



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 008 048 B4** 2009.08.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 008 048.0**
 (22) Anmeldetag: **22.02.2005**
 (43) Offenlegungstag: **31.08.2006**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **27.08.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 33/34** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

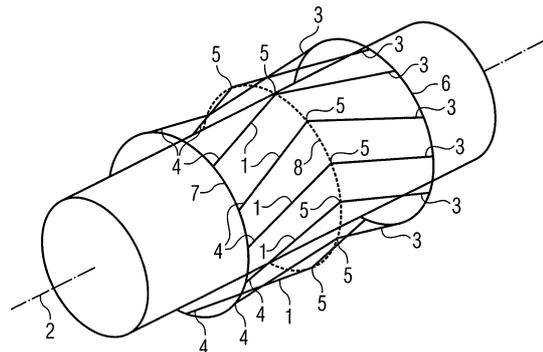
(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Reykowski, Arne, Dr., 91054 Erlangen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
WO 03/0 08 988 A1

(54) Bezeichnung: **Antennenanordnung für eine Magnetresonanztanlage**

(57) Hauptanspruch: Antennenanordnung für eine Magnetresonanztanlage, mit einer Anzahl von Antennenstäben (1), die regelmäßig um eine Antennenachse (2) herum angeordnet sind und axial zur Antennenachse (2) verlaufen,
 – wobei jeder Antennenstab (1) zwei Stabenden (3, 4) und eine Stabmitte (5) aufweist,
 – wobei die Stabenden (3, 4) jedes Antennenstabes (1) mit den Stabenden (3, 4) zumindest eines seiner unmittelbar benachbarten Antennenstäbe (1) durch tangential zur Antennenachse (2) verlaufende Verbindungselemente (6, 7) elektrisch leitend verbunden sind,
 – wobei die Antennenstäbe (1) bezüglich einer zur Antennenachse (2) senkrechten Symmetrieebene (8) spiegelsymmetrisch sind,
 – wobei jeder Punkt (9) eines Antennenstabes (1) mit der Antennenachse (2) eine Radialrichtung definiert, die Stabmitte (5) mit der Antennenachse (2) eine Referenzrichtung definiert und jede Radialrichtung mit der Referenzrichtung einen Tangentialwinkel (α) bildet,
 – wobei bezüglich jedes Antennenstabes (1) der Tangentialwinkel (α) eine nicht konstante Funktion des axialen Abstands (z) des jeweiligen Punktes (9) von...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Antennenanordnung für eine Magnetresonanzanlage, mit einer Anzahl von Antennenstäben, die regelmäßig um eine Antennenachse herum angeordnet sind und axial zur Antennenachse verlaufen, wobei jeder Antennenstab zwei Stabenden und eine Stabmitte aufweist, wobei die Stabenden jedes Antennenstabes mit den Stabenden zumindest eines seiner unmittelbar benachbarten Antennenstäbe durch tangential zur Antennenachse verlaufende Verbindungselemente elektrisch leitend verbunden sind.

[0002] Antennenanordnungen der eingangs genannten Art sind allgemein bekannt und in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt.

[0003] [Fig. 1](#) zeigt einen sogenannten Birdcage-Resonator. Der Birdcage-Resonator weist eine Anzahl von Antennenstäben **1** auf. Die Antennenstäbe **1** sind regelmäßig um eine Antennenachse **2** herum angeordnet. Meist sind sie sogar gleichmäßig um die Antennenachse **2** herum angeordnet. Sie verlaufen im Wesentlichen parallel zur Antennenachse **2**, vorzugsweise sogar exakt parallel zur Antennenachse **2**.

[0004] Die Antennenachse **2** stellt eine Vorzugsrichtung eines zylindrischen Koordinatensystems dar. Soweit nachfolgend die Begriffe „axial“, „radial“ und „tangential“ verwendet werden, bezeichnen „axial“ eine Richtung parallel zur Antennenachse **2** sowie „radial“ und „tangential“ Richtungen senkrecht zur Antennenachse **2**. Als „radial“ wird dabei eine Richtung auf die Antennenachse **2** zu bzw. von der Antennenachse **2** weg bezeichnet, als „tangential“ eine Richtung um die Antennenachse **2** herum.

[0005] Gemäß [Fig. 1](#) weist jeder Antennenstab **1** zwei Stabenden **3, 4** und eine Stabmitte **5** auf. Die Stabmitte **5** ist dabei von den Stabenden **3, 4** gleichweit entfernt. Korrespondierende Stabenden **3, 4** der Antennenstäbe **1** sind über zwei geschlossene Ringe **6, 7** elektrisch leitend miteinander verbunden. Jeder Antennenstab **1** ist somit mit je einem seiner Stabenden **3, 4** mit je einem der Ringe **6, 7** elektrisch leitend verbunden. Die Ringe **6, 7** stellen also Verbindungselemente **6, 7** zur elektrisch leitenden Verbindung der Stabenden **3, 4** dar, wobei die Verbindungselemente **6, 7** im Wesentlichen tangential zur Antennenachse **2** verlaufen.

[0006] Auf Grund der Anordnung der Antennenstäbe **1** parallel zur Antennenachse **2** sind die Antennenstäbe **1** bezüglich einer Symmetrieebene spiegelsymmetrisch. Die Symmetrieebene verläuft dabei senkrecht zur Antennenachse **2** und enthält die Stabmitte **5**.

[0007] Bezüglich jedes Antennenstabes **1** definiert dessen Stabmitte **5** mit der Antennenachse **2** eine radial verlaufende Referenzrichtung. Jeder Punkt desselben Antennenstabes **1** definiert mit der Antennenachse **2** eine Radialrichtung. Auf Grund des Umstandes, dass die Antennenstäbe **1** der Antennenanordnung von [Fig. 1](#) parallel zur Antennenachse **2** verlaufen, sind dabei selbstverständlich alle Radialrichtungen mit der Referenzrichtung identisch. Jede Radialrichtung bildet daher mit der Referenzrichtung einen Winkel von 0° , der über den gesamten Antennenstab **1** konstant Null bleibt.

[0008] Die Darstellung gemäß [Fig. 2](#) entspricht im Wesentlichen der von [Fig. 1](#). Im Gegensatz zur Darstellung von [Fig. 1](#) sind die Verbindungselemente **6, 7** der [Fig. 2](#) aber nicht als geschlossene Ringe, sondern als Ringabschnitte **6, 7** ausgebildet. Über sie sind jeweils genau zwei Stabenden **3, 4** elektrisch leitend miteinander verbunden. Im Ergebnis wird dadurch erreicht, dass die Antennenstäbe **1** und die Verbindungselemente **6, 7** eine Anzahl von Einzelantennen **10** eines Antennenarrays bilden.

[0009] Im Übrigen wurde die Ausgestaltung der Antennenanordnung von [Fig. 1](#) aber beibehalten.

[0010] Mittels der obenstehend beschriebenen allgemein bekannten Antennenanordnungen können in einem Untersuchungsvolumen Magnetresonanzen angeregt werden (Sendebetrieb der Antennenanordnung) bzw. aus dem Untersuchungsvolumen Magnetresonanzen empfangen werden (Empfangsbetrieb der Antennenanordnung). Das Untersuchungsvolumen ist dabei im Wesentlichen zylindrisch, wobei die Abmessungen des Untersuchungsvolumens im Wesentlichen mit den Abmessungen der Antennenanordnung korrespondieren.

[0011] Es ist auch – beispielsweise aus der WO 03/008988 A1 – schon bekannt, eine Antennenanordnung zu verwenden, die eine abgewandelte Form der Antennenanordnung von [Fig. 1](#) darstellt. Bei dieser Antennenanordnung sind die Antennenstäbe **1** helixartig um die Antennenachse **2** herumgeführt. Man kann sich diese Antennenanordnung am einfachsten so vorstellen, dass bei der Antennenanordnung der [Fig. 1](#) die Ringe **6, 7** gegeneinander verdreht werden. In diesem Fall sind die Antennenstäbe **1** selbstverständlich nicht mehr zur Symmetrieebene spiegelsymmetrisch. Vielmehr bildet in diesem Fall jede Radialrichtung eines Punktes, soweit der Punkt nicht mit der Stabmitte **5** identisch ist, mit der Referenzrichtung einen Tangentialwinkel, wobei bezüglich jedes Antennenstabes **1** der Tangentialwinkel eine nicht konstante Funktion des axialen Abstands des jeweiligen Punktes von der Stabmitte **5** ist. In der Regel steigen die Tangentialwinkel von der Stabmitte **5** jedes Antennenstabes **1** zu den Stabenden **3, 4** dieses Antennenstabes **1** mit dem axialen Abstand der

Punkte von der Stabmitte **5** linear an.

[0012] Die durch die Antennenanordnungen des Standes der Technik erzeugten Anregungssignale bzw. die Sensitivität der Antennenanordnungen des Standes der Technik auf Magnetresonanzsignale ist bereits recht gut. Theoretische Berechnungen zeigen aber, dass die Antennenanordnungen des Standes der Technik noch nicht optimal sind.

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Antennenanordnung zu schaffen, die gegenüber den bekannten Antennenanordnungen überlegene Betriebseigenschaften aufweist.

[0014] Die Aufgabe wird durch eine Antennenanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0015] Bei der erfindungsgemäßen Antennenanordnung sind die Antennenstäbe somit zwar- ebenso wie z. B. beim Standard-Birdcage-Resonator bezüglich einer zur Antennenachse senkrechten Symmetrieebene spiegelsymmetrisch. Im Gegensatz zum Standard-Birdcage-Resonator ist bezüglich jedes Antennenstabes der Tangentialwinkel, den ein Punkt eines Antennenstabes mit der Referenzrichtung bildet, aber eine nicht konstante Funktion des axialen Abstands des jeweiligen Punktes von der Stabmitte.

[0016] Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn die Tangentialwinkel von der Stabmitte jedes Antennenstabes zu den Stabenden dieses Antennenstabes mit dem axialen Abstand der Punkte von der Stabmitte monoton ansteigen. Die Tangentialwinkel können dabei alternativ linear, stärker als linear oder schwächer als linear mit dem axialen Abstand der Punkte von der Stabmitte ansteigen.

[0017] Alternativ ist es auch möglich, dass die Tangentialwinkel von der Stabmitte jedes Antennenstabes zu den Stabenden dieses Antennenstabes in mindestens einem ersten Abschnitt mit dem axialen Abstand der Punkte von der Stabmitte monoton ansteigen und in mindestens einem zweiten Abschnitt mit dem axialen Abstand der Punkte von der Stabmitte monoton abfallen. Der erste Abschnitt ist dabei näher an der Stabmitte angeordnet als der zweite Abschnitt.

[0018] Die Verbindungselemente können als geschlossene Ringe ausgebildet sein, wobei jeder Antennenstab mit je einem seiner Stabenden mit je einem der Ringe elektrisch leitend verbunden ist. In diesem Fall ist die Antennenanordnung als Birdcage ähnliche Struktur ausgebildet.

[0019] Alternativ können die Verbindungselemente aber auch als Ringabschnitte ausgebildet sein, wobei über die Verbindungselemente jeweils genau zwei Stabenden elektrisch leitend miteinander verbunden

sind. In diesem Fall ist die Antennenanordnung als Antennenarray ausgebildet.

[0020] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen. Dabei zeigen in Prinzipdarstellung:

[0021] [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) Antennenanordnungen des Standes der Technik in perspektivischer Darstellung,

[0022] [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) erfindungsgemäße Antennenanordnungen in perspektivischer Darstellung,

[0023] [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) die Antennenanordnungen der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) in abgerollter Darstellung,

[0024] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) Modifikationen der Antennenanordnungen von [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) sowie

[0025] [Fig. 9](#) eine weitere Modifikation der Antennenanordnungen von [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#).

[0026] Gemäß den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) sind die erfindungsgemäßen Antennenanordnungen für eine Magnetresonanzanlage ähnlich zu den in Verbindung mit den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) beschriebenen Antennenanordnungen ausgebildet. Sie weisen also ebenfalls eine Anzahl von Antennenstäben **1** auf, die regelmäßig um eine Antennenachse **2** herum angeordnet sind und im Wesentlichen axial zur Antennenachse **2** verlaufen. Wie zuvor weist jeder Antennenstab **1** zwei Stabenden **3, 4** und eine Stabmitte **5** auf.

[0027] Die Stabenden **3, 4** jedes Antennenstabes **1** sind mit den Stabenden **3, 4** zumindest eines seiner unmittelbar benachbarten Antennenstäbe **1** durch Verbindungselemente **6, 7** elektrisch leitend verbunden. Die Verbindungselemente **6, 7** verlaufen dabei im Wesentlichen tangential zur Antennenachse **2**.

[0028] Bei der Antennenanordnung gemäß [Fig. 3](#) sind die Verbindungselemente **6, 7** als geschlossene Ringe ausgebildet. In diesem Fall ist die Antennenanordnung Birdcage-ähnlich ausgebildet, so dass also jeder Antennenstab **1** mit je einem seiner Stabenden **3, 4** mit je einem der Ringe elektrisch leitend verbunden ist. Bei der Antennenanordnung gemäß [Fig. 4](#) hingegen ist die Antennenanordnung als Antennenarray ausgebildet. In diesem Fall sind die Verbindungselemente **6, 7** als Ringabschnitte ausgebildet, über die jeweils genau zwei Stabenden **3, 4** elektrisch leitend miteinander verbunden sind.

[0029] Ebenso wie bei den Antennenanordnungen gemäß den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) sind bei den Antennenanordnungen gemäß den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) die Antennenstäbe **1** bezüglich einer Symmetrieebene **8** spiegelsymmetrisch. Die Symmetrieebene **8** ist dabei ebenso angeordnet wie die Symmetrieebene der

[Fig. 1](#) und [Fig. 2](#). Sie enthält insbesondere die Stabmitten **5** und ist in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) als tangential umlaufende Linie von Punkten dargestellt.

[0030] Im Gegensatz zu den Antennenanordnungen der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) verlaufen die Antennenstäbe **1** bei den Antennenanordnungen der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) aber nicht exakt parallel zur Antennenachse **2**, sondern nur im Wesentlichen axial zur Antennenachse **2**. Denn wie insbesondere aus den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) ersichtlich ist, definiert jeder Punkt **9** eines Antennenstabes **1** mit der Antennenachse **2** eine Radialrichtung. Die Stabmitte **5** definiert dabei mit der Antennenachse **2** eine Referenzrichtung. Jede Radialrichtung bildet mit der Referenzrichtung einen Tangentialwinkel α . Dargestellt ist dies in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) für jeweils einen derartigen Punkt **9**. Der Tangentialwinkel α ist ersichtlich bezüglich jedes Antennenstabes **1** eine nicht konstante Funktion des axialen Abstands z des jeweiligen Punktes **9** von der Stabmitte **5**.

[0031] Die Antennenanordnung der [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) lässt sich am einfachsten so verstehen, dass man annimmt, die Stabmitten **5** des Birdcage-Resonators von [Fig. 1](#) seien über ein fiktives Element – z. B. die in der [Fig. 3](#) punktiert eingezeichnete Symmetrieebene **8** – miteinander verbunden worden und das fiktive Element sei dann um die Antennenachse **2** gedreht worden, während die Verbindungselemente **6**, **7** festgehalten worden waren. Ähnlich kann man sich die Entstehung des Antennenarrays der [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) vorstellen.

[0032] Bei den Antennenanordnungen der [Fig. 3](#) bis [Fig. 6](#) steigen die Tangentialwinkel α von der Stabmitte **5** jedes Antennenstabes **1** zu den Stabenden **3**, **4** dieses Stabendes **1** hin mit dem axialen Abstand z der Punkte **9** von der Stabmitte **5** monoton an. Der Anstieg ist dabei ersichtlich linear mit dem axialen Abstand z der Punkte **9** von der Stabmitte **5**. Wie aus den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) für einen einzelnen Antennenstab **1** ersichtlich ist, ist es aber auch möglich, dass die Tangentialwinkel α von der Stabmitte **5** jedes Antennenstabes **1** zu den Stabenden **3**, **4** dieses Antennenstabes **1** hin stärker bzw. schwächer als linear mit dem axialen Abstand z der Punkte **9** von der Stabmitte **5** ansteigen. Welche Ausgestaltung vorzuziehen ist, ist eine Frage des Einzelfalls. Gestrichelt ist in den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zum Vergleich der lineare Verlauf des Antennenstabes **1** mit eingezeichnet.

[0033] In besonders gelagerten Fällen kann es – siehe [Fig. 9](#) – sogar sinnvoll sein, dass die Tangentialwinkel α von der Stabmitte **5** jedes Antennenstabes **1** zu den Stabenden **3**, **4** dieses Antennenstabes **1** hin nur abschnittsweise monoton sind. In diesem Fall steigen die Tangentialwinkel α von der Stabmitte **5** jedes Antennenstabes **1** zu den Stabenden **3**, **4** dieses Antennenstabes **1** hin in einem ersten Abschnitt **11**

mit dem axialen Abstand z der Punkte **9** von der Stabmitte **5** zunächst monoton – vorzugsweise linear – an. In mindestens einem zweiten Abschnitt **12** hingegen fallen die Tangentialwinkel α mit dem axialen Abstand z der Punkte **9** von der Stabmitte **5** wieder monoton – vorzugsweise linear – ab. Der erste Abschnitt **11** ist dabei näher an der Stabmitte **5** angeordnet als der zweite Abschnitt **12**.

[0034] Die Ausgestaltungen gemäß den [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) sind obenstehend nur in Verbindung mit der Birdcage-ähnlichen Antennenanordnung dargestellt. Sie sind selbstverständlich aber auch bei einem Antennenarray möglich, wie es in den [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) dargestellt ist.

[0035] Mittels der erfindungsgemäßen Antennenanordnungen ist es insbesondere möglich, bei gleichen Abmessungen und dergleichen im Sendefall höhere Anregungsstärken zu erzielen bzw. im Empfangsfall das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Auch ist es möglich, die Homogenität des Anregungsprofils zu verbessern. Darüber hinaus ist es möglich, im axialen Randbereich des Untersuchungsvolumens gezielt Bereiche niedrigerer Empfindlichkeit zu erzeugen, wodurch Einfaltungsartefakte bei der Rekonstruktion verringert werden können.

Patentansprüche

1. Antennenanordnung für eine Magnetresonanztanlage, mit einer Anzahl von Antennenstäben **(1)**, die regelmäßig um eine Antennenachse **(2)** herum angeordnet sind und axial zur Antennenachse **(2)** verlaufen,

- wobei jeder Antennenstab **(1)** zwei Stabenden **(3, 4)** und eine Stabmitte **(5)** aufweist,
- wobei die Stabenden **(3, 4)** jedes Antennenstabes **(1)** mit den Stabenden **(3, 4)** zumindest eines seiner unmittelbar benachbarten Antennenstäbe **(1)** durch tangential zur Antennenachse **(2)** verlaufende Verbindungselemente **(6, 7)** elektrisch leitend verbunden sind,
- wobei die Antennenstäbe **(1)** bezüglich einer zur Antennenachse **(2)** senkrechten Symmetrieebene **(8)** spiegelsymmetrisch sind,
- wobei jeder Punkt **(9)** eines Antennenstabes **(1)** mit der Antennenachse **(2)** eine Radialrichtung definiert, die Stabmitte **(5)** mit der Antennenachse **(2)** eine Referenzrichtung definiert und jede Radialrichtung mit der Referenzrichtung einen Tangentialwinkel (α) bildet,
- wobei bezüglich jedes Antennenstabes **(1)** der Tangentialwinkel (α) eine nicht konstante Funktion des axialen Abstands (z) des jeweiligen Punktes **(9)** von der Stabmitte **(5)** ist.

2. Antennenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Tangentialwinkel (α) von der Stabmitte **(5)** jedes Antennenstabes **(1)** zu

den Stabenden (3, 4) dieses Antennenstabes (1) hin mit dem axialen Abstand (z) der Punkte (9) von der Stabmitte (5) monoton ansteigen.

3. Antennenanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Tangentialwinkel (α) von der Stabmitte (5) jedes Antennenstabes (1) zu den Stabenden (3, 4) dieses Antennenstabes (1) hin linear mit dem axialen Abstand (z) der Punkte (9) von der Stabmitte (5) ansteigen.

4. Antennenanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Tangentialwinkel (α) von der Stabmitte (5) jedes Antennenstabes (1) zu den Stabenden (3, 4) dieses Antennenstabes (1) hin stärker als linear mit dem axialen Abstand (z) der Punkte (9) von der Stabmitte (5) ansteigen.

5. Antennenanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Tangentialwinkel (α) von der Stabmitte (5) jedes Antennenstabes (1) zu den Stabenden (3, 4) dieses Antennenstabes (1) hin schwächer als linear mit dem axialen Abstand (z) der Punkte (9) von der Stabmitte (5) ansteigen.

6. Antennenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Tangentialwinkel (α) von der Stabmitte (5) jedes Antennenstabes (1) zu den Stabenden (3, 4) dieses Antennenstabes (1) hin in mindestens einem ersten Abschnitt (11) mit dem axialen Abstand (z) der Punkte (9) von der Stabmitte (5) monoton ansteigen und in mindestens einem zweiten Abschnitt (12) mit dem axialen Abstand (z) der Punkte (9) von der Stabmitte (5) monoton abfallen und dass der erste Abschnitt (11) näher an der Stabmitte (5) angeordnet ist als der zweite Abschnitt (12).

7. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungselemente (6, 7) als geschlossene Ringe ausgebildet sind und dass jeder Antennenstab (1) mit je einem seiner Stabenden (3, 4) mit je einem der Ringe elektrisch leitend verbunden ist.

8. Antennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungselemente (6, 7) als Ringabschnitte ausgebildet sind und dass über die Verbindungselemente (6, 7) jeweils genau zwei Stabenden (3, 4) elektrisch leitend miteinander verbunden sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1 (Stand der Technik)

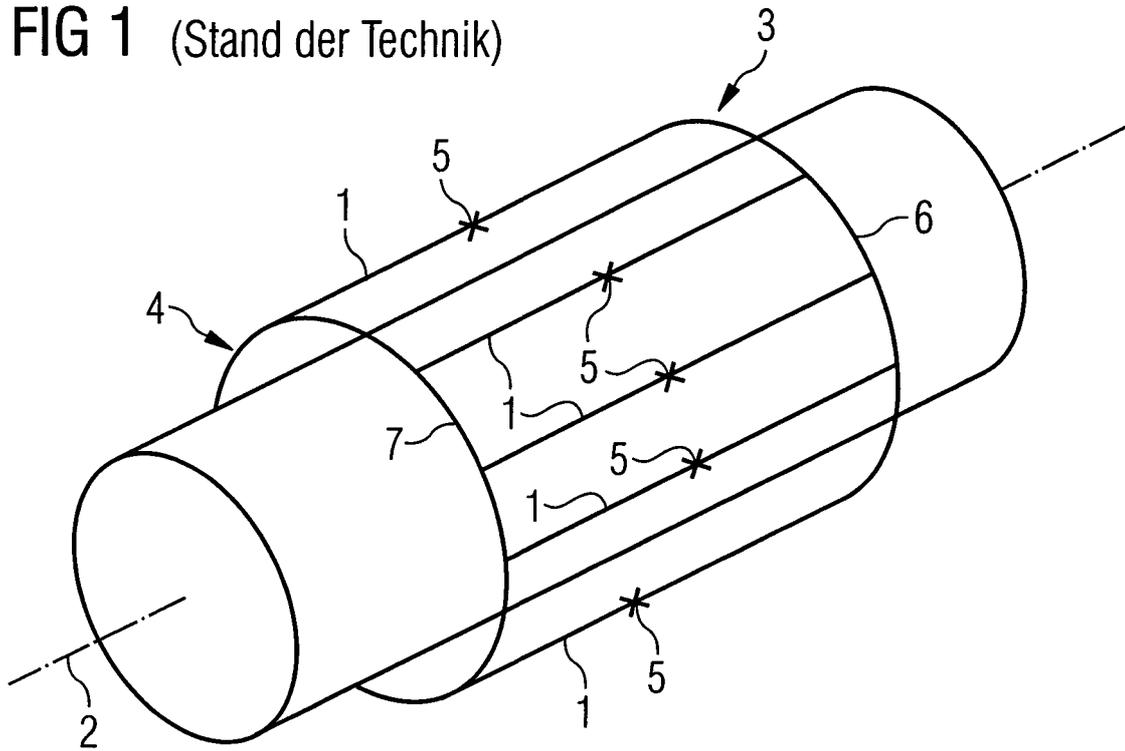


FIG 2 (Stand der Technik)

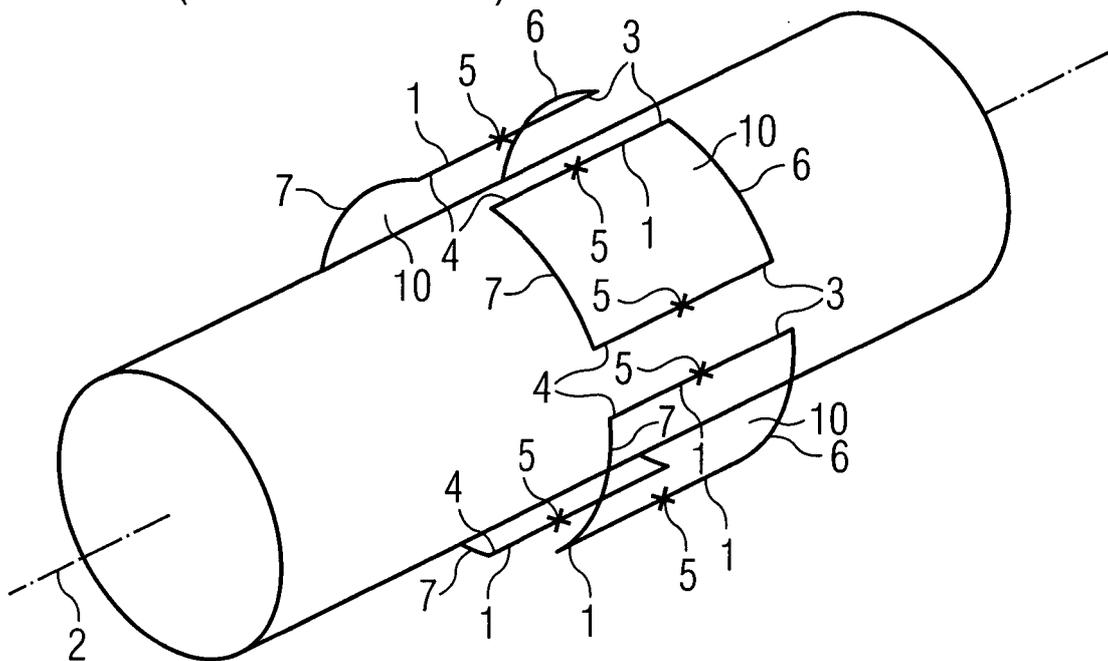


FIG 3

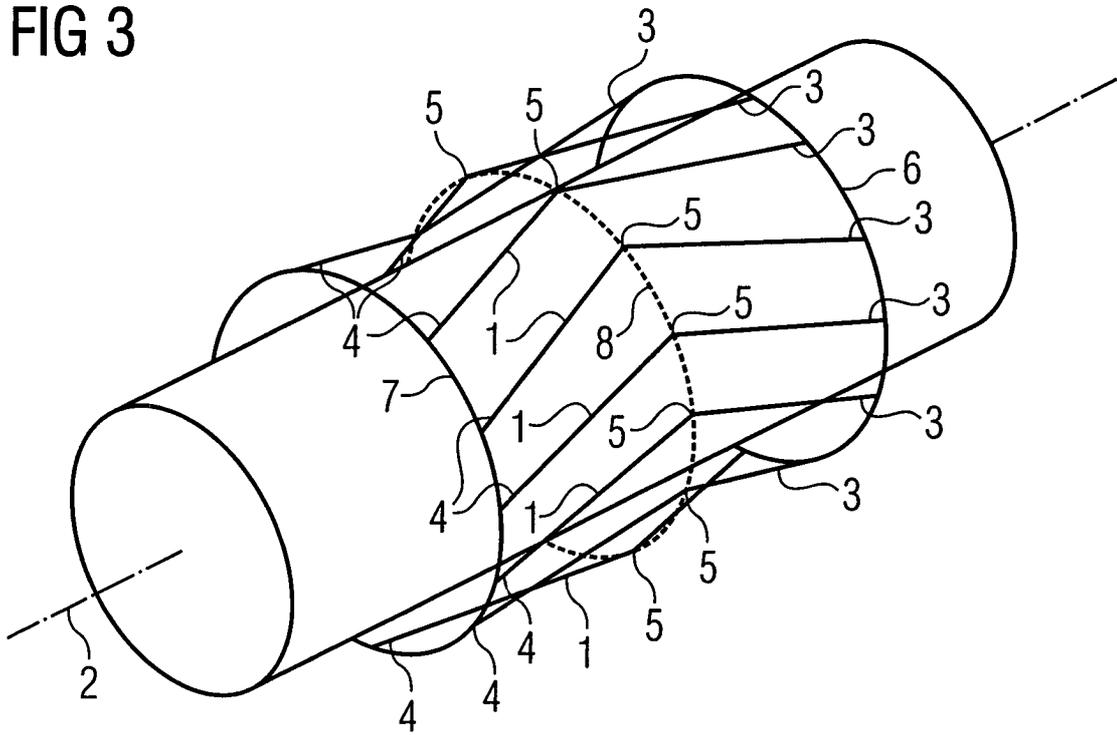


FIG 4

