



(10) **DE 10 2017 210 422 A1** 2018.12.27

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 210 422.8**

(22) Anmeldetag: **21.06.2017**

(43) Offenlegungstag: **27.12.2018**

(51) Int Cl.: **G01R 33/341 (2006.01)**

**G01R 33/3415 (2006.01)**

**G01R 33/36 (2006.01)**

**A61B 5/055 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Siemens Healthcare GmbH, München, DE**

(72) Erfinder:

**Candidus, Yvonne, 90762 Fürth, DE; Zink,  
Stephan, 91054 Erlangen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2011 007 065 A1**

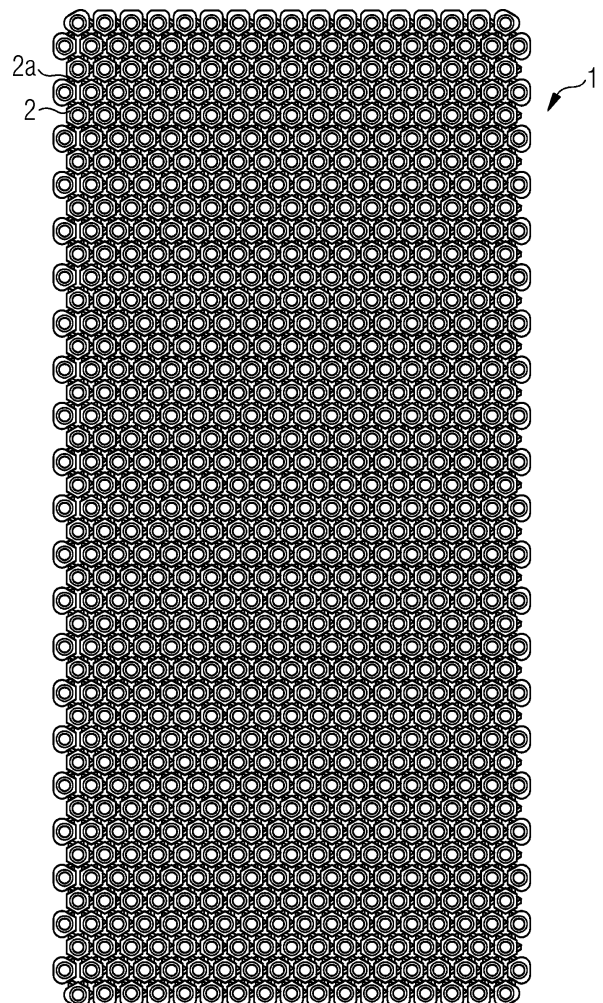
**US 6 438 402 B1**

**US 2008 / 0 204 021 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **MR-Spulenordnung mit adaptiver Spulenabstandsschicht**



(57) Zusammenfassung: Es wird eine Spulenordnung (100) für einen Magnetresonanztomographen (301) mit mindestens einer Spulenabstandsschicht (1) beschrieben, welche eine flächige Matrix mit einer flexiblen, netzartigen Struktur umfasst. Die flächige Matrix weist eine Mehrzahl von flexibel miteinander verketteten Teilstrukturen (2) auf. Es wird auch ein Verfahren zum Herstellen einer Spulenordnung (100) beschrieben. Es wird überdies ein Magnetresonanzbildgebungssystem (301) beschrieben.

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Spulenanordnung für ein Magnetresonanzbildgebungssystem. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Spulenanordnung. Zudem betrifft die Erfindung ein Magnetresonanzbildgebungssystem.

**[0002]** Magnetresonanztomographen sind bildgebende Vorrichtungen, die zur Abbildung eines Untersuchungsobjektes Kernspins des Untersuchungsobjektes mit einem starken äußeren Magnetfeld ausrichten und durch ein magnetisches Wechselfeld zur Präzession um diese Ausrichtung anregen. Die Präzession bzw. Rückkehr der Spins aus diesem angeregten Zustand in einen Zustand mit geringerer Energie wiederum erzeugt als Antwort ein magnetisches Wechselfeld, auch als Magnetresonanzsignal bezeichnet, das über Antennen empfangen wird.

**[0003]** Mit Hilfe von magnetischen Gradientenfeldern wird den Signalen eine Ortskodierung aufgeprägt, die nachfolgend eine Zuordnung von dem empfangenen Signal zu einem Volumenelement ermöglicht. Das empfangene Signal wird dann ausgewertet und eine dreidimensionale bildgebende Darstellung des Untersuchungsobjektes bereitgestellt.

**[0004]** Zur Anregung der Präzession der Spins sind magnetische Wechselfelder mit einer Frequenz, die der Larmorfrequenz bei der jeweiligen statischen Magnetfeldstärke entspricht, und sehr hohen Feldstärken bzw. Leistungen erforderlich. Zur Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses des von den Antennen empfangenen Magnetresonanzsignals werden häufig als Lokalspulen bezeichnete Antennen verwendet, die unmittelbar am Patienten angeordnet werden. Oftmals weisen Lokalspule mehrere Einzelantennen auf, die auch als Spulenelemente bezeichnet werden können. Die Spulenelemente sind in der Regel als Spulenschleifen ausgebildet.

**[0005]** Die einzelnen Patienten unterscheiden sich jedoch in ihrer Physiognomie erheblich, sodass mit einer starren Lokalspule entweder nur bei wenigen Patienten ein optimales Signal erhalten wird oder viele in den Abmessungen unterschiedliche Lokalspulen bereitgehalten werden müssen.

**[0006]** Ein generelles Ziel bei der Bildgebung besteht darin, die Spulenelemente so nah wie möglich an den Patienten, d.h. die zu untersuchende Körperregion zu bringen, um dadurch ein möglichst gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu erhalten. Herkömmlich werden dazu starre, auf eine jeweilige Körperregion angepasste und flexible Spulentypen unterschieden.

**[0007]** Starre Spulen werden zum Beispiel für Kopfuntersuchungen verwendet und sind optimal an die spezielle Anatomie des Kopfes angepasst. Kopf-

spulen sind beispielsweise aus den Druckschriften US 8244328 B2, US 9138164 B2, US 7826887 B2, US 20150057527 A1 und US 20150057528 A1 bekannt. Allerdings kann bei Patienten mit kleinem Kopf eine verschlechterte Bildqualität auftreten, da die Antennenstrukturen nicht optimal nahe an der Anatomie anliegen.

**[0008]** Mit flexiblen Spulenstrukturen kann eine fehlende Anpassung ausgeglichen werden, allerdings besteht herkömmlich das Problem, dass auch solche Anordnungen dreidimensionale Umformungen nur eingeschränkt nachvollziehen können. Infolgedessen kommt es zu Auswölbungen und einem Abstreifen von Teilbereichen der Spulenanordnung. Beispielsweise stellt sich bei zylindrischen Körperformen, wie etwa beim Knie oder dem Ellbogen je nach Durchmesser ein anderer Überlapp bzw. eine Lücke zwischen zwei Spulenden ein. Mithin wird keine optimale Bildqualität erreicht.

**[0009]** In DE 10 2011 007 065 A1 wird eine Kniespule gezeigt, deren RX-Teil aus einer starren und flexiblen Kombination besteht.

**[0010]** Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine Lokalspule bereitzustellen, die verbesserte Abbildungsergebnisse bei unterschiedlichen Patienten bzw. unterschiedlichen Anwendungsbereichen des Körpers des Patienten liefert.

**[0011]** Die Aufgabe wird durch eine Spulenanordnung nach Anspruch 1, ein Verfahren zum Herstellen einer Spulenanordnung nach Anspruch 14 sowie ein Magnetresonanzbildgebungssystem nach Anspruch 15 gelöst.

**[0012]** Die erfindungsgemäße Spulenanordnung für ein Magnetresonanzbildgebungssystem weist mindestens eine Spulenabstandsschicht auf. Vorzugsweise weist die erfindungsgemäße Spulenanordnung zwei jeweils auf gegenüberliegenden Seiten der Spulen der Spulenanordnung positionierte Spulenabstandsschichten auf. Die mindestens eine Spulenabstandsschicht weist eine flächige Matrix mit einer flexiblen, netzartigen Struktur auf. Die flexible netzartige Struktur umfasst eine Mehrzahl von flexibel miteinander verketteten Teilstrukturen.

**[0013]** Vorteilhaft erlaubt die flexible Anordnung der miteinander verketteten Teilstrukturen eine Anpassung der Abstandsschicht und damit der gesamten Spulenanordnung an eine beliebige Form eines Untersuchungsobjektes, beispielsweise eine Körperform. Auf diese Weise kann ein gleichmäßiger Abstand der Spulen zu dem Untersuchungsobjekt erreicht werden, wodurch durch variable Abstände bedingte Artefakte vermieden werden können.

**[0014]** Bei der erfindungsgemäßen Verwendung wird eine erfindungsgemäße Spulenanordnung dazu verwendet, eine Lokalspule für ein Magnetresonanzbildgebungssystem herzustellen. Bei einer Anwendung der erfindungsgemäßen Spulenanordnung in einem Magnetresonanzbildgebungssystem werden die oben genannten Verbesserungen bei der Abbildung eines Untersuchungsobjekts erreicht.

**[0015]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen einer Spulenanordnung wird eine Spulenabstandsschicht erzeugt, welche eine flächige Matrix mit einer flexiblen, netzartigen Struktur aufweist, die eine Mehrzahl von flexibel miteinander verketteten Teilstrukturen aufweist. Die erzeugte Spulenanordnung hat die vorbeschriebenen Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Anordnungen.

**[0016]** Das erfindungsgemäße Magnetresonanzbildgebungssystem umfasst die erfindungsgemäße Spulenanordnung und teilt daher die Vorteile der erfindungsgemäßen Spulenanordnung.

**[0017]** Die abhängigen Ansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung. Dabei können insbesondere die Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen einer anderen Anspruchskategorie und deren Beschreibungsteilen weitergebildet sein. Zudem können im Rahmen der Erfindung die verschiedenen Merkmale unterschiedlicher Ausführungsbeispiele und Ansprüche auch zu neuen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

**[0018]** In einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung weisen die Teilstrukturen perforierte Bauelemente auf, die in Vertikalrichtung zur Matrixfläche kompressionsresistent sind. Vorteilhaft erlauben die kompressionsresistenten Teilstrukturen eine definierte Dicke der Spulenabstandsschicht. Auf diese Weise kann ein definierter Sicherheitsabstand zwischen den Spulen der Spulenanordnung und dem Untersuchungsobjekt garantiert werden. Als kompressionsresistent soll in diesem Zusammenhang eine Struktur oder Schicht verstanden werden, deren Dicke durch gebrauchstübliche Krafteinwirkung nicht oder nur um einen vorbestimmten, vergleichsweise geringen Prozentsatz geändert werden kann.

**[0019]** In einer denkbaren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung sind die Teilstrukturen gleichartig ausgebildet. Vorteilhaft ermöglicht eine gleichartige Ausbildung der Teilstrukturen eine Gleichverteilung mechanischer Eigenschaften über die Fläche der Abstandsschicht. Beispielsweise lässt sich die Abstandsschicht überall gleichmäßig krümmen.

**[0020]** In einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung umfasst die Spulenanordnung eine Lokalspule. Vorteilhaft kann die Lokalspule an die Form des Untersuchungsobjekts angeschmiegt werden, so dass die induzierten Magnetresonanzsignale ungedämpft erfasst werden können.

**[0021]** In einer denkbaren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung weisen die Teilstrukturen eine der folgenden Flächenformen auf:

- eine Sechseckform,
- eine runde Form,
- eine dreieckige Form,
- eine viereckige Form,
- eine fünfeckige Form,
- eine siebeneckige Form.

**[0022]** In einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung sind die Teilstrukturen über flexible Verbindungen miteinander verbunden, die derart ausgebildet sind, dass sich einzelne Teilstrukturen voneinander weg und/oder zu einander hin bewegen können und/oder Kippbewegungen und/oder Drehbewegungen ausführen können. Die genannten Eigenschaften erlauben eine besonders hohe Flexibilität bei der Anpassung der Spulenanordnung an eine Form eines Untersuchungsobjekts.

**[0023]** In einer denkbaren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung bilden die flexiblen Verbindungen ineinander verhakte Schlaufenelemente. Vorteilhaft erlauben die ineinander verhakten Schlaufenelemente eine hohe Flexibilität der Anordnung bei gleichzeitig starkem Zusammenhalt der einzelnen Bauelemente.

**[0024]** In einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenanordnung weisen die flexiblen Verbindungen jeweils ein Anschlusselement und ein Aufnahmeelement auf, wobei das Anschlusselement von dem Aufnahmeelement aufgenommen wird. Das Aufnahmeelement kann zum Beispiel als konkaves Element an der Außenseite einer jeden Teilstruktur ausgebildet sein. Die Anschlusselemente dagegen können zum Beispiel als armartige Strukturen ausgebildet sein, die in die konkaven Aufnahmeelemente eingreifen.

**[0025]** In einer möglichen erfindungsgemäßen Spulenanordnung ist die flächige Matrix mit Hilfe eines 3D-Druckverfahrens ausgebildet. Vorteilhaft können mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens die Teilstrukturen in einem Arbeitsschritt als zusammenhängende Gesamtstruktur hergestellt werden. Vorteilhaft entfällt

ein zeit- und arbeitsaufwändiger Zusammenbau der Einzelstrukturen bei dieser Art der Herstellung.

**[0026]** In einer anderen denkbaren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenordnung sind die Perforierungen der Bauelemente derart ausgebildet, dass sich vertikale Steckverbindungselemente in den Perforierungen in einem definierten Raster fixieren lassen. Die vertikalen Steckverbindungselemente ermöglichen eine Fixierung unterschiedlicher Schichten aufeinander. Ferner können mit den vertikalen Steckverbindungselementen Spulenelemente an den Abstandsschichten fixiert werden. Auf diese Weise wird ein definierter Abstand zwischen einzelnen Spulenelementen erreicht. Es werden damit relativ konstante Überlapperegionen geschaffen und beim Verformen der Anordnung werden die Spulen auf ihren Positionen gehalten, so dass eine gute Entkopplung der einzelnen Spulen voneinander erhalten bleibt.

**[0027]** In einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Spulenordnung sind die vertikalen Steckverbindungselemente dazu eingerichtet, die Spulenabstandsschicht mit einer Außenschicht und/oder einer zweiten Spulenabstandsschicht zu verbinden. Vorteilhaft kann die Außenschicht an der Abstandsschicht fixiert werden, so dass ein Verrutschen der beiden Schichten gegeneinander oder eine unerwünschte Ablösung der Außenschicht von der Abstandsschicht vermieden werden kann.

**[0028]** Die Steckverbindungselemente können zum Beispiel dazu eingerichtet sein, in Lateralrichtung verlaufende elektrische Leitungen und/oder Spulenleitungen und/oder elektronische Bauelemente aufzunehmen. Beispielsweise können die Steckverbindungselemente Durchgänge bzw. durchgehende Aussparungen aufweisen, durch die die genannten Elemente verlaufen können und gleichzeitig dort fixiert werden können.

**[0029]** Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

**Fig. 1** eine Querschnittsansicht eines Abschnitts einer Spulenordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**Fig. 2** eine Draufsicht auf eine Abstandsschicht einer erfindungsgemäßen Spulenordnung,

**Fig. 3** eine schematische Darstellung eines einzelnen Bauelements einer Matrix einer Abstandsschicht einer erfindungsgemäßen Spulenordnung,

**Fig. 4** eine perspektivische Darstellung einer Matrix einer Abstandsschicht einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Spulenordnung,

**Fig. 5** schematische Darstellungen von vertikalen Steckverbindungselementen einer Matrix einer Abstandsschicht einer erfindungsgemäßen Spulenordnung,

**Fig. 6** eine Darstellung einer Kombination aus einer Abstandsschicht und einer Außenschicht,

**Fig. 7** eine Draufsicht auf eine Matrix einer Abstandsschicht mit einer Vielzahl von Verbindungsstücken,

**Fig. 8** eine vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts einer Matrix einer Abstandsschicht,

**Fig. 9** eine Spulenordnung mit einer am Seitenrand zwischen zwei Abstandsschichten hervorstehenden Spulenschleife,

**Fig. 10** eine Darstellung von auf einer Abstandsschicht angeordneten Spulenschleifen,

**Fig. 11** eine schematische Darstellung von sechseckigen und runden Bauelementen einer Matrix einer Abstandsschicht einer erfindungsgemäßen Spulenordnung,

**Fig. 12** eine schematische Darstellung von runden Einzelelementen einer Matrix einer Abstandsschicht einer erfindungsgemäßen Spulenordnung mit Koppelementen,

**Fig. 13** eine Darstellung einer Abstandsschicht mit Teilstrukturen, deren flexible Verbindungen ineinander verhakte Schlaufenelemente umfassen,

**Fig. 14** eine Querschnittsansicht einer Spulenmatrix mit der in **Fig. 13** veranschaulichten Abstandsschicht,

**Fig. 15** schematisch einen erfindungsgemäßen Magnetresonanztomographen.

**[0030]** **Fig. 1** zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung eines Abschnitts einer Spulenordnung **100**, welche als Lokalspule zur Detektion von Magnetresonanzsignalen eingesetzt wird. Der Abschnitt ist sandwichartig aufgebaut und weist im Inneren eine Spulenschicht **10** auf, welche eine Mehrzahl von planar angeordneten Spulenschleifen umfasst. Die Spulenschicht **10** ist auf beiden Seiten jeweils von einer Abstandsschicht **1** umgeben. Die Abstandsschichten **1** sind jeweils etwa 5 mm dick und sollen einen Sicherheitsabstand zwischen einem Untersuchungsobjekt, beispielsweise einem Patienten, und der Spulenschicht **10** sowie zwischen der Spulenschicht **10** und der Außenwelt, beispielsweise dem Betreuungspersonal, garantieren. Auf den beiden nach außen gewandten Seiten der Abstandsschichten **1** sind jeweils Außenschichten **9** als Schutzschicht aufgebracht.

**[0031]** **Fig. 2** zeigt eine Draufsicht auf eine Abstandsschicht **1** einer Lokalspulenmatrix mit einer

Mehrzahl von perforierten Bauelementen **2**. Die einzelnen Bauelemente **2** sind miteinander netzartig über flexible Verbindungen **2a** verbunden und sind in Vertikalrichtung zur Schichtfläche nicht komprimierbar bzw. kompressionsresistent, so dass mit Hilfe der Abstandsschicht **1** ein definierter Abstand zwischen auf der Abstandsschicht **1** aufgebrachten Spulenschleifen (nicht gezeigt) und einem Untersuchungsobjekt aufrechterhalten wird. Die flexiblen Verbindungen **2a** ermöglichen ein Anpassen der Abstandsschicht an die Gestalt eines Untersuchungsobjekts. Dabei wird die Abstandsschicht **1** wie ein Kettenhemd an die Oberfläche des Untersuchungsobjekts angeformt.

**[0032]** In Fig. 3 ist ein einzelnes Bauelement **2** einer Abstandsschicht gezeigt, welches einen sechseckigen Grundkörper mit einer kreisrunden Aussparung **8** in der Mitte umfasst. An den sechs Seitenflächen des sechseckigen Bauelements **2** sind jeweils als Schlaufenelemente ausgebildete Verbindungselemente **7** angeordnet. Durch ein dreidimensionales Druckverfahren können Schlaufenelemente **7** benachbarter Bauelemente **2** ineinander verschränkt erzeugt werden, ohne dass sie von Hand zusammengesteckt bzw. verhakt werden müssen.

**[0033]** In Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht einer Matrix einer Abstandsschicht **1** gezeigt. In einzelnen Bauelementen **2** der Matrix sind pilzförmige Steckverbindungselemente **3** und als bidirektionale Verbindungsstücke ausgebildete Steckverbindungselemente **4** in den kreisrunden Aussparungen **8** der Bauelemente **2** eingesteckt. Diese verbindenden Elemente **3, 4** sind in Fig. 5 vergrößert gezeigt. Ein auf der linken Seite von Fig. 5 veranschaulichtes pilzförmiges Steckverbindungselement **3** weist einen röhrenförmigen Schaft **3a** auf, der einen Schlitz **3b** in Längsrichtung aufweist. Das pilzförmige Steckverbindungselement **3** weist außerdem einen scheibenförmigen Kopf **3c** auf. Am äußeren Rand **3d** des Schafts **3a** ist eine Art Rastvorsprung ringförmig ausgebildet, mit dem eine formschlüssige Verbindung mit einem Bauelement **2** einer Matrix **1** gebildet werden kann. In einem rechten Teilbereich von Fig. 5 ist ein bidirektionales Verbindungsstück **4** bzw. Steckverbindungselement gezeigt, welches zwei einander gegenüberliegende Schäfte **4a** aufweist, die wie der Schaft **3a** des pilzförmigen Steckverbindungselements **3** mit Schlitz **4b** und Rastvorsprüngen **4d** ausgebildet sind. Zusätzlich umfasst das Verbindungsstück **4** ein zwischen den beiden Schäften **4a** ausgebildetes Durchführungsteil **6**, welches eine durchgehende Aussparung **6a** aufweist, durch die hindurch elektrische Leitungen und elektronische Bauelemente verlegt werden können.

**[0034]** In Fig. 6 ist eine Matrix einer Abstandsschicht **1** gezeigt, welche eine Mehrzahl von pilzförmigen Steckverbindungselementen **3** aufweist, die zum Hal-

ten einer Außenschicht **9** dienen. Die Schäfte **3a** der pilzförmigen Steckverbindungselemente **3** sind in einzelne Bauelemente **2** der Matrix eingesteckt und die Köpfe **3c** der pilzförmigen Steckverbindungselemente **3** halten die Außenschicht **9** formschlüssig an der Abstandsschicht **1**. Hier sind in der Außenschicht **9** Aussparungen ausgebildet, deren Durchmesser ungefähr einem Durchmesser eines Schafts **3a** eines pilzförmigen Steckverbindungselements **3** entspricht.

**[0035]** In Fig. 7 ist eine Draufsicht auf eine Abstandsschicht **1** gezeigt. In einzelne Bauelemente **2** sind Verbindungsstücke **4** eingesteckt. In einem Teilbereich **12** der Abstandsschicht **1** sind gestrichelt Spulenleitungen in Form von Spulenschleifen **11** angedeutet, die durch die Aussparungen **6a** (siehe Fig. 5) der Durchführungsteile **6** der Verbindungsstücke **4** hindurch verlaufen.

**[0036]** In Fig. 8 sind einzelne Bauelemente **2** einer Abstandsschicht vergrößert gezeigt. Gut zu erkennen sind die inneren kreisrunden Aussparungen **8** der einzelnen Bauelemente **2** und die Schlaufenelemente **7** benachbarter Bauelemente **2**, welche ineinander verschränkt ausgebildet sind.

**[0037]** In Fig. 9 ist eine Schichtfolge aus einer Außenschicht **9**, einer ersten Abstandsschicht **1a**, einer Spulenschicht und einer zweiten Abstandsschicht **1** zu erkennen. Die Außenschicht **9** ist mit Hilfe von pilzförmigen Steckverbindungselementen (nicht gezeigt) mit der ersten Abstandsschicht **1a** verbunden. Weiterhin ist in Fig. 9 eine am Seitenrand hervorstehende Spulenschleife **11** zu erkennen, welche in der Spulenschicht **10** zwischen den beiden Abstandsschichten **1, 1a** liegt.

**[0038]** In Fig. 10 sind auf einer Abstandsschicht **1** angeordnete Spulenschleifen **11** veranschaulicht, die mit Hilfe von Verbindungsstücken **4** bzw. bidirektionalen Steckverbindungselementen an der Abstandsschicht **1** fixiert sind. Die Spulenschleifen **11** bilden Überlappregionen **14**. Aufgrund der Fixierung der Spulenschleifen **11** werden relativ konstante Überlappregionen **14** geschaffen und bei einem Verformen der Matrix der Abstandsschicht **1** werden diese auf Position gehalten, um eine möglichst gute Entkopplung zueinander zu erhalten. Die Verbindungsstücke **4** können nicht nur Spulenleitungen auf Position halten, sondern auch Halter für weitere Elektronik sein.

**[0039]** In Fig. 11 sind sechseckige und runde Bauelemente **22, 23** einer Matrix einer Abstandsschicht gezeigt, die anders als die vorab gezeigten Bauelemente **2** als Einzelemente hergestellt wurden und dann mit Hilfe von sogenannten Anschlusselementen **25** und in den jeweiligen Bauelementen **22, 23** integrierten Aufnahmeelementen **26** miteinander in Ver-

bindung gebracht werden, um eine Matrix einer Abstandsschicht zu bilden. Beispielhaft sind in **Fig. 11** jeweils ein Ausschnitt bzw. ein Verbund **21** aus jeweils drei sechseckigen Bauelementen **22** und drei runden Bauelementen **23** gezeigt. Beim Aneinanderfügen werden die Anschlusselemente **25** in die Aufnahmeelemente **26** gerastet, gehakt oder gepresst. Hierzu umfassen die Anschlusselemente **25** ein Hinterhak- oder Rast-Element **28**, das sich in die Aufnahmeelemente **26** hineinschieben lässt, dahinter aufgespreizt wird und vorzugsweise irreversibel bzw. formstabil dort verbunden ist, aber auch noch eine Bewegung in Längsrichtung **15** erlaubt. Hierfür können die Anschlusselemente **25** ein wenig elastisch sein, alternativ oder zusätzlich kann das Aufnahmeelement **26** ein wenig Spiel aufweisen, damit nicht nur Auseinanderbewegungen, sondern auch Kipp- und Torsionsbewegungen ermöglicht werden und damit eine erhöhte Anpassbarkeit der Form der Matrix der Abstandsschicht erzielt wird.

**[0040]** In **Fig. 12** sind runde Einzelelemente **24** gezeigt, welche anders als die in **Fig. 11** gezeigten Einzelelemente **22**, **23** keine Anschlusselemente **25** aufweisen, sondern nur Aufnahmeelemente **26** besitzen. Zusätzlich sind bei einem Zusammenfügen der Einzelelemente **24** Koppелеlemente **27** nötig, mit denen die Einzelelemente **24** zu einem Verbund **31** zusammengefügt werden. Ein solches Zusammenfügen kann sowohl maschinell als auch von Hand erfolgen. Die Koppелеlemente **27** weisen jeweils an beiden Enden Hinterhak- bzw. Rastelemente **28** auf, mit denen die Koppелеlemente **27** zu je einer Seite mit einem Einzelelement **24** verbunden werden. Die Materialien der Koppелеlemente **27** und der Einzelelemente **24** können unterschiedlich gewählt werden. Damit können Bauteile auf die jeweiligen Anforderungen optimiert werden. Haltepunkte **8** ermöglichen es, die Außenschicht festzuhalten bzw. elektronische Bauelemente zu befestigen.

**[0041]** In **Fig. 13** ist eine Darstellung einer Abstandsschicht **130** gezeigt, welche Teilstrukturen aufweist, deren flexible Verbindungen ineinander verhakte Schlaufenelemente bilden. In Kombination mit einer Außenhülle kann diese Abstandsschicht **130** an beliebige Körperformen angepasst werden und lässt sich bei voller Flexibilität nicht eindrücken, so dass trotz hoher Flexibilität und Anformbarkeit ein Sicherheitsabstand zum Patienten gewährleistet ist. Als Materialien für diese Abstandsschicht lassen sich zum Beispiel thermoplastische Polyurethane, die zum Beispiel unter der Marke „Luvosint“ vertrieben werden, verwenden. Diese sind bei der Herstellung verformbar, aber nach ihrer Aushärtung kompressionsresistent.

**[0042]** In **Fig. 14** ist eine Querschnittsansicht einer Spulenmatrix **140** bzw. Spulenordnung mit zwei sandwichartig angeordneten Abstandsschichten **130**,

deren Aufbau dem in **Fig. 13** veranschaulichten Aufbau einer Abstandsschicht **130** entspricht, gezeigt. Die Spulenmatrix **140** umfasst eine Spulenschicht **10** zwischen den beiden Abstandsschichten **130**, mit einer oder mehreren Lokalspulen (nicht gezeigt). Mit der Spulenschicht **10** elektrisch verbunden ist eine Platine **141**, welche die für die Ansteuerung der Lokalspulen notwendige Elektronik, beispielsweise Vorverstärker, umfasst. Die Platine **141** wird durch ein Gehäuse **142** vor Beschädigung geschützt. Das Gehäuse **142** ist an einem Rahmen **130a** befestigt, welcher in die jeweilige Abstandsschicht **1** integriert ist und um die Platine **141** herumliegend ausgebildet ist. Als Schutzhülle ist eine Außenschicht **143** auf der Außenseite der Abstandsschicht **130** angeordnet. Die Außenschicht **143** kann zum Beispiel aus viskoelastischem Polyethylen ausgebildet sein und eine Dicke von etwa 2 mm aufweisen.

**[0043]** **Fig. 15** zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetresonanztomographen **301** mit einer erfindungsgemäßen Spulenordnung **100**.

**[0044]** Die Magneteinheit **310** weist einen Feldmagneten **311** auf, der ein statisches Magnetfeld  $B_0$  zur Ausrichtung von Kernspins von Proben bzw. in einem Körper eines Patienten **340** in einem Aufnahmebereich erzeugt. Der Aufnahmebereich ist in einem Patiententunnel **316** angeordnet, der sich in einer Längsrichtung **302** durch die Magneteinheit **310** erstreckt. Üblicherweise handelt es sich bei dem Feldmagneten **311** um einen supraleitenden Magneten, der magnetische Felder mit einer magnetischen Flussdichte von bis zu 3T, bei neuesten Geräten sogar darüber, bereitstellen kann. Für geringere Feldstärken können jedoch auch Permanentmagnete oder Elektromagnete mit normalleitenden Spulen Verwendung finden.

**[0045]** Weiterhin weist die Magneteinheit **310** Gradientenspulen **312** auf, die dazu ausgelegt sind, zur räumlichen Differenzierung der erfassten Abbildungsbereiche in dem Untersuchungsvolumen dem Magnetfeld  $B_0$  variable Magnetfelder in drei Raumrichtungen zu überlagern. Die Gradientenspulen **312** sind üblicherweise Spulen aus normalleitenden Drähten, die zueinander orthogonale Felder in dem Untersuchungsvolumen erzeugen können.

**[0046]** Die Magneteinheit **310** weist ebenfalls eine Körperspule **314** auf, die dazu ausgelegt ist, ein über eine Signalleitung zugeführtes Hochfrequenzsignal in das Untersuchungsvolumen abzustrahlen und von dem Patient **340** emittierte Resonanzsignale zu empfangen und über eine Signalleitung abzugeben. Weiterhin weist der erfindungsgemäße Magnetresonanztomograph eine oder mehrere Spulenordnungen **100** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung auf, die in dem Patiententunnel **316** nahe am Patient **340** angeordnet sind.

**[0047]** Eine Steuereinheit **320** versorgt die Magnet-einheit **310** mit den verschiedenen Signalen für die Gradientenspulen **312** und die Körperspule **314** und wertet die empfangenen Signale aus.

**[0048]** So weist die Steuereinheit **320** eine Gradientenansteuerung **321** auf, die dazu ausgelegt ist, die Gradientenspulen **312** über Zuleitungen mit variablen Strömen zu versorgen, welche zeitlich koordiniert die erwünschten Gradientenfelder in dem Untersuchungsvolumen bereitstellen.

**[0049]** Weiterhin weist die Steuereinheit **320** eine Hochfrequenzeinheit **322** auf, die ausgelegt ist, einen Hochfrequenz-Puls mit einem vorgegebenen zeitlichen Verlauf, Amplitude und spektraler Leistungsverteilung zur Anregung einer Magnetresonanz der Kernspins in dem Patienten **340** zu erzeugen. Dabei können Pulsleistungen im Bereich von Kilowatt erreicht werden. Die einzelnen Einheiten sind über einen Signalbus **325** untereinander verbunden.

**[0050]** Das von der Hochfrequenzeinheit **322** erzeugte Hochfrequenzsignal wird über eine Signalverbindung **331** der Patientenliege **330** zugeführt und an eine oder mehrere Lokalspulen verteilt und in den Körper des Patienten **340** ausgesendet, um dort die Kernspins anzuregen.

**[0051]** Die Lokalspule der Spulenordnung **100** empfängt dann vorzugsweise ein Magnetresonanzsignal aus dem Körper des Patienten **340**, denn aufgrund des geringen Abstandes ist das Signal-zu-Rauschverhältnis (SNR) der Lokalspule besser als bei einem Empfang durch die Körperspule **314**. Das von der Lokalspule empfangene MR-Signal wird in der Lokalspule aufbereitet und an die Hochfrequenzeinheit **322** des Magnetresonanztomographen **301** zur Auswertung und Bilderfassung weitergeleitet. Vorzugsweise wird dazu ebenfalls die Signalverbindung **331** genutzt, es sind aber auch separate Signalverbindungen oder eine drahtlose Übertragung denkbar. Es ist ebenso denkbar, dass für das Empfangen eigene Lokalspulen oder andere Antennen vorgesehen sind.

**[0052]** Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorbeschriebenen Vorrichtungen und Verfahren lediglich um bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung handelt und dass die Erfindung vom Fachmann variiert werden kann, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen, soweit er durch die Ansprüche vorgegeben ist. Es wird der Vollständigkeit halber auch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht ausschließt, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff „Einheit“ nicht aus, dass diese aus mehreren Komponenten besteht, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 8244328 B2 [0007]
- US 9138164 B2 [0007]
- US 7826887 B2 [0007]
- US 20150057527 A1 [0007]
- US 20150057528 A1 [0007]
- DE 102011007065 A1 [0009]



**Patentansprüche**

1. Spulenordnung (100) für ein Magnetresonanzbildgebungssystem (301) mit mindestens einer Spulenabstandsschicht (1, 1a, 130), wobei die Spulenabstandsschicht (1, 1a, 130) eine flächige Matrix mit einer flexiblen, netzartigen Struktur umfasst, welche eine Mehrzahl von flexibel miteinander verketteten Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) aufweist.

2. Spulenordnung nach Anspruch 1, wobei die Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) perforierte Bauelemente aufweisen, die in Vertikalrichtung zur Matrixfläche kompressionsresistent sind.

3. Spulenordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) gleichartig ausgebildet sind.

4. Spulenordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Spulenordnung (100) eine Lokalspule (11) umfasst.

5. Spulenordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) eine der folgenden Flächenformen aufweisen:

- eine Sechseckform,
- eine runde Form,
- eine dreieckige Form,
- eine viereckige Form,
- eine fünfeckige Form,
- eine siebeneckige Form.

6. Spulenordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) über flexible Verbindungen (25, 26, 27) miteinander verbunden sind, wobei die flexiblen Verbindungen (25, 26, 27) derart ausgebildet sind, dass sich einzelne Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) voneinander weg und/oder zu einander hin bewegen können und/oder Kippbewegungen und/oder Drehbewegungen ausführen können.

7. Spulenordnung nach Anspruch 6, wobei die flexiblen Verbindungen (25, 26, 27) ineinander verhakete Schlaufenelemente bilden.

8. Spulenordnung nach Anspruch 6 oder 7, wobei die flexiblen Verbindungen (25, 26, 27) jeweils ein Anschlusselement (25) und ein Aufnahmeelement (26) aufweisen, wobei das Anschlusselement (25) von dem Aufnahmeelement (26) aufgenommen wird.

9. Spulenordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die flächige Matrix mit Hilfe eines 3D-Druckverfahrens ausgebildet ist.

10. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, wobei die Perforierungen (8) der perforierten

Bauelemente (2, 21, 22, 23, 24) derart ausgebildet sind, dass sich vertikale Steckverbindungselemente (3, 4) in den Perforierungen (8) in einem definierten Raster fixieren lassen.

11. Spulenordnung nach Anspruch 10, wobei die vertikalen Steckverbindungselemente (3, 4) dazu eingerichtet sind, die Spulenabstandsschicht (1a) mit einer Außenschicht (9) und/oder einer zweiten Spulenabstandsschicht (1) zu verbinden.

12. Spulenordnung nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Steckverbindungselemente (4) dazu eingerichtet sind, in Lateralrichtung verlaufende elektrische Leitungen und/oder Spulenleitungen (11) und/oder elektronische Bauelemente aufzunehmen.

13. Verwendung einer Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zum Herstellen einer Lokalspule für ein Magnetresonanzbildgebungssystem.

14. Verfahren zum Herstellen einer Spulenordnung (100), wobei eine Spulenabstandsschicht (1, 1a, 130) erzeugt wird, welche eine flächige Matrix mit einer flexiblen, netzartigen Struktur umfasst, welche eine Mehrzahl von flexibel miteinander verketteten Teilstrukturen (2, 21, 22, 23, 24) aufweist.

15. Magnetresonanzbildgebungssystem (301), aufweisend eine Spulenordnung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

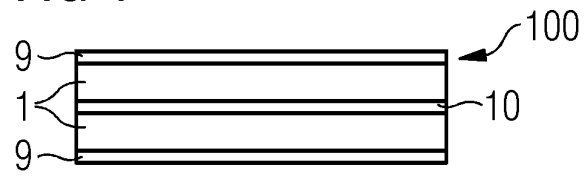


FIG 2

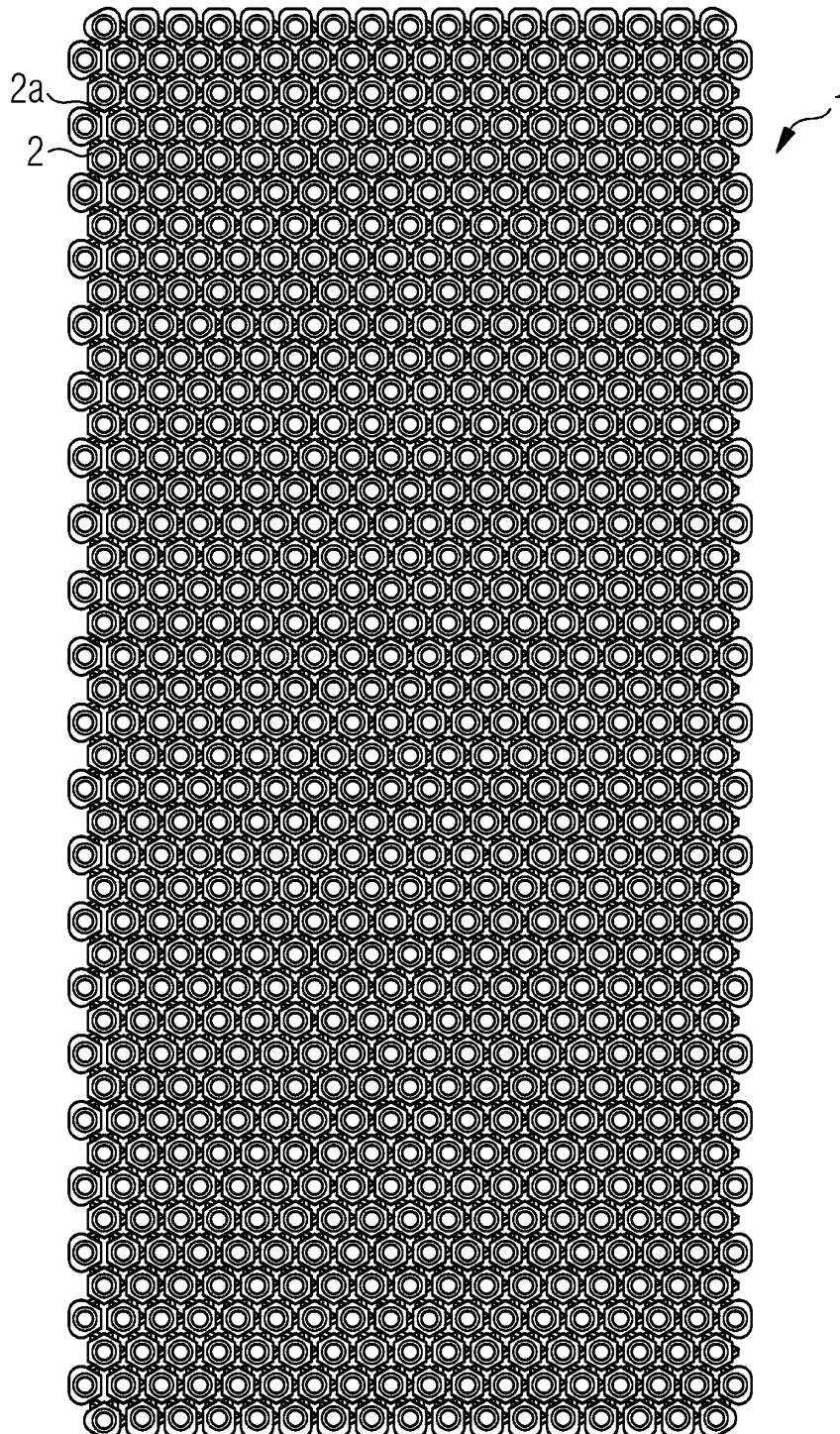


FIG 3

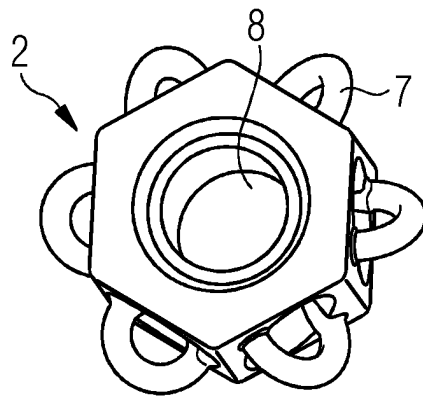


FIG 4

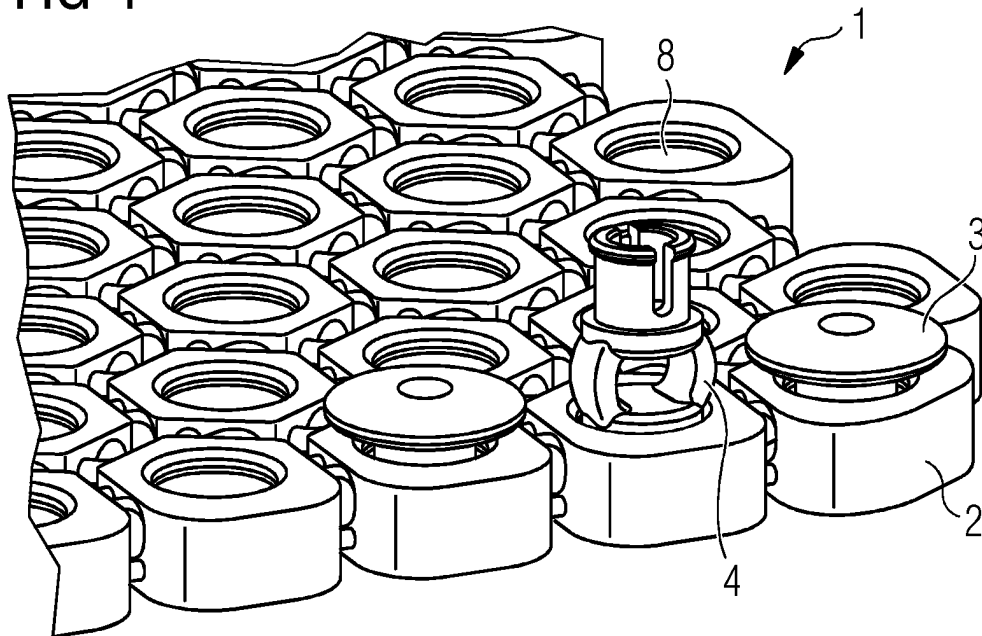


FIG 5

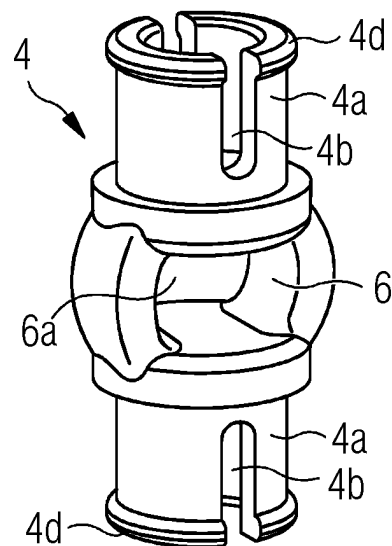
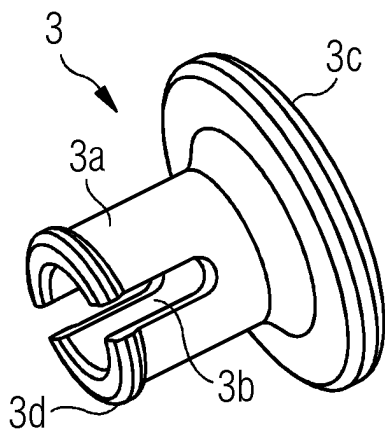


FIG 6

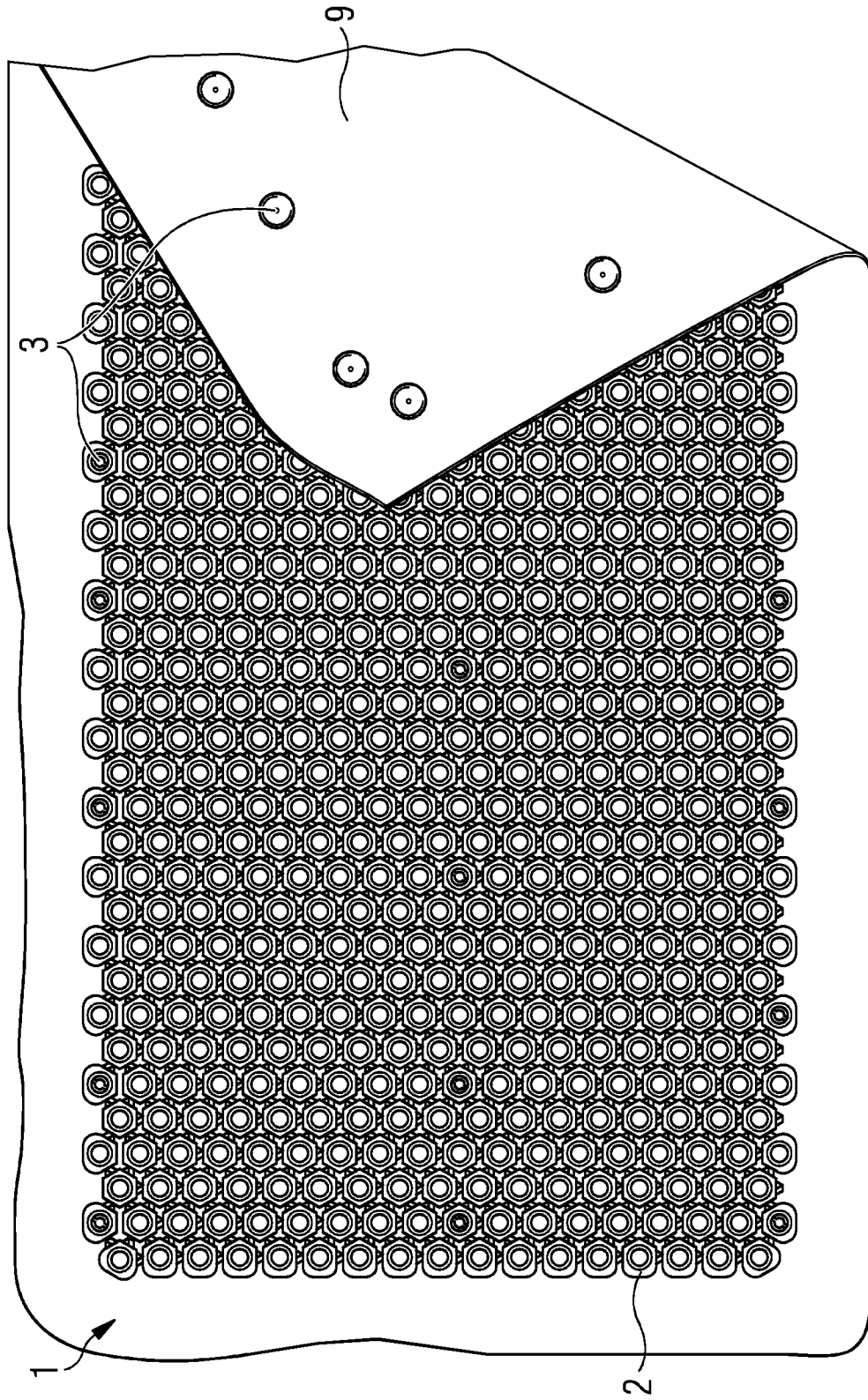


FIG 7

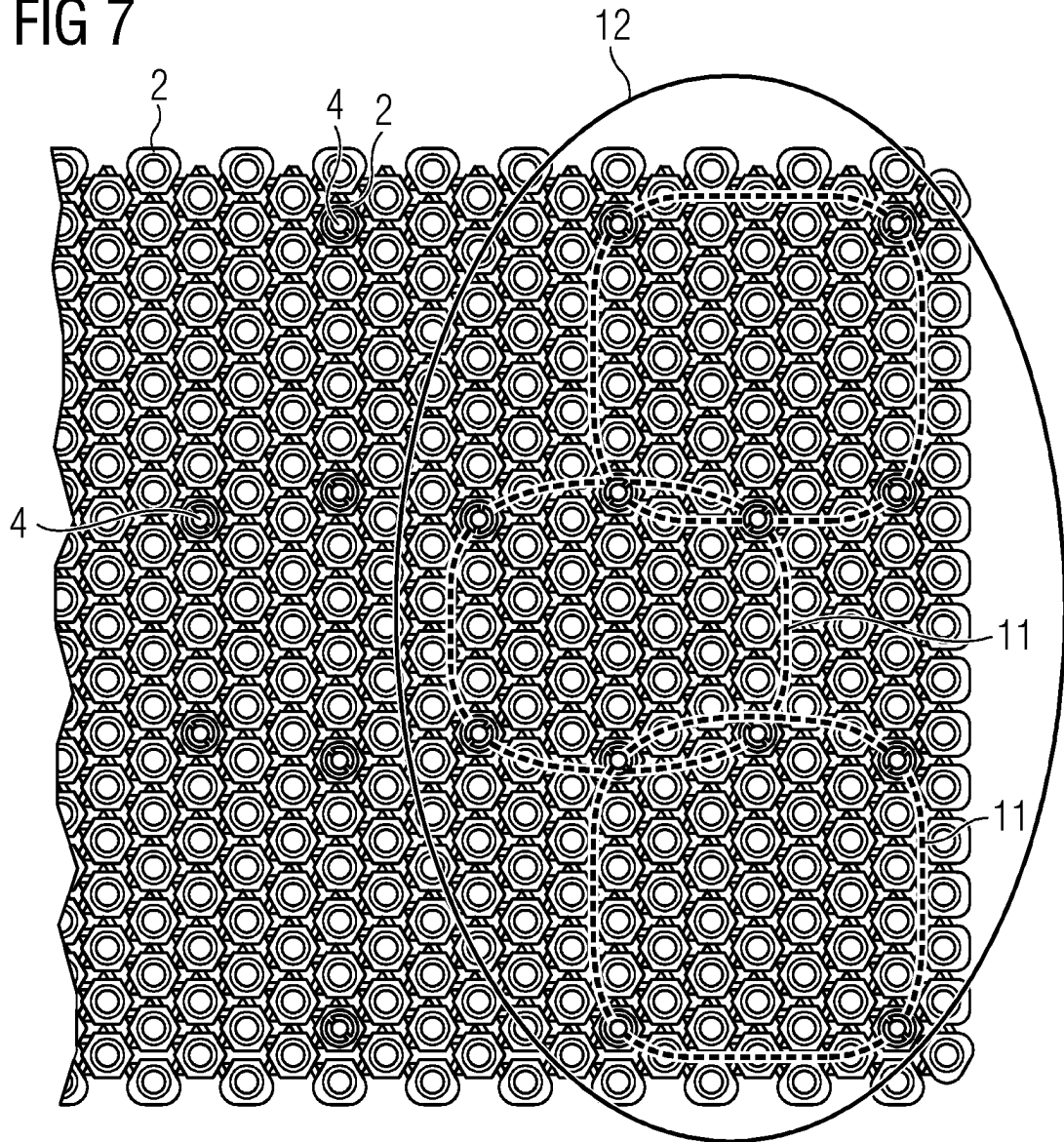


FIG 8

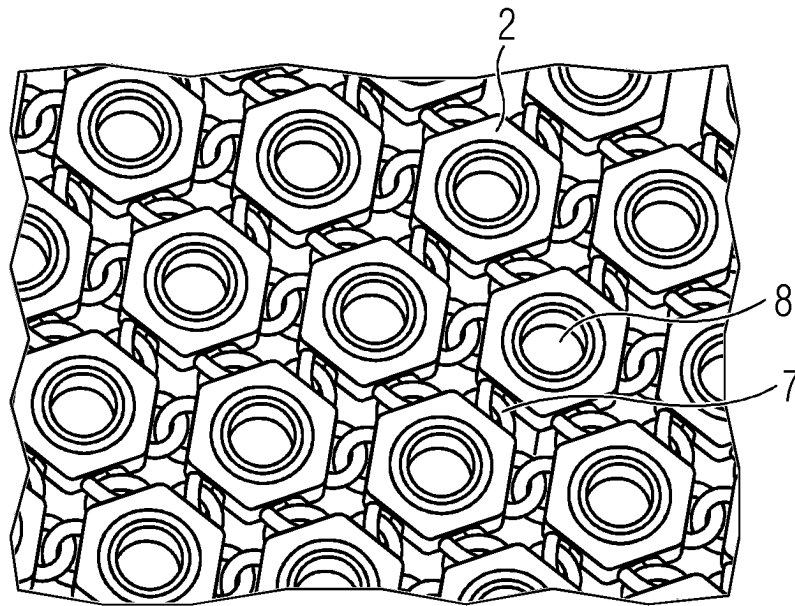


FIG 9

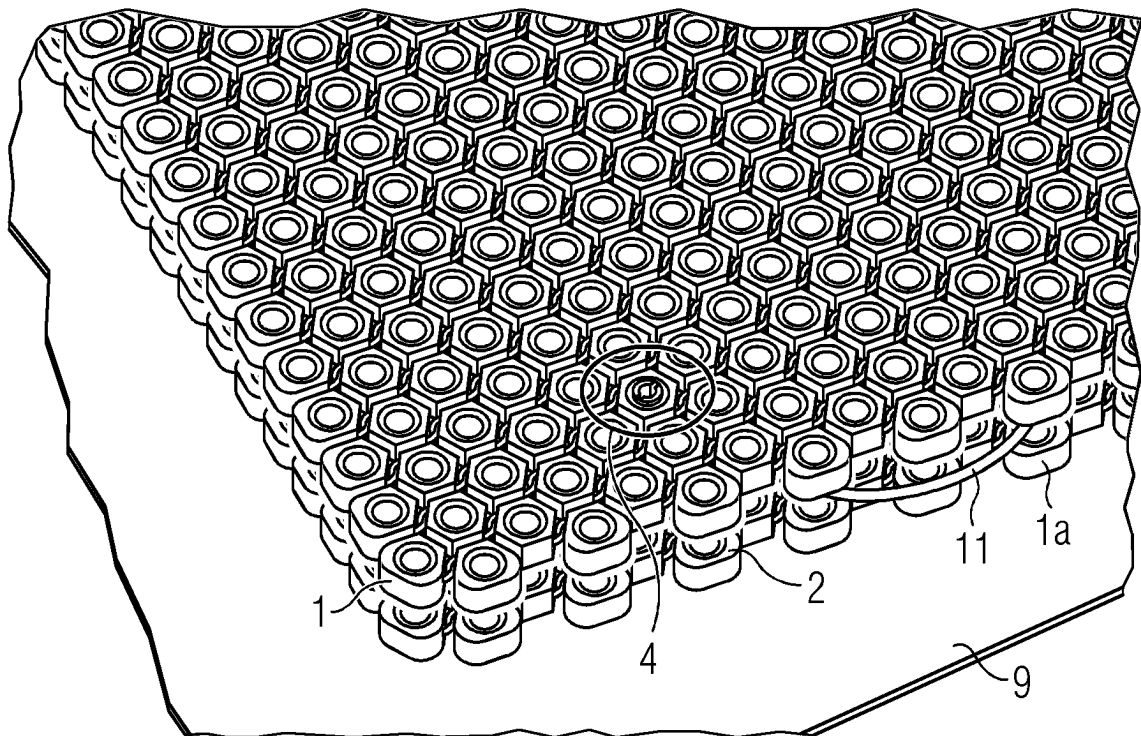


FIG 10

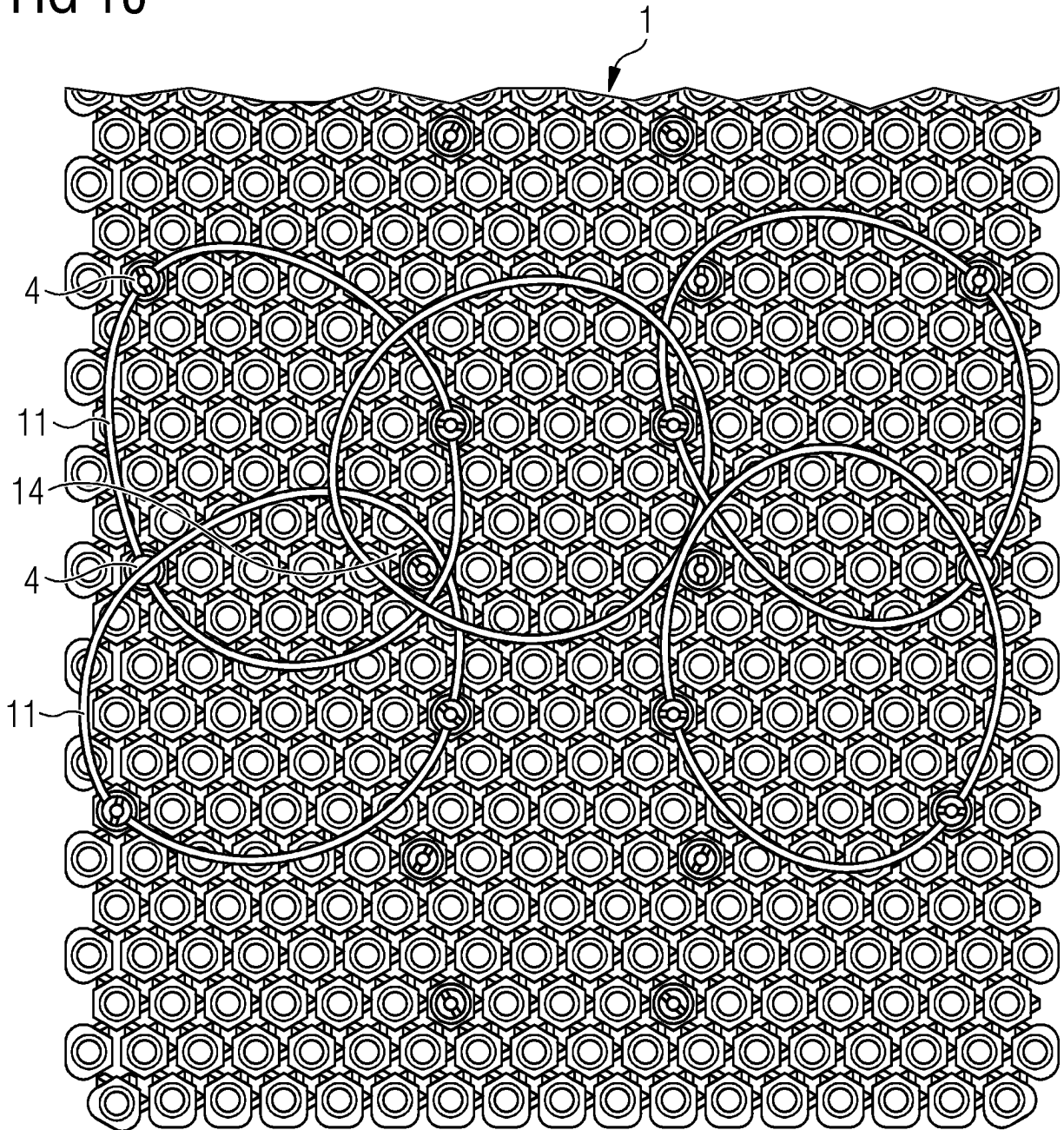


FIG 11

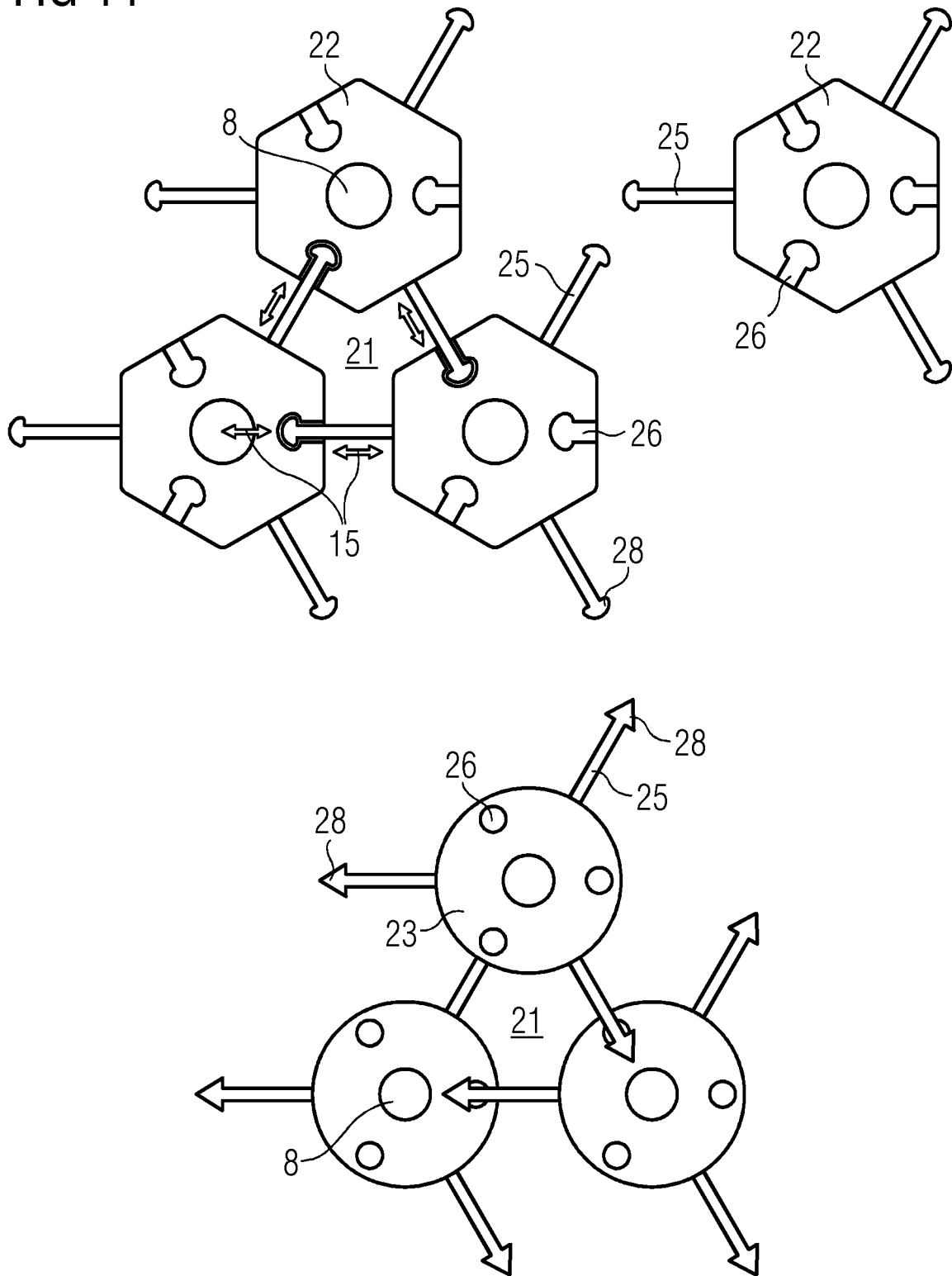




FIG 12

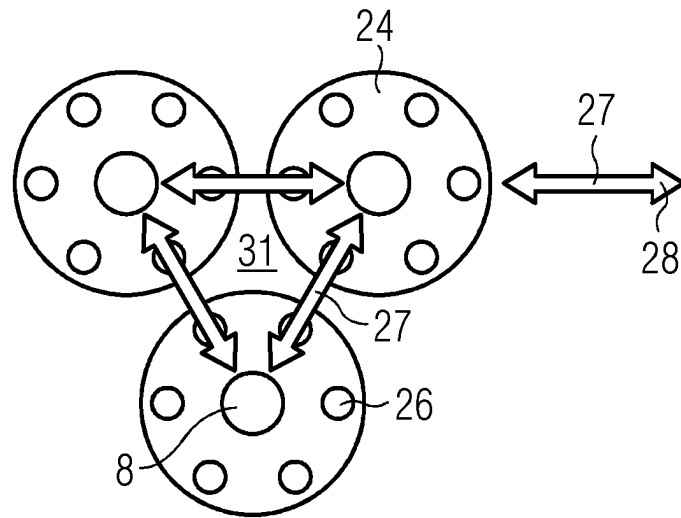


FIG 13

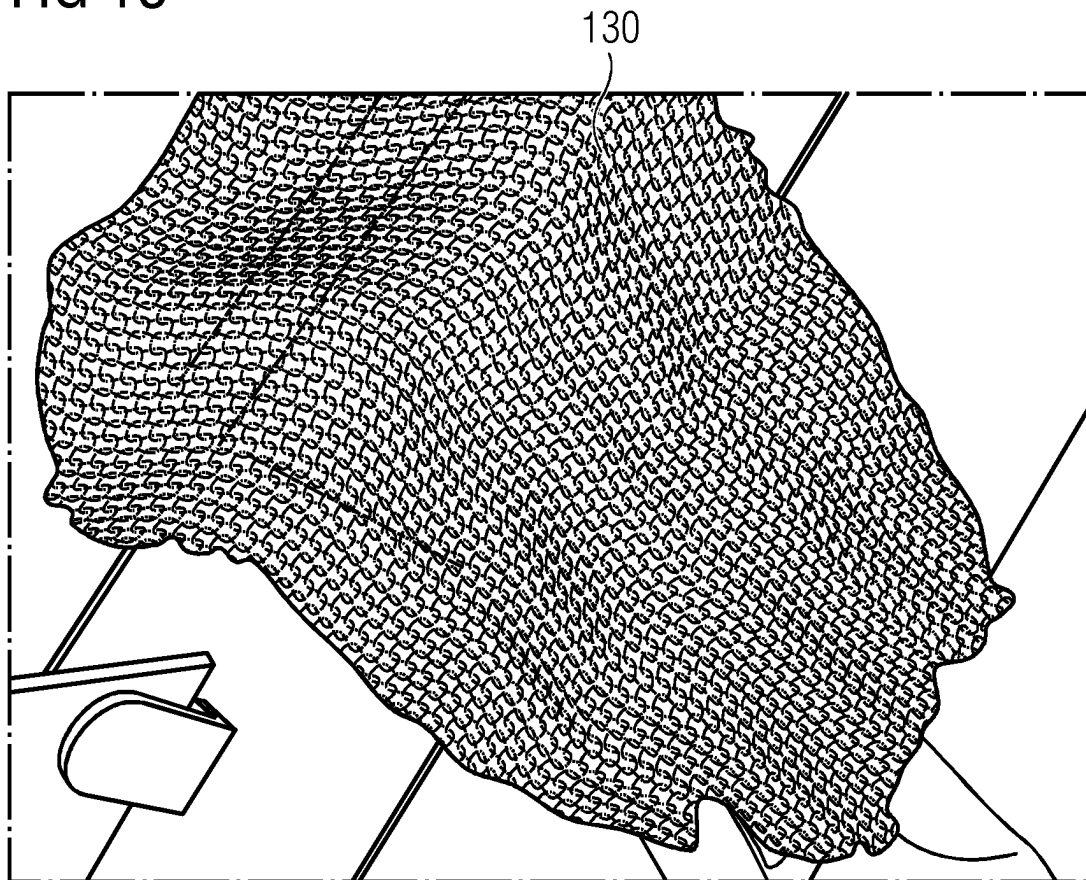


FIG 14

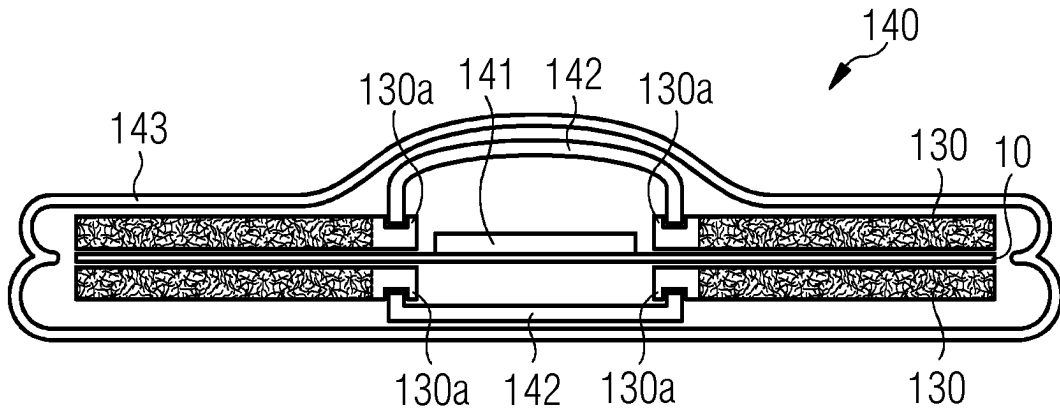


FIG 15

