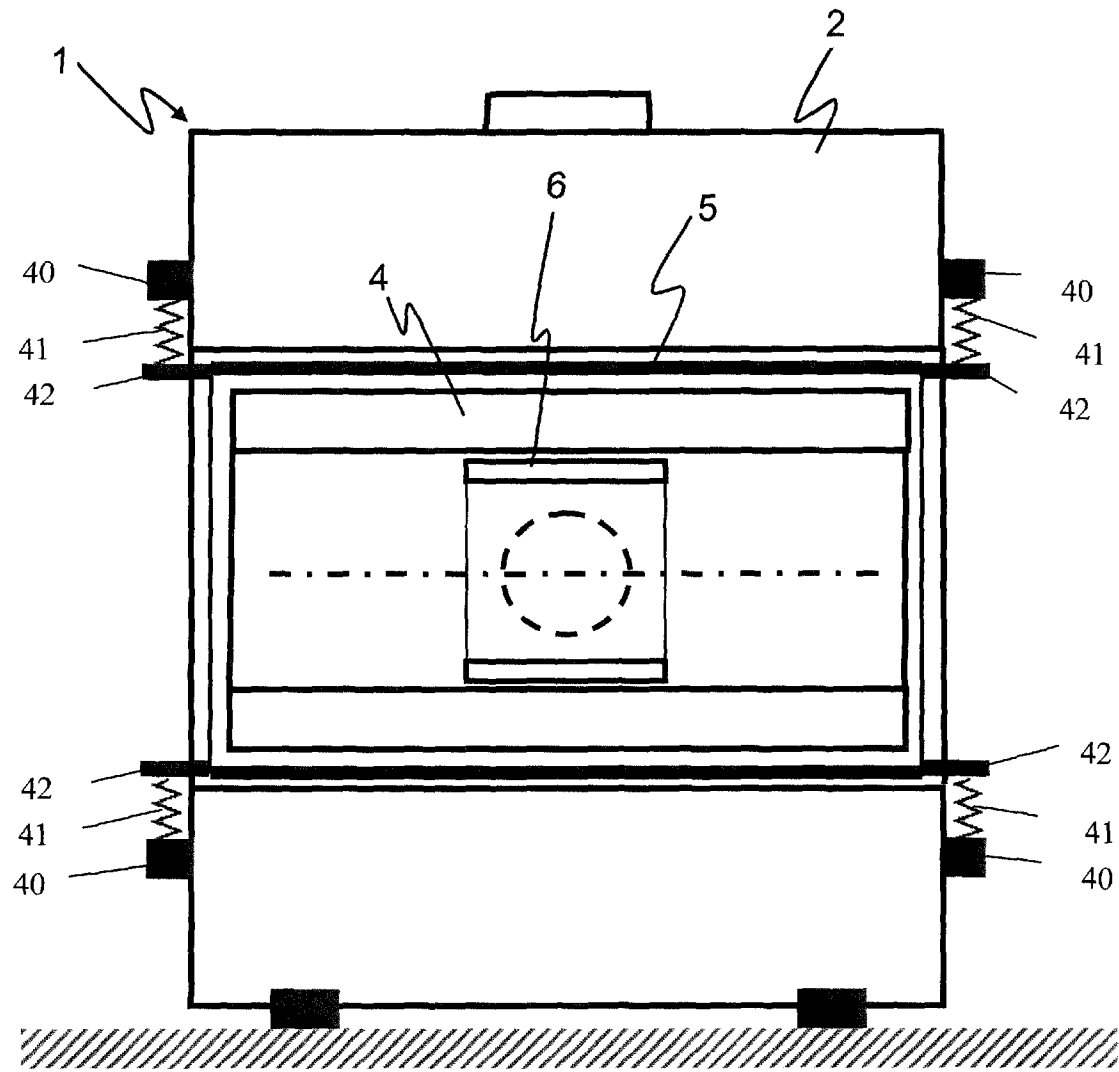


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/082863

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01R33/421 G01R33/385
ADD.

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/315878 A1 (HAM CORNELIS LEONARDUS GERARDU [NL]) 25 December 2008 (2008-12-25)	1,4,8
Y	paragraphs [0004], [0008] - [0010], [0012], [0026] - [0030]; figures 1-6	5-7, 9-12,14, 15
X	US 2012/019249 A1 (KRUIP MARCEL JAN MARIE [GB]) 26 January 2012 (2012-01-26) paragraphs [0004] - [0014], [0017], [0029] - [0046], [0059]; figures 2,3	1-3,6,7, 10-15
Y	DE 10 2007 014135 A1 (SIEMENS AG [DE]; UNIV FRIEDRICH ALEXANDER ER [DE]) 25 September 2008 (2008-09-25) paragraphs [0001] - [0006], [0012], [0033] - [0039]; figures 1, 5,6	5-7, 9-12,14, 15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 April 2018

Date of mailing of the international search report

14/05/2018

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

Faber-Jurk, Sonja

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/082863

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008315878 A1	25-12-2008	CN 1886671 A	27-12-2006
		EP 1692533 A1	23-08-2006
		JP 2007512074 A	17-05-2007
		US 2008315878 A1	25-12-2008
		WO 2005052624 A1	09-06-2005

US 2012019249 A1	26-01-2012	GB 2482180 A	25-01-2012
		GB 2482632 A	08-02-2012
		US 2012019249 A1	26-01-2012

DE 102007014135 A1	25-09-2008	DE 102007014135 A1	25-09-2008
		US 2008231276 A1	25-09-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01R33/421 G01R33/385
ADD.

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2008/315878 A1 (HAM CORNELIS LEONARDUS GERARDU [NL]) 25. Dezember 2008 (2008-12-25)	1,4,8
Y	Absätze [0004], [0008] - [0010], [0012], [0026] - [0030]; Abbildungen 1-6	5-7, 9-12,14, 15
X	US 2012/019249 A1 (KRUIP MARCEL JAN MARIE [GB]) 26. Januar 2012 (2012-01-26) Absätze [0004] - [0014], [0017], [0029] - [0046], [0059]; Abbildungen 2,3	1-3,6,7, 10-15
Y	DE 10 2007 014135 A1 (SIEMENS AG [DE]; UNIV FRIEDRICH ALEXANDER ER [DE]) 25. September 2008 (2008-09-25) Absätze [0001] - [0006], [0012], [0033] - [0039]; Abbildungen 1, 5,6	5-7, 9-12,14, 15



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. April 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/05/2018

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

Faber-Jurk, Sonja

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/082863

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2008315878	A1	25-12-2008	CN	1886671 A		27-12-2006
			EP	1692533 A1		23-08-2006
			JP	2007512074 A		17-05-2007
			US	2008315878 A1		25-12-2008
			WO	2005052624 A1		09-06-2005

US 2012019249	A1	26-01-2012	GB	2482180 A		25-01-2012
			GB	2482632 A		08-02-2012
			US	2012019249 A1		26-01-2012

DE 102007014135	A1	25-09-2008	DE	102007014135 A1		25-09-2008
			US	2008231276 A1		25-09-2008
