



(10) **DE 10 2016 009 006 A1** 2017.02.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 009 006.5**

(22) Anmeldetag: **26.07.2016**

(43) Offenlegungstag: **02.02.2017**

(51) Int Cl.: **G01D 5/14 (2006.01)**

**G01P 3/487 (2006.01)**

**G01B 7/30 (2006.01)**

**G01R 33/02 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**14/812,907**      **29.07.2015**      **US**  
**15/058,497**      **02.03.2016**      **US**

(72) Erfinder:

**Aichriedler, Leo, Puch, AT; Ausserlechner, Udo, Dr., Villach, AT; Slama, Peter, Klagenfurt, AT**

(71) Anmelder:

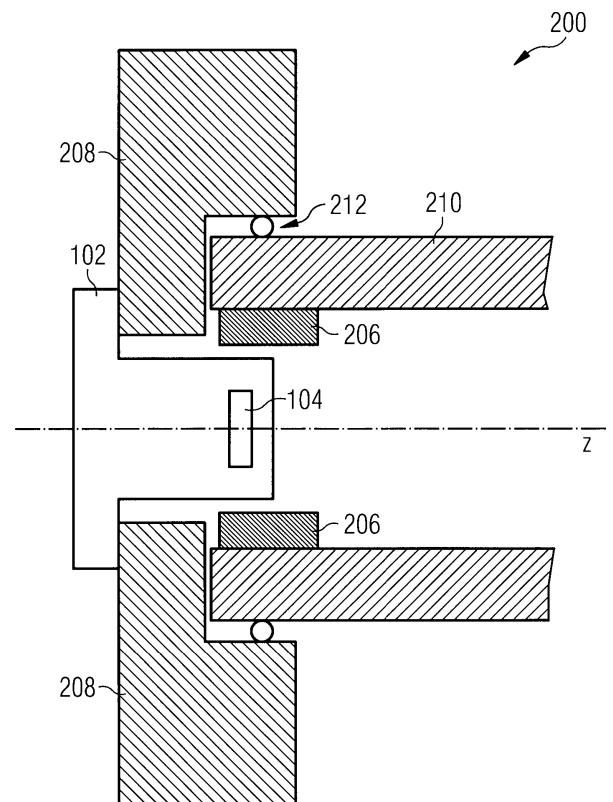
**Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Wellenintegrierte Winkelabtastvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Sensoranordnung enthält ein Sensorelement und ein Magnetmodul. Das Sensorelement ist konfiguriert, ein Magnetfeld zu messen und ist innerhalb einer Welle positioniert. Die Welle ist konfiguriert, das Magnetmodul und das Sensorelement abzuschirmen. Das Magnetmodul ist konfiguriert, das Magnetfeld zu erzeugen. Das Sensorelement ist wenigstens teilweise innerhalb der Welle positioniert.



**Beschreibung**

## VERWANDTE ANMELDUNGEN

**[0001]** Die vorliegende Anmeldung ist eine Teilfortführung der US-Patentanmeldung US 14/474.638, eingereicht beim USPTO am 02. September 2014, die in ihrer Gesamtheit hier aufgenommen ist.

**[0002]** Die vorliegende Anmeldung ist ferner eine Teilfortführung der US-Patentanmeldung, laufende Nr. 14/812.907, mit dem Titel "Magnetic Field Sensor", eingereicht am 29. Juli 2015, die eine Teilfortführung von laufende Nr. 14/290.780, mit dem Titel "Magnetic-Field Sensor", eingereicht am 29. Mai 2014, ist, die eine Teilanmeldung der US-Patentanmeldung, laufende Nr. 12/130.678, mit dem Titel "Magnetic-Field Sensor", eingereicht am 30. Mai 2008, ist, die die Priorität der Deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2007 025 000.4, die am 30. Mai 2007 eingereicht wurde, beansprucht, wobei hierdurch alle diese Anmeldungen durch Bezugnahme hier aufgenommen sind.

## HINTERGRUND

**[0003]** Sensoren werden in Abtastsystemen verwendet, um Eigenschaften, wie z. B. Licht, Temperatur, Bewegung und dergleichen, zu detektieren. Ein im Allgemeinen verwendeter Sensortyp ist ein auf Magnetfeldern basierender Winkelsensor. Der Winkelsensor misst eine Richtung des Magnetfeldes und berechnet einen Winkel basierend auf der Feldrichtung. Andere magnetosensitive Sensoren messen die magnetische Flussdichte.

**[0004]** Derartige magnetbasierte Sensoren sind jedoch empfindlich gegen Störungen in dem Magnetfeld. Viele Systeme arbeiten in rauen Umgebungen, wie z. B. in Kraftfahrzeugsystemen, und weisen Komponenten auf, die das Magnetfeld stören können und zu fehlerhaften Sensormessungen führen können.

**[0005]** Es werden Techniken benötigt, um die Störungen abzuschwächen oder zu verhindern, um den Betrieb, die Genauigkeit und die Robustheit gegen Positionierungstoleranzen des Magnetsensors zu verbessern.

**[0006]** Einige Ausführungsformen gemäß der vorliegenden Offenbarung betreffen eine Sensoranordnung, die eine drehbare Antriebswelle, ein Magnetmodul und ein Abtastelement aufweist. Die drehbare Antriebswelle erstreckt sich entlang einer Drehachse und umfasst eine Bohrung, die sich von einer ersten Stirnfläche der Welle entlang der Drehachse erstreckt. Das Magnetmodul ist innerhalb der Bohrung angeordnet und an die Antriebswelle gekoppelt. Das Magnetmodul ist konfiguriert, ein Magnetfeld innerhalb der Bohrung zu erzeugen. Das Abtastelement

ist konfiguriert, eine Drehung des Magnetfelds in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle abzutasten. In einigen Ausführungsformen weist das Abtastelement eine empfindliche Stelle auf, die innerhalb der Bohrung angeordnet ist und dem sich drehenden Magnetfeld ausgesetzt ist.

In einigen Ausführungsformen

**[0007]** In einigen Ausführungsformen ist ein Dichtungselement an die Antriebswelle koppelbar, um die Bohrung abzudecken. Das Dichtungselement trennt das innerhalb der Bohrung angeordnete Abtastelement von einem Äußeren der Bohrung. In einigen Ausführungsformen ist das Dichtungselement an eine Umfangsfläche des Endabschnitts der Antriebswelle gekoppelt. In einigen Ausführungsformen ist das Dichtungselement an die erste Stirnfläche der Antriebswelle gekoppelt. In einigen Ausführungsformen ist die Antriebswelle konfiguriert, ein hohes Drehmoment von wenigstens einigen zehn Newtonmetern, vorzugsweise einigen hundert Newtonmetern, zu übertragen. In einigen Ausführungsformen ist die Antriebswelle konfiguriert, eine Drehbewegung zum Antrieb eines Fahrzeugs zu übertragen. In einigen Ausführungsformen ist das Abtastelement als eine Halbleitervorrichtung, die wenigstens einen Die umfasst, implementiert. In einigen Ausführungsformen stellt die Magnetanordnung ein Magnetfeld bereit, das hauptsächlich innerhalb eines äußeren Umfangs der Magnetanordnung enthalten ist. In einigen Ausführungsformen umfasst die Antriebswelle ein weichmagnetisches oder eisenhaltiges Material, um die magnetischen Störungen von dem Abtastelement abzuschirmen. In einigen Ausführungsformen ist eine Abmessung der Magnetanordnung in einer axialen Richtung größer als ein Innendurchmesser der Magnetanordnung, vorzugsweise größer als ein Außendurchmesser der Magnetanordnung. In einigen Ausführungsformen ist die Magnetanordnung als ein einheitliches Element implementiert. In einigen Ausführungsformen weist die Magnetanordnung eine im Wesentlichen ringförmige Form auf, die eine homogene Verteilung des magnetischen Flusses innerhalb eines Mittenbereichs der Magnetanordnung umfasst. In einigen Ausführungsformen umfasst die Magnetanordnung einen Verriegelungsmechanismus, der konfiguriert ist, die Magnetanordnung innerhalb der Bohrung an einer definierten Position entlang der axialen Richtung zu arretieren. In einigen Ausführungsformen umfasst die Magnetanordnung einen Verriegelungsmechanismus, der konfiguriert ist, die Magnetanordnung innerhalb der Bohrung an einer definierten Azimutposition bezüglich der axialen Richtung zu arretieren. In einigen Ausführungsformen verjüngt sich ein Innendurchmesser der Bohrung von einem ersten Durchmesser an der ersten Stirnfläche der Antriebswelle bis zu einem zweiten Durchmesser, der kleiner als der erste Durchmesser ist. In einigen Ausführungsformen umfasst das

Dichtungselement ein abgedichtetes Lager, so dass das abgedichtete Lager bezüglich der Antriebswelle drehbar ist. In einigen Ausführungsformen ist das Dichtungselement bezüglich der Antriebswelle fest angeordnet. In einigen Ausführungsformen ist der Magnet oder die Magnetanordnung eine Magnetpille. In einigen Ausführungsformen lehrt die vorliegende Offenbarung ein Elektromotorsystem, das eine drehbare Motorantriebswelle, ein Magnetmodul und ein Abtastelement umfasst. Die drehbare Motorantriebswelle erstreckt sich entlang einer Drehachse und umfasst eine Bohrung, die sich von einer ersten Stirnfläche der Welle entlang der Drehachse erstreckt. Das Magnetmodul ist innerhalb der Bohrung angeordnet und an die Motorantriebswelle gekoppelt. Das Magnetmodul ist konfiguriert, ein Magnetfeld innerhalb der Bohrung zu erzeugen. Das Abtastelement ist konfiguriert, eine Drehung des Magnetfelds in Reaktion auf die Drehung der Motorantriebswelle abzutasten. In einigen Ausführungsformen lehrt die vorliegende Offenbarung ebenfalls ein Brennkraftmaschinensystem, das eine oder mehrere drehbare Antriebswellen, ein Magnetmodul und ein Abtastelement umfasst. Die wenigstens eine drehbare Antriebswelle erstreckt sich entlang einer Drehachse und umfasst eine Bohrung, die sich von einer ersten Stirnfläche der Welle entlang der Drehachse erstreckt. Das Magnetmodul ist innerhalb der Bohrung angeordnet und an die wenigstens eine Antriebswelle gekoppelt. Das Magnetmodul ist konfiguriert, ein Magnetfeld innerhalb der Bohrung zu erzeugen. Das Abtastelement ist konfiguriert, eine Drehung des Magnetfelds in Reaktion auf die Drehung der wenigstens einen Antriebswelle abzutasten.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0008]** Fig. 1 ist eine graphische Darstellung eines integrierten Sensorsystems, das unter Verwendung von Magnetfeldern arbeitet.

**[0009]** Fig. 2 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines wellenintegrierten Sensorsystems, das eine hohle Welle und ein ringförmiges Magnetmodul aufweist.

**[0010]** Fig. 3 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines wellenintegrierten Sensorsystems, das eine hohle Welle und einen pillenförmigen Magneten aufweist.

**[0011]** Fig. 4 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines integrierten Sensorsystems, das eine massive Welle und ein ringförmiges Magnetmodul aufweist.

**[0012]** Fig. 5 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines integrierten Sensorsystems, das eine massive Welle und einen pillenförmigen Magneten aufweist.

**[0013]** Fig. 6 ist eine graphische Darstellung, die ein Sensormodulsystem darstellt.

**[0014]** Fig. 7 ist eine graphische Querschnittsdarstellung, die einen ringförmigen Magneten veranschaulicht, der in einem Magnetmodul, wie z. B. in den oben beschriebenen Magnetmodulen, verwendet werden kann.

**[0015]** Fig. 8 ist eine Querschnittsansicht, die einen pillen- oder zylinderförmigen Magneten veranschaulicht, der in einem Magnetmodul, wie z. B. in den oben beschriebenen Magnetmodulen, verwendet werden kann.

**[0016]** Fig. 9 ist ein Ablaufplan, der ein Verfahren zum Betreiben einer Sensorvorrichtung veranschaulicht.

**[0017]** Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht eines Abschnitts einer Welle, die in Kombination mit den hier beschriebenen Sensorsystemen verwendbar ist.

**[0018]** Fig. 11A veranschaulicht ein in numerischen Simulationen verwendetes Szenario.

**[0019]** Fig. 11B veranschaulicht einige Ergebnisse der Simulationen, die basierend auf dem in Fig. 11A veranschaulichten Szenario berechnet worden sind.

**[0020]** Fig. 12 veranschaulicht eine Anordnung eines in eine Welle eingesetzten Sensors in einer Querschnittsansicht.

**[0021]** Fig. 12A veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines in eine Bohrung einer Welle integrierten Sensors.

**[0022]** Fig. 12B veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines Sensors, der mit einer Muffe in einen dünnwandigen Endabschnitt einer Welle integriert ist.

**[0023]** Fig. 12C veranschaulicht die Sättigung eines magnetisierbaren dünnwandigen Endabschnitts einer Welle wie in den Ausführungsformen nach den Fig. 10, Fig. 12A und Fig. 12B.

**[0024]** Fig. 12D veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines Sensors, der mit einer noch weiteren Muffe in einen dünnwandigen Endabschnitt einer Welle integriert ist.

**[0025]** Fig. 12E veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines Sensors, der mit einer alternativen Muffe in einen dünnwandigen Endabschnitt einer Welle integriert ist.

**[0026]** Fig. 13 veranschaulicht einen Aufbau für eine Sensorbaugruppe mit Anschlüssen.

**[0027] Fig. 14A–Fig. 14D** veranschaulichen Symmetrieüberlegungen für Magnet- und Sensoranordnungen gemäß der vorliegenden Offenbarung.

**[0028] Fig. 15A–Fig. 15I** veranschaulichen verschiedene Symmetrien zum Anordnen eines (von) Magneten innerhalb einer dünnwandigen Bohrung an einem Endabschnitt einer Welle.

**[0029] Fig. 16** veranschaulicht einen geteilten Magneten innerhalb einer Bohrung.

**[0030] Fig. 17** veranschaulicht einen Magneten, der Nuten umfasst, die in eine Bohrung einer Welle eingesetzt sind.

**[0031] Fig. 18** veranschaulicht einen Schlüssel, um einen Magneten innerhalb einer Bohrung einer Welle zu orientieren.

**[0032] Fig. 19A** veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines Magneten innerhalb einer Bohrung einer Welle.

**[0033] Fig. 19B** veranschaulicht eine noch weitere Magnetanordnung innerhalb einer kegelförmigen Bohrung einer Welle.

**[0034] Fig. 20** veranschaulicht eine weitere Magnetanordnung innerhalb einer Bohrung einer Welle.

**[0035] Fig. 21A, Fig. 21B und Fig. 21C** veranschaulichen das Abdichten einer Öffnung einer Bohrung, die eine Magnetanordnung und ein Abtastelement umfasst.

**[0036] Fig. 22A, Fig. 22B** veranschaulichen Magnetanordnungen des Halbach-Typs. **Fig. 22C** veranschaulicht eine noch weitere einheitliche inhomogene Magnetanordnung.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0037]** Nun wird die vorliegende Erfindung bezüglich der beigefügten Figuren der Zeichnung beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen verwendet werden, um überall auf gleiche Elemente zu verweisen, und wobei die veranschaulichten Strukturen und Vorrichtungen nicht notwendigerweise maßstabsgerecht gezeichnet sind.

**[0038]** Hier sind Vorrichtungen, Systeme und Verfahren offenbart, die Winkelsensoren fördern und die Störungen in Magnetfeldern abschwächen. Raue Umgebungen, wie z. B. Kraftfahrzeugsysteme, weisen verschiedene Komponenten und Bedingungen auf, die Auswirkungen auf die Elektronik, die Sensoren und die Magnetfelder haben. Diese Störungen können zu fehlerhaften Messwerten, Sensorstörungen führen und erfordern es, Positionstoleranzen

zu entsprechen, um ein bestimmtes Genauigkeitsniveau beim Betrieb des Sensors zu erreichen. Winkelsensoren sind typischerweise von Interesse, um eine Winkelposition eines Gegenstandes, der sich um eine Achse dreht, zu identifizieren. In einigen Anwendungen kann es von Interesse sein, eine Winkelposition nur über 180 Grad eindeutig zu identifizieren; d. h., um eine halbe Drehung. In anderen Anwendungen kann es jedoch von Interesse sein, eine Winkelposition eindeutig über 360 Grad zu identifizieren, was einer vollen Drehung der Drehung des Gegenstandes um die Achse entspricht.

**[0039] Fig. 1** ist eine graphische Darstellung eines integrierten Sensorsystems **100**, das unter Verwendung von Magnetfeldern arbeitet. Das System **100** ist in einer vereinfachten Form bereitgestellt, um das Verständnis zu fördern. Das System **100** kann in rauen Umgebungen, Kraftfahrzeugsystemen, Fahrzeugsystemen und dergleichen verwendet werden. Das System **100** kann in einer oder mehreren Vorrichtungen oder Anordnungen hergestellt werden.

**[0040]** Hybridsysteme, wie z. B. Kraftfahrzeugsysteme, weisen mechanische Komponenten und elektrische Komponenten auf. Die mechanischen Komponenten enthalten Kraftmaschinen, Motoren, Räder, Fluide, Bremssysteme, Aktuatoren und dergleichen. Die elektrischen Komponenten enthalten Sensoren, Verarbeitungseinheiten, Steuereinheiten und dergleichen. Die mechanischen Komponenten können Störungen für die elektrischen Komponenten erzeugen. Diese Störungen enthalten Leistungsstöße, einen Leistungsverlust, Leistungsverläufe, Hochleistungsverläufe, Schwingungen, Trümmer, Metallspäne/-stücke, eine Fluidverunreinigung, eine Getriebefluidverunreinigung (sehr aggressiv), Bremsenreiniger, Kühlmittel, Material, Schmutz und dergleichen. Je mehr Motoren, Aktuatoren und andere Komponenten, desto mehr Strom und Fluktuationen sind vorhanden.

**[0041]** Andere Herangehensweisen sind empfindlich gegen Störungen und schaffen es nicht, Mechanismen gegen diese Störungen bereitzustellen.

**[0042]** Ein typischer Winkelsensor verfolgt eine Drehbewegung einer Achse oder einer Welle. Es ist eine Herangehensweise, einen Sensor zu einem Ende einer Welle hinzuzufügen und den Sensor einzukapseln. Die Einkapselung fügt jedoch Kosten und zusätzliche Verarbeitung hinzu und erfordert zusätzlichen Raum. Zusätzlich enthalten derartige Herangehensweise außerdem das Anordnen eines Sensorelements an einem Ende einer Welle. Dies vergrößert die Gesamtlänge der Welle oder der an ihr befestigten Komponente, was zusätzlichen Fahrzeug-/Kraftmaschinenraum erfordert. Es sind zusätzliche Halterungen, Verbinder und dergleichen erforderlich, um den Sensor am Ende der Welle anzubringen. Dies

kann die verbrauchte Länge/den verbrauchten Raum weiter vergrößern und noch mehr Fahrzeug-/Kraftmaschinenraum erfordern.

**[0043]** Das System **100** enthält ein optionales Sensormodul **102**, ein Sensorelement **104** und ein Magnetmodul **106**. Das Sensormodul **102** kann sich in der Form einer Baugruppe oder irgendeiner anderen Hilfe zum Anordnen des Sensors **104** befinden, wie im Folgenden weiter erklärt wird. Das System **100** kann das Sensormodul **102** mit einer Abschirmung in der Form eines Gehäuses, einer Welle oder einer anderen Komponente, um eine Selbstabschirmung bereitzustellen, integrieren. Zusätzlich verbraucht das System **100** weniger Raum als andere Herangehensweisen, indem es integriert ist. Ferner verwendet das System **100** die Selbstabschirmung, um es zu ermöglichen, dass die Komponenten geringere Fähigkeiten aufweisen, während sie eine geeignete oder gewählte Genauigkeit bereitstellen.

**[0044]** Das Sensormodul **102** kann in einigen Implementierungen eine integrierte Komponente sein, die in ein Gehäuse oder eine andere Komponente integriert ist. Das Sensormodul **102** enthält das integrierte Sensorelement **104**. Das Modul **102** kann außerdem Leistungsregelkomponenten, Signalerzeugungskomponenten, Speicherkomponenten und dergleichen enthalten. Es können andere Komponenten einschließlich Halterungen, Befestigungen, Verbindungen, eines Gehäuses und dergleichen enthalten sein, obwohl sie nicht gezeigt sind. In einem Beispiel ist das Sensormodul **102** auf einem Die, der einen Leitungsrahmen aufweist, ausgebildet. Das Sensormodul **102** ist unter Verwendung von überformtem Kunststoff in einem Gehäuse eingeschlossen. Es sind Verbinder zu dem Leitungsrahmen bereitgestellt, wobei sie die externen Verbindungen zu dem Sensormodul **102** bereitstellen, wie im Folgenden ausführlicher erklärt wird. Das Sensormodul kann an oder in Komponenten, wie z. B. ein Gehäuse, einen Hebel, einen Arm, einen Achsschenkel und dergleichen, gekoppelt bzw. integriert sein.

**[0045]** Das Sensorelement **104** misst eine Richtung eines Magnetfeldes oder eine Richtung eines Flusses eines Magnetfeldes. Das Element **104** oder eine andere Komponente berechnet dann eine Eigenschaft, wie z. B. einen Winkel oder eine Wellenposition, basierend auf der Messung der Feldrichtung. Das Sensorelement **104** ist konfiguriert, Versorgungsleistung zu empfangen, Messwerte bereitzustellen und/oder Steuer- oder Eichinformationen zu empfangen. In einem Beispiel wird für die Versorgungsleistung und das Übertragen der Messwerte eine einzige Schnittstelle verwendet. In einem weiteren Beispiel werden für die Leistung und/oder die Kommunikation mehrere Drähte oder Ports verwendet.

**[0046]** Das Sensorelement **104** ist ein Sensor des Absolut- oder 360-Grad-Typs, was bedeutet, dass er den Fluss an irgendeinem Winkel über eine volle Drehung eindeutig messen kann. Er ist von einem geeigneten Typ, wie z. B. die magnetoresistiven oder die magnetosensitiven Typen der Elemente.

**[0047]** Das Magnetmodul **106** ist an einer zu messenden Komponente angebracht oder befestigt oder mit einer zu messenden Komponente integriert und konfiguriert, ein Magnetfeld unmittelbar an dem Sensorelement **104** zu erzeugen. Das Magnetmodul **106** kann in einem Beispiel diametral magnetisiert sein. Das Magnetmodul **106** kann Magneten verschiedener Größen und Formen enthalten. Einige beispielhafte Formen enthalten Pillen- oder massive Magneten, Ringmagneten und dergleichen. Die Größen sind gewählt, um ein geeignetes Magnetfeld bereitzustellen. Die Größen enthalten typischerweise eine Dicke und einen Durchmesser.

**[0048]** Die Störungen, wie z. B. jene, die oben gezeigt worden sind, können ein Magnetfeld stören, das durch das Sensorelement **104** gemessen wird. Das Sensormodul **102** ist jedoch mit einer Komponente, um das Modul **102** und Element **104** abzuschirmen, integriert, ohne eine umfangreiche Einkapselung oder andere Mechanismen, um die Störungen abzuschwächen, zu erfordern. Die Komponente, die die Abschirmung für das Sensorelement **104** und das Magnetmodul **106** bereitstellt, enthält z. B. einen drehbaren Gegenstand, wie z. B. eine Welle, einen Stab und vergleichen, der ein geeignetes Material umfasst. In einem Beispiel enthält das geeignete Material ein relativ weichmagnetisches Material mit einer Permeabilität, die größer als 1 ist.

**[0049]** Fig. 2 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines integrierten Sensorsystems **200**, das eine hohle Welle und ein ringförmiges Magnetmodul aufweist. Das System **200** ist in einer vereinfachten Form bereitgestellt, um das Verständnis zu fördern. Das System **200** kann in rauen Umgebungen, Kraftfahrzeugsystemen, Fahrzeugsystemen und dergleichen verwendet werden. Das System **200** kann in einer oder mehreren Vorrichtungen hergestellt werden. Für zusätzliche Einzelheiten für einige der Komponenten kann auf die obige Beschreibung der ähnlich nummerierten Komponenten Bezug genommen werden.

**[0050]** Das System **200** enthält ein Gehäuse **208**, ein Sensormodul **102**, ein Sensorelement **104**, ein Magnetmodul **206** und eine Welle **210**. Das System **200** integriert das Sensormodul **102** mit der Welle **210**, die das Sensormodul **102** und das Magnetmodul **206** von den Störungen abschirmt und die durch das Magnetmodul **206** erzeugten Magnetfelder verstärkt.

**[0051]** Das Sensormodul **102** enthält das innerhalb eines Gehäuses ausgebildete Sensorelement **104**. Das Gehäuse ist typischerweise ein überformter Kunststoff, ist aber nicht darauf eingeschränkt. Das Sensorelement **104** kann mit einem Leitungsrahmen konfiguriert sein. Das Modul **102** enthält die Verbindungen von dem Leitungsrahmen des Sensorelements **104** zu den Ports oder den externen Verbindungen, wie hinsichtlich **Fig. 13** ausführlicher erklärt wird.

**[0052]** Das Gehäuse **208** kann ein Teil eines Getriebekastens, eines Abteils, einer Antriebsstrang-Brennkraftmaschine und dergleichen sein. Das Gehäuse **208** ist konfiguriert, die Welle **210** aufzunehmen und zu stützen. Das Gehäuse **208** enthält in einer Ausführungsform eine ausgehöhlte Aussparung, in die die Welle **210** eingesetzt ist. Die Lager **212** oder eine weitere Komponente/Vorrichtung sind konfiguriert, die Drehung der Welle **210** ohne eine übermäßige Reibung zu fördern. Das Gehäuse **208** kann außerdem eine Modulöffnung enthalten, in die ein Sensormodul **102** eingesetzt ist oder in der ein Sensormodul **102** positioniert ist. Es wird erkannt, dass das Sensormodul, wenn es in der Modulöffnung angeordnet ist, eine vorgesehene Positionierung des tatsächlichen Sensorelements **104** bezüglich der drehbaren Welle **210** und eines Magneten **206**, der die Drehungen der Welle **210** für das Sensorelement **104** "sichtbar" macht, fördert. Es wird angegeben, dass das Sensormodul **102** von dem Gehäuse **208** abnehmbar ist. In einem weiteren Beispiel ist das Sensormodul nicht abnehmbar an dem Gehäuse **208** befestigt. In einem Beispiel stellt das Gehäuse **208** eine hermetische Abdichtung bereit, die das Sensormodul **102** vor Trümmern und Verunreinigungen schützt. Zusätzlich kann das Gehäuse **208** konfiguriert sein, eine magnetische und/oder elektrische Abschirmung bereitzustellen. Die Aspekte der Abschirmung des Sensorelements **104** und/oder des Magneten **206** von irgendwelchen externen Magnetfeldern werden im Folgenden bezüglich der **Fig. 10–Fig. 18** ausführlicher erörtert.

**[0053]** Die Welle **210** ist von dem Gehäuse **208** getrennt. Ein erstes Ende der Welle ist an einem Motor oder einem anderen drehbaren Objekt befestigt, während sich ein zweites Ende unmittelbar an dem Gehäuse **208** befindet. Das zweite Ende der Welle **210** kann an Lager gekoppelt sein, um die Drehung zu fördern. Die Welle **210** kann ein Teil eines Kraftfahrzeugsystems, wie z. B. eines Antriebsstrangs, eines Getriebesystems und dergleichen, sein. Die Welle **210** ist im Allgemeinen ein langer zylinderförmiger Stab, der ein geeignetes Material, wie z. B. ein Metall, ein weichmagnetisches Material und dergleichen, umfasst. Einige Beispiele eines geeigneten Metalls enthalten Stahl und Aluminium. Ein Beispiel eines weichmagnetischen Materials enthält ein Material, das eine magnetische Permeabilität aufweist,

die größer als 1 ist. Die Welle **210** dreht sich in einem Bereich von Umdrehungen pro Minute (RPM) und in einer Drehrichtung im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn. Die RPM können niedrige RPM-Bereiche, wie z. B. 0 bis  $200 \text{ min}^{-1}$ , und hohe RPM-Bereiche, wie z. B. jene, die  $4.000 \text{ min}^{-1}$  übersteigen, enthalten.

**[0054]** Es ist gezeigt, dass die Welle **210** eine Drehachse aufweist, die als z gezeigt ist. Die Welle **210** dreht sich um die Drehachse mit einer Drehrichtung, die im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn sein kann.

**[0055]** Die Welle **210** kann ausgehöhlt, massiv oder anderweitig konfiguriert sein. In **Fig. 2** ist die Welle **210** ausgehöhlt und weist eine ausgewählte Wanddicke auf. Alternativ kann die Welle **210** massiv sein und einen dünnwandigen Endabschnitt umfassen, wie in **Fig. 2** gezeigt ist. Wenigstens ein Abschnitt des Sensormoduls **102** und des Sensorelements **104** erstreckt sich teilweise in den offenen Abschnitt der Welle **210** an dem zweiten Ende. Zusätzlich befindet sich des Magnetmodul **206** ebenso wenigstens teilweise innerhalb des offenen Abschnitts der Welle. Die Welle kann, indem sie ausgehöhlt ist, im Vergleich zu massiven Wellen niedrigere Kosten und ein geringeres Gewicht aufweisen.

**[0056]** Das Magnetmodul **206** erzeugt ein Magnetfeld, das einen Fluss aufweist und für die Messung konfiguriert ist. In diesem Beispiel enthält das Magnetmodul **206** einen ringförmigen Magneten, der entlang einer Innenfläche der Welle **210**, nämlich einer inneren Umfangsfläche in **Fig. 2**, positioniert ist. Der ringförmige Magnet umgibt das Sensormodul **102** teilweise und umgibt das Sensorelement **104** bezüglich der Drehachse Z.

**[0057]** Das Sensormodul **102** ist in diesem Beispiel in das Gehäuse **208** integriert. Das Sensormodul **102** kann einen O-Ring oder ein ähnliches Material enthalten, um zwischen dem Sensormodul **102** und dem Gehäuse **208** abzudichten (was in **Fig. 2** nicht gezeigt ist). Das Sensorelement **104** ist unmittelbar an einem zweiten Ende des Moduls **102** positioniert. Das Sensorelement **104** misst typischerweise das durch das Magnetmodul **206** erzeugte Magnetfeld, genauer eine Richtung des Magnetfeldes, wenn es als ein Winkelsensor verwendet wird. Bei der Drehung der Welle **210** erscheint das durch den Magneten erzeugte Magnetfeld für das Sensorelement **104** als ein sich drehendes Magnetfeld, das verwendet werden kann, um eine Drehposition der Welle zu überwachen.

**[0058]** Die durch das Sensorelement **104** erhaltenen Messwerte werden verwendet, um die Winkelmesswerte einschließlich der radialen Position der Welle, der Winkelposition der Welle, der Umdrehungen pro

Minute (RPM), der Richtung der Drehung und dergleichen zu berechnen.

**[0059]** Eine Steuereinheit, wie z. B. eine elektronische Steuereinheit (ECU), kann die Messwerte und/oder die Winkelinformationen von dem Sensormodul **102** empfangen.

**[0060]** Fig. 3 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines wellenintegrierten Sensorsystems **300**, das eine hohle Welle oder wenigstens einen dünnwandigen Endabschnitt der Welle und einen pillenförmigen Magneten aufweist. Das System **300** ist in einer vereinfachten Form bereitgestellt, um das Verständnis zu fördern. Das System **300** kann in rauen Umgebungen, Kraftfahrzeugsystemen, Fahrzeugsystemen und dergleichen verwendet werden. Das System **300** kann in einer oder mehreren Vorrichtungen hergestellt werden. Das System **300** ist zum oben beschriebenen System **200** ähnlich, wobei es aber anstelle eines ringförmigen Magneten einen pillenförmigen oder rund geformten Magneten verwendet. Für zusätzliche Einzelheiten für einige der Komponenten kann auf die obige Beschreibung der ähnlich nummerierten Komponenten Bezug genommen werden.

**[0061]** Das System **300** enthält ein Gehäuse **208**, ein Sensormodul **102**, ein Sensorelement **104**, ein Magnetmodul **306** und eine Welle **210**. Das System **300** integriert das Sensormodul **102** in die Welle **210**, die das Sensormodul **102** von den Störungen elektrisch, mechanisch und/oder magnetisch abschirmt.

**[0062]** Das Sensormodul **102** enthält das Sensorelement **104**, das innerhalb eines Gehäuses ausgebildet ist. Das Gehäuse ist ein überformter Kunststoff. Das Sensorelement **104** ist typischerweise mit einem Leitungsrahmen konfiguriert. Das Modul **102** enthält die Verbindungen von dem Leitungsrahmen des Sensorelements **104** zu den Ports oder den externen Verbindungen.

**[0063]** Das Gehäuse **208** kann ein Teil eines Antriebsstrangs, eines Getriebesystems und dergleichen sein. Das Gehäuse **208** ist konfiguriert, die Welle **210** aufzunehmen und zu stützen. Das Gehäuse **208** enthält eine ausgehöhlte Aussparung, die als eine Gehäuseaussparung bezeichnet wird, in die die Welle **210** eingesetzt ist. Die Lager **212** oder eine andere Komponente/Vorrichtung sind konfiguriert, die Drehung der Welle **210** ohne übermäßige Reibung zu fördern.

**[0064]** Die Welle **210** ist von dem Gehäuse **208** getrennt. Ein erstes Ende der Welle ist an einem Motor oder einem anderen drehbaren Objekt befestigt, während sich ein zweites Ende unmittelbar an dem Gehäuse **208** befindet. Die Welle **210** ist im Allgemeinen ein langer zylinderförmiger Stab, der ein geeignetes

Material umfasst, wie z. B. oben beschrieben worden ist. Die Welle **210** dreht sich in einem Bereich von Umdrehungen pro Minute (RPM) und in einer Drehrichtung im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn. Die RPM kann niedrige RPM-Bereiche, wie z. B. 0 bis  $200 \text{ min}^{-1}$ , oder hohe RPM-Bereiche, wie z. B. jene, die  $4.000 \text{ min}^{-1}$  übersteigen, enthalten.

**[0065]** Die Welle **210** kann ausgehöhlt, massiv oder anderweitig konfiguriert sein. In Fig. 3 ist die Welle **210** abermals ausgehöhlt, wobei sie eine gewählte Wanddicke aufweist. Ein Abschnitt des Sensormoduls **102** erstreckt sich teilweise in den offenen Abschnitt der Welle **210** an dem zweiten Ende. Das Magnetmodul **306** befindet sich innerhalb des offenen Abschnitts der Welle.

**[0066]** Das Magnetmodul **306** erzeugt ein Magnetfeld, das einen Fluss aufweist und für die Messung konfiguriert ist. Die Welle **210** verstärkt das erzeugte Magnetfeld. In diesem Beispiel enthält das Magnetmodul **306** einen pillenförmigen oder rund geformten Magneten, der über der Öffnung in der Welle **210** positioniert ist. Der pillenförmige Magnet ist entlang der gleichen Achse z wie das Sensormodul **102** und das Sensorelement **104** positioniert. Weiterhin weist der pillenförmige Magnet einen Durchmesser und eine Dicke auf, die gewählt sind, um ein geeignetes Magnetfeld bereitzustellen. Der Durchmesser kann kleiner als ein Durchmesser der Innenfläche der Welle **210** sein.

**[0067]** Das Sensormodul **102** ist in das Gehäuse **208** integriert, wie oben beschrieben worden ist. Das Sensormodul **102** kann einen O-Ring oder ein ähnliches Material enthalten, um zwischen dem Sensormodul **102** und dem Gehäuse **208** abzudichten. Das Sensorelement ist unmittelbar an einem zweiten Ende des Moduls **102** positioniert. Das Sensorelement **104** misst das Magnetfeld, genauer eine Orientierung des durch das Magnetmodul **306** erzeugten Magnetfelds.

**[0068]** Die durch das Sensorelement **104** erhaltenen Messwerte werden verwendet, um eine Azimut- oder Winkelposition der Welle, die Umdrehungen pro Minute (RPM), die Richtung der Drehung und dergleichen zu berechnen.

**[0069]** Eine Steuereinheit, wie z. B. eine elektronische Steuereinheit (ECU), kann die Messwerte und/oder die Winkelinformationen von dem Sensormodul **102** empfangen.

**[0070]** Fig. 4 ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines Sensorsystems **400**, das eine massive Welle **410** und ein ringförmiges Magnetmodul **206** aufweist. Das System **400** ist in einer vereinfachten Form bereitgestellt, um das Verständnis zu fördern. Das System **400** kann in rauen Umgebungen, Kraftfahrzeugsystemen, Fahrzeugsystemen und dergleichen

chen verwendet werden. Das System **400** kann zusätzlich in einer oder mehreren Vorrichtungen hergestellt werden. Für zusätzliche Einzelheiten für einige der Komponenten kann auf die obige Beschreibung der ähnlich nummerierten Komponenten Bezug genommen werden.

**[0071]** Das System **400** enthält ein Gehäuse **208**, ein Sensormodul **102**, ein Sensorelement **104**, ein Magnetmodul **206** und eine Welle **410**. Das System **200** integriert das Sensormodul **102** in die Welle **410**, die das Sensormodul **102** von den Störungen elektrisch, mechanisch und/oder magnetisch abschirmt.

**[0072]** Das Sensormodul **102** enthält abermals das Sensorelement **104**, das optional innerhalb eines Gehäuses ausgebildet ist. Das Gehäuse ist in einem Beispiel ein überformter Kunststoff. Das Sensorelement **104** kann mit einem Leitungsrahmen konfiguriert sein. Das Modul **102** kann die Verbindungen von dem Leitungsrahmen des Sensorelements **104** zu den Ports oder den externen Verbindungen enthalten.

**[0073]** Das Gehäuse **208** kann Teil eines Antriebsstrangs, eines Getriebesystems und dergleichen sein. Das Gehäuse **208** ist konfiguriert, die Welle **410** aufzunehmen und zu stützen. Das Gehäuse **208** enthält eine ausgehöhlte Aussparung, in die die Welle **410** eingesetzt ist. Es sind optionale Lager **212** oder eine weitere Komponente/Vorrichtung konfiguriert, um die Drehung der Welle **410** ohne übermäßige Reibung zu fördern.

**[0074]** Die Welle **410** ist von dem Gehäuse **208** getrennt. Ein erstes Ende der Welle ist an einem Motor oder einem anderen drehbaren Gegenstand befestigt, während sich ein zweites Ende unmittelbar an dem Gehäuse **208** befindet. Die Welle **410** ist im Allgemeinen ein langer zylinderförmiger Stab, der ein geeignetes Material, wie z. B. ein Metall, umfasst. Einige Beispiele eines geeigneten Metalls sind oben gezeigt. Die Welle **410** dreht sich in einem Bereich von Umdrehungen pro Minute (RPM) und in einer Drehrichtung im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn. Die RPM kann niedrige RPM-Bereiche, wie z. B. 0 bis  $200 \text{ min}^{-1}$ , oder hohe RPM-Bereiche, wie z. B. jene, die  $4.000 \text{ min}^{-1}$  übersteigen, enthalten.

**[0075]** Die Welle **410** ist in diesem Beispiel massiv und weist einen ausgewählten Durchmesser auf. Das zweite Ende der Welle **410** enthält einen Wellenhohlraum **414**. Der Hohlraum **414** wird unter Verwendung eines geeigneten Mechanismus, wie z. B. Bohren, innerhalb des zweiten Endes gebildet. Der Hohlraum **414** weist einen Durchmesser und eine Tiefe auf. Wenigstens ein Abschnitt des Sensormoduls **102** erstreckt sich in den Wellenhohlraum **414**. Zusätzlich befindet sich das Magnetmodul **206** innerhalb

des Wellenhohlraums. Die Welle **410** kann, indem sie massiv ist, im Vergleich zu den ausgehöhlten Wellen eine überragende Festigkeit aufweisen, wie hinsichtlich der **Fig. 2** und **Fig. 3** erörtert worden ist.

**[0076]** Das Magnetmodul **206** erzeugt ein Magnetfeld, das einen Fluss aufweist und für die Messung konfiguriert ist. In diesem Beispiel enthält das Magnetmodul **206** einen ringförmigen Magneten, der um eine Innenfläche des Wellenhohlraums **414** positioniert ist. Der ringförmige Magnet umgibt das Sensormodul **102** teilweise und umgibt das Sensorelement **104** in der z-Richtung. Der ringförmige Magnet **206** stellt typischerweise ein besseres Feld zum Messen bezüglich der axialen Verschiebung als ein pillenförmiger Magnet bereit.

**[0077]** Das Sensormodul **102** ist in diesem Beispiel in das Gehäuse **208** integriert. Das Sensormodul **102** kann einen O-Ring oder ein ähnliches Material enthalten, um zwischen dem Sensormodul **102** und dem Gehäuse **208** abzudichten. Das Sensorelement ist unmittelbar an einem zweiten Ende des Moduls **102** positioniert. Das Sensorelement **104** misst das durch das Magnetmodul **206** erzeugte Magnetfeld.

**[0078]** Die durch das Sensorelement **104** erhaltenen Messungen werden verwendet, um die radiale Position der Welle, die Umdrehungen pro Minute (RPM), die Richtung der Drehung und dergleichen zu berechnen. Eine (nicht gezeigte) Steuereinheit, wie z. B. eine elektronische Steuereinheit (ECU), kann die Messwerte und oder die Winkelinformationen von dem Sensormodul **102** empfangen.

**[0079]** **Fig. 5** ist eine graphische Querschnittsdarstellung eines wellenintegrierten Sensorsystems **500**, das eine massive Welle und einen pillenförmigen Magneten aufweist. Das System **500** ist in einer vereinfachten Form bereitgestellt, um das Verständnis zu fördern. Das System **500** kann in rauen Umgebungen, Kraftfahrzeugsystemen, Fahrzeugsystemen und dergleichen verwendet werden. Das System **500** kann zusätzlich in einer oder mehreren Vorrichtungen hergestellt werden. Für zusätzliche Einzelheiten für einige der Komponenten kann auf die obige Beschreibung der ähnlich nummerierten Komponenten Bezug genommen werden.

**[0080]** Das System **500** enthält ein Gehäuse **208**, ein Sensormodul **102**, ein Sensorelement **104**, ein Magnetmodul **306** und eine Welle **410**. Das System **200** integriert das Sensormodul **102** und das Magnetmodul **306** in die Welle **410**, die das Sensormodul **102** von den Störungen elektrisch, mechanisch und/oder magnetisch abschirmt.

**[0081]** Das Sensormodul **102** enthält das Sensorelement **104**, das innerhalb eines Gehäuses ausgebildet ist. Das Gehäuse ist ein überformter Kunststoff.



Das Sensorelement **104** kann mit einem Leitungsrahmen konfiguriert sein. Das Modul **102** enthält die Verbindungen von dem Leitungsrahmen des Sensorelements **104** zu den Ports oder den externen Verbindungen.

**[0082]** Das Gehäuse **208** kann Teil eines Antriebsstrangs, eines Getriebesystems und dergleichen sein. Das Gehäuse **208** ist konfiguriert, die Welle **410** aufzunehmen und zu stützen. Das Gehäuse **208** enthält eine ausgehöhlte Aussparung, in die die Welle **410** eingesetzt ist. Die Lager **212** oder eine andere Komponente/Vorrichtung sind konfiguriert, die Drehung der Welle **410** ohne übermäßige Reibung zu fördern.

**[0083]** Die Welle **410** ist von dem Gehäuse **208** getrennt. Ein erstes Ende der Welle ist an einem Motor oder einem anderen drehbaren Gegenstand befestigt, während sich ein zweites Ende unmittelbar an dem Gehäuse **208** befindet. Die Welle **410** ist im Allgemeinen ein langer zylinderförmiger Stab, der ein geeignetes Material umfasst, wie z. B. oben gezeigt worden ist. Die Welle **410** dreht sich in einem Bereich von Umdrehungen pro Minute (RPM) und in einer Drehrichtung im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn. Die RPM kann niedrige RPM-Bereiche und hohe RPM-Bereiche und deren Variationen enthalten.

**[0084]** Die Welle **410** ist massiv und weist einen ausgewählten Durchmesser auf. Das zweite Ende der Welle **410** enthält einen Wellenhohlraum **414**. Der Hohlraum **414** wird innerhalb des zweiten Endes unter Verwendung eines geeigneten Mechanismus gebildet. Der Hohlraum **414** weist einen Durchmesser und eine Tiefe auf. Ein Abschnitt des Sensormoduls **102** erstreckt sich teilweise in den Wellenhohlraum **414**. Zusätzlich befindet sich das Magnetmodul **306** innerhalb des Wellenhohlraums.

**[0085]** Das Magnetmodul **306** erzeugt ein Magnetfeld, das einen Fluss aufweist und für die Messung konfiguriert ist. In diesem Beispiel enthält das Magnetmodul **306** einen pillenförmigen Magneten, der in dem Wellenhohlraum **414** positioniert ist. Der pillenförmige Magnet ist auf einer Achse mit dem Sensor **104**, nämlich der z-Achse in **Fig. 5**, positioniert. Ferner weist der pillenförmige Magnet einen Durchmesser und eine Dicke auf, wie oben bezüglich **Fig. 3** beschrieben worden ist.

**[0086]** Das Sensormodul **102** ist in diesem Beispiel in das Gehäuse **208** und in die Welle **410** integriert. Das Sensormodul **102** kann einen O-Ring oder ein ähnliches Material enthalten, um zwischen dem Sensormodul **102** und dem Gehäuse **208** abzudichten. Das Sensorelement ist unmittelbar an einem zweiten Ende des Moduls **102** positioniert. Das Sensorelement **104** misst das Magnetfeld oder eine Richtung

des Magnetfeldes, das durch das Magnetmodul **206** erzeugt wird. Das Magnetfeld von dem Magneten **206** ist für den Sensor als ein sich drehendes Magnetfelds "sichtbar", das eine Winkelposition der sich drehenden Welle **410** angibt.

**[0087]** Die durch das Sensorelement **104** erhaltenen Messwerte werden verwendet, um die radiale Position der Welle, die Umdrehungen pro Minute (RPM), die Richtung der Drehung und dergleichen zu berechnen, wie bereits oben erklärt worden ist. Eine (nicht gezeigte) Steuereinheit, wie z. B. eine elektronische Steuereinheit (ECU), kann die Messwerte und/oder die Winkelinformationen von dem Sensormodul **102** empfangen. Die Messungen oder die Informationen enthalten analoge oder digitale unbearbeitete Daten, berechnete Winkelinformationen und dergleichen.

**[0088]** **Fig. 6** ist eine graphische Darstellung, die ein Sensormodulsystem **600** darstellt. Das System **600** kann mit den obigen Systemen und Vorrichtungen verwendet werden und ist bereitgestellt, um das Verständnis zu fördern.

**[0089]** Das System **600** enthält ein Sensormodul **102**, eine Schnittstelle **616** und einen Controller oder eine Steuereinheit **614**. Das Sensormodul **102** enthält ein Sensorelement **104**. Das Sensorelement **104** ist eine magnetosensitive Technik, wie z. B. magnetoresistiv, Hall-Effekt und dergleichen. Das Sensorelement **104** ist konfiguriert, ein Magnetfeld, eine magnetische Flussdichte, eine Magnetfeldrichtung und dergleichen unmittelbar an dem Element **104** zu messen. Das Sensorelement **104** ist auf einem Die ausgebildet und weist einen Leitungsrahmen für die Leistung und zum Bereitstellen der Messwerte auf.

**[0090]** Das Sensormodul **102** enthält ein Gehäuse **618**, das aus einem geeigneten Material ausgebildet ist, wie z. B. einem überformten Kunststoff. Das Gehäuse **618** dichtet das Sensorelement **104** im Allgemeinen vor Trümmern und anderen Störungen ab.

**[0091]** Die Schnittstelle **616** ist mit dem Sensorelement **104** verbunden. Die Schnittstelle **616** kann einen oder mehrere Drähte/eine oder mehrere Verbindungen zu dem Sensorelement **104** und außerhalb des Gehäuses **618** enthalten. Die Schnittstelle **616** ist konfiguriert, die Messergebnisse von dem Sensorelement **104** zu dem Controller **614** zu übertragen und dem Sensorelement **104** Leistung zuzuführen.

**[0092]** Der Controller **614** ist mit der Schnittstelle **616** verbunden und ist konfiguriert, das Sensorelement **104** zu steuern und die Messergebnisse des Magnetfeldes/des magnetischen Flusses von dem Sensorelement **104** zu empfangen. Der Controller **614** bestimmt die Winkelinformationen über eine Komponente, wie z. B. die Winkelposition, die winkelige Position, die Drehzahl, die Beschleunigung und

dergleichen. Die Komponente ist im Allgemeinen eine drehbare Komponente, wie z. B. eine Motorwelle, ein Rad, eine Antriebsstrangwelle, eine Getriebewelle und dergleichen. Insbesondere ist der Controller **614** konfiguriert, die Winkelposition, die Winkelrichtung, die RPM und dergleichen zu bestimmen.

**[0093]** Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht eines ringförmigen Magneten **700**, der in einem Magnetmodul, wie z. B. den oben beschriebenen Magnetmodulen, verwendet werden kann. Der ringförmige Magnet **700** kann in den obigen Systemen verwendet werden, um ein Magnetfeld zum Messen der Winkelinformationen einschließlich der Position und der RPM zu erzeugen.

**[0094]** Der Magnet **700** ist innerhalb eines Endes einer Welle eines Motors, eines Rades und dergleichen positioniert. Der Magnet erzeugt ein geeignetes Feld, das durch seine Zusammensetzung und Abmessungen bestimmt ist.

**[0095]** Die Abmessungen enthalten einen Außendurchmesser **720**, eine Breitendicke **722** und einen Innendurchmesser **724**. Der Unterschied zwischen dem Innendurchmesser **724** und dem Außendurchmesser definiert eine Ringdicke. Je größer die Breitendicke und die Ringdicke sind, desto größer ist im Allgemeinen das erzeugte Magnetfeld und desto toleranter kann das Sensorelement gegen die Verschiebungen des Sensors bezüglich des Magneten, die außerdem als Positionierungstoleranzen bezeichnet werden, sein.

**[0096]** Fig. 8 ist eine Querschnittsansicht eines pillenförmigen oder rund geformten Magneten **800**, der in einem Magnetmodul, wie z. B. den oben beschriebenen Magnetmodulen, verwendet werden kann. Der pillenförmige Magnet **800** kann in den obigen Systemen verwendet werden, um ein Magnetfeld zum Messen der Winkelinformationen einschließlich der Position und der RPM zu erzeugen.

**[0097]** Der Magnet **800** kann innerhalb eines Endes einer Welle eines Motors, eines Rades und dergleichen positioniert sein. Der Magnet **800** erzeugt eine geeignete Magnetfeldverteilung oder einen geeigneten magnetischen Fluss, die durch seine Zusammensetzung und Abmessungen bestimmt sind.

**[0098]** Die Abmessungen enthalten einen Durchmesser **820** und eine Dicke **822**. Je größer der Durchmesser **820** und je größer die Dicke **822** sind, desto größer ist im Allgemeinen das erzeugte Magnetfeld und desto toleranter kann das Sensorelement gegen Positionstoleranzen sein, wie im Folgenden ausführlicher erklärt wird.

**[0099]** Fig. 9 ist ein Ablaufplan, der ein Verfahren **900** zum Betreiben einer Sensorvorrichtung veranschaulicht. Das Verfahren **900** setzt ein Sensormodul

in eine Welle ein oder integriert ein Sensormodul in eine Welle, um eine Abschirmung gegen Störungen bereitzustellen, wobei es optional die Erzeugung eines Magnetfeldes verstärkt. Das Verfahren **900** kann im Zusammenhang mit den obigen Systemen, Vorrichtungen und deren Variationen verwendet werden.

**[0100]** Das Verfahren **900** beginnt in einem Block **902**, wobei ein Sensormodul in einer Welle und/oder einem Gehäuse konfiguriert oder positioniert wird. Die Welle stellt eine Abschirmung für das Sensormodul bereit, so dass Störungen, wie z. B. jene, die oben beschrieben worden sind, abgeschwächt oder vermieden werden. Das Gehäuse kann ein Gehäuse oder eine Wand eines Abteils, wie z. B. eine Kraftfahrzeugtriebekomponente, und dergleichen sein. Das Sensormodul kann überformt sein und ist typischerweise von dem Gehäuse abnehmbar. Das Sensormodul enthält ein (magneto-resistives) Sensorelement, das konfiguriert ist, die Magnetfelder in einer, zwei oder drei Achsen (1D, 2D, 3D) oder eine Richtung der Magnetfelder zu messen.

**[0101]** Im Block **904** wird eine Welle konfiguriert, so dass sie eine Wellenaussparung aufweist, wobei ein Magnetmodul innerhalb der Wellenaussparung positioniert wird. Die Wellenaussparung kann durch Bohren oder einen anderen geeigneten Mechanismus in einer massiven oder einer ausgehöhlten Welle gebildet werden. Das Magnetmodul enthält einen Magneten, wie z. B. einen ringförmigen Magneten oder einen pillenförmigen Magneten.

**[0102]** Im Block **906** wird durch das Magnetmodul ein Magnetfeld erzeugt. Wenn die Welle gedreht wird, dreht sich das Magnetfeld mit der Welle. Das Magnetmodul ist im Wesentlichen von den Störungen durch die Welle abgeschirmt, wobei im Ergebnis das Magnetfeld ohne die Störungen erzeugt wird.

**[0103]** Das Magnetfeld wird im Block **908** durch das Sensormodul gemessen. Das Sensormodul wird durch die Welle abgeschirmt, wobei es im Ergebnis im Wesentlichen von den Störungen abgeschirmt ist. Im Ergebnis sind die Magnetfeldmessungen unter Verwendung irgendeiner Abschirmung im Allgemeinen genauer als die nicht abgeschirmten Herangehensweisen.

**[0104]** Die Winkelinformationen werden im Block **910** durch eine Steuereinheit basierend auf den Magnetfeldmesswerten bestimmt. Die Winkelinformationen enthalten z. B. die Drehzahl der Welle, die Winkelposition der Welle und dergleichen. Es wird erkannt, dass die Winkelinformationen alternativ durch das Sensorelement abgeleitet werden können und dass die abgeleiteten Winkelinformationen zu der ECU weitergeleitet werden.

**[0105]** Es wird ein Aufbau wie in **Fig. 10** betrachtet, wobei im Folgenden erörtert wird, wie tief sich das Sensorelement (wie z. B. bezüglich der **Fig. 1-Fig. 6** erörtert worden ist) vorzugsweise innerhalb der Achse oder des Rohrs **101** befinden sollte. **Fig. 10** zeigt eine Querschnittsansicht einer Welle **101** mit einer Bohrung an ihrem linken Ende. Ein Bohrungsdurchmesser ist  $D_i$ . Die Welle **101** kann aus einem weichmagnetischen Material hergestellt sein. Dies bedeutet, dass die relative Permeabilität  $\mu_r$  größer als 100 ist, typischerweise zwischen 1000 und 10000 liegt, und die Koerzitivfeldstärke klein ist, typischerweise kleiner als 1 kA/m ist. Der Magnet (siehe z. B. den Magneten **206** in den **Fig. 2** und **Fig. 4**, den Magneten **306** in den **Fig. 3** und **Fig. 5**, den Magnetring **700** in **Fig. 7** oder die Magnetpille **800** nach **Fig. 8**) ist hier nicht gezeigt, weil er für die folgende Regel, die angegeben wird, irrelevant ist.

**[0106]** Das (in **Fig. 10** nicht gezeigte) Sensorelement **104** weist eine empfindliche Stelle auf, die durch ein Kreuz  $x$  auf der Drehachse  $z$  bezeichnet ist. Ungeachtet eines gegebenen Magneten sollte sich die empfindliche Stelle des Magnetfeld-Abtastelements **104** (z. B. des Sensorelements **104** jeweils nach den **Fig. 1-Fig. 6**) vorzugsweise in einer Entfernung  $d_a$  innerhalb der Bohrung befinden, wobei  $d_a > 0,4 \cdot D_i$  gilt. Unter dieser Bedingung schirmt das permeable dünnwandige Wellenende äußere Magnetfelder effektiv von dem Sensorelement **104** ab. Falls das Sensorelement **104** weiter als  $d_a = 0,4 \cdot D_i$  eingesetzt ist, verbessert sich die Abschirmung im Allgemeinen, jedoch nur mäßig für große  $d_a$ . Falls das Sensorelement **104** weniger als  $d_a = 0,4 \cdot D_i$  eingesetzt ist, ist ein signifikanter Anteil irgendeines äußeren Magnetfelds immer noch an dem Sensorort vorhanden, wobei er die (Winkel-) Sensorfunktion des Sensorelements **104** verfälschen kann.

**[0107]** **Fig. 11A** zeigt eine Konfiguration, die für numerische Simulationen verwendet wird, um die obige Schätzung der Einfügung  $d_a$  des Sensorelements **104**, die kleiner als  $0,4 \cdot D_i$  ist, in die Bohrung eines dünnwandigen Endabschnitts der drehbaren Welle **101** zu erreichen. Die in der Simulation angenommenen Parameter waren: ein Innendurchmesser  $D_i = 22$  mm der Welle und ein Außendurchmesser der Welle von 26 mm, wobei eine relative Permeabilität  $\mu_r$  der Achse von 100 bis 7400 variiert wurde. Das Rohr **101** erstreckt sich entlang der  $z$ -Richtung von  $z = -50$  mm bis  $+50$  mm. Aufgrund von Symmetrieüberlegungen wurde in **Fig. 11A** nur  $1/8$  der Geometrie modelliert. In diesen Simulationen wurde ein Störmagnetfeld in der  $B_x$ -Richtung angelegt, wobei angenommen wurde, dass das Sensorelement **104** für die  $B_x$ -Komponente empfindlich ist.

**[0108]** **Fig. 11B** veranschaulicht die Ergebnisse einer Simulation basierend auf den Parametern und dem Aufbau, die im Zusammenhang mit **Fig. 11A** um-

rissen worden sind. In **Fig. 11B** ist eine Größe des Verhältnisses der an dem Sensorort abgetasteten  $B_x$ -Komponente über der angelegten  $B_x$ -Komponente in einer großen Entfernung außerhalb des Rohrs graphisch dargestellt.

**[0109]** Als die Abszisse der graphischen Darstellung nach **Fig. 11B** ist ein Verhältnis der  $z$ -Position über dem Durchmesser (das Rohr endet bei  $z = 0,05$  m) dargestellt, das für die in der Simulation verwendeten obigen Parameter gleich  $(-1) \cdot d_a / D_i$  ist. Der Parameter, der in der Simulation nach **Fig. 11B** variiert wurde, war die relative Permeabilität  $\mu_r$ .

**[0110]** Falls sich ein Testpunkt, nämlich die potentielle Sensorposition entlang der  $z$ -Achse, ein halb eines Durchmessers innerhalb des Rohrs **101** befindet, ist die Abschirmung ziemlich gut. Tief innerhalb des Rohrs **102** ist gemäß Kaden "Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik", S. 82, die Abschirmung

$$1 / (1 + \mu_r \cdot \frac{d}{D_i})$$

wobei  $d$  eine Wanddicke bezeichnet. Gemäß **Fig. 10** ist  $2 \cdot d$  gleich dem Außendurchmesser  $D$  – den Innendurchmesser  $D_i$ ).

**[0111]** Aus dieser Formel kann die folgende Faustformel für den Winkelfehler abgeleitet werden, wenn sich das Magnetfeld-Abtastelement tief innerhalb der Bohrung befindet: Ein Winkelfehler [°] = ca.  $(57 / \mu_r) \cdot (D_i / d) \cdot (B_d / B_m)$ , mit dem Störmagnetfeld  $B_d$  und dem Magnetfeld des Magneten  $B_m$ . Normalerweise betragen die Störfelder bis zu 1,5 mT, beträgt das Feld des Magneten 40 mT und sollte der Winkelfehler kleiner als  $0,2^\circ$  sein.

**[0112]** Deshalb wird eine Entwurfsregel von  $\mu_r \cdot d / D_i > 10$  erreicht.

**[0113]** Die relative Permeabilität  $\mu_r$  der Abschirmung mal ihre Dicke  $d$ , geteilt durch den Innendurchmesser, sollte größer als 10 sein.

Ein Beispiel:

**[0114]** Das Rohr **101** weist einen Innendurchmesser von 22 mm und eine Wanddicke von 2 mm auf, das Feld des Magneten beträgt 40 mT und die Störung beträgt 1,5 mT. Falls sich der Sensor 11 mm innerhalb des Rohrs mit  $\mu_r = 800$  befindet, beträgt die Abschirmung 3%, so dass die Störung innerhalb des Rohrs  $0,03 \cdot 1,5 \text{ mT} = 0,045 \text{ mT}$  beträgt. Dies ergibt einen Winkelfehler von  $0,045 / 40 \cdot 180 / \pi = 0,065^\circ$ , wobei  $\mu_r \cdot d / D_i = 800 \cdot 2 / 22 = 73 > 10$  gilt.

**[0115]** Falls  $\mu_r$  um einen Faktor 7,3 verringert wird, würde dies eine Grenze von  $\mu_r \cdot d / D_i = 10$  ergeben und zu einem Winkelfehler von  $0,065^\circ \cdot 7,3 = 0,47^\circ$  führen.

Für eine bessere Abschirmung sind jeweils ein größeres  $\mu_r$  und/oder eine dickere Wand des Rohrs **101** und/oder ein kleinerer Durchmesser  $D_i$  der Bohrung von Vorteil.

**[0116]** Aus der obigen numerischen Simulation erkennt ein Durchschnittsfachmann, dass die Abschirmung für kleine  $\mu_r$  kleiner als für große  $\mu_r$  ist – was trivial ist. Ein Durchschnittsfachmann erkennt noch weiter, dass es für große  $\mu_r$  nur umso mehr von Interesse ist, das Sensorelement **104** tief genug in die Bohrung der Welle **101** einzusetzen: Das heißt, falls das Sensorelement **104** nur  $0,4 \cdot D_i$  (was dem Abszissenwert  $(z - 0,05)/0,022 = -0,4$  entspricht) in die Bohrung eingesetzt war, ist die Abschirmung für  $\mu_r = 7400$  und  $\mu_r = 3200$  in etwa die gleiche, falls jedoch das Sensorelement **104** um  $D_i$  (was dem Abszissenwert  $(z - 0,05)/0,022 = -1$  entspricht) eingesetzt war, schirmt die Kurve  $\mu_r = 7400$  die äußeren Felder mehr als 2,5-mal besser ab als für  $\mu_r = 3200$ .

**[0117]** Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist eine Wirkung von Wirbelströmen und/oder der Hysterese auf einen Aufbau, wobei das Sensorelement **104** und/oder der Magnet innerhalb einer Bohrung entlang der Drehachse angeordnet sind.

**[0118]** Falls das magnetische Abtastelement **104** entlang der Drehachse (die die z-Achse in **Fig. 10** ist) positioniert ist und der Permanentmagnet an der drehbaren Welle befestigt ist, gibt es zwei Möglichkeiten zum Abschirmen des magnetischen Abtastelements **104** von den äußeren magnetischen Störungen:

- (i) die Abschirmung kann sich bezüglich des Magneten in Ruhe befinden oder
- (ii) der Magnet und die Abschirmung können sich gegeneinander drehen.

**[0119]** Im Fall (i) kann die Abschirmung an dem Magneten oder an der Welle **101** befestigt sein, so dass sich der Magnet und die Abschirmung synchron um das (Magnetfeld-)Abtastelement **104** drehen. In dem Fall (ii) kann die Abschirmung an dem Sensorelement **104** oder an einem Stator, wie z. B. einem Befestigungspunkt für die Welle, befestigt sein und sich nicht mit der Welle drehen.

**[0120]** Es ist bevorzugt, dass sich die Abschirmung nicht bezüglich des Magneten bewegt. Ein derartiger Aufbau verhindert, dass das starke Feld des Magneten (**206** in den **Fig. 2**, **Fig. 4**, **306** in den **Fig. 3**, **Fig. 5**, **700** in **Fig. 7** und **800** in **Fig. 8**) Wirbelströme innerhalb der Abschirmung erzeugt. Diese Wirbelströme sollten vermieden werden, weil sie ein sekundäres Magnetfeld erzeugen, das zu einem Winkelfehler in dem Winkelmesswert des Sensors **104** führt. Die Wirbelströme führen zu einem Magnetfeld, das während der Drehung der Welle hinter dem sich drehenden

Magnetfeld zurückbleibt, was erst recht kritisch ist, je schneller die Drehung der Welle **101** ist.

**[0121]** Weiterhin gibt es eine kleine Kraft zwischen den Wirbelströmen und dem Magneten, die z. B. in der Form von Rotationsenergie, die in Wärme abgeleitet wird, stören könnte.

**[0122]** Ferner ist eine genaue relative Positionierung zwischen der Abschirmung und dem Magneten von Interesse, wenn eine Abschirmung verwendet wird. Angenommen, dass der Magnet und die Abschirmung nicht koaxial sind, kann dies das durch das Abtastelement **104** abgetastete Magnetfeld verzerren und zu Winkelfehlern führen. Im Allgemeinen ist es einfacher, eine genaue Position zwischen der Abschirmung und dem Magneten zu definieren, falls sie sich nicht gegeneinander bewegen. Umgekehrt ist ihre relative Positionierung weniger genau, falls sie sich gegeneinander drehen, z. B. aufgrund der Zwischenräume in den Lagern.

**[0123]** Schließlich kann eine magnetische Hysterese der Abschirmung zu zusätzlichen Winkelfehlern für den gemessenen Winkel führen. Falls sich die Richtung der Drehung häufig ändert: kann die Abschirmung kleine magnetische Verzerrungen zu dem durch den Magneten verursachten Magnetfeld hinzufügen. Die magnetischen Verzerrungen aufgrund der Hysterese der magnetischen Abschirmung sind typischerweise für die Drehung im Uhrzeigersinn und entgegen dem Uhrzeigersinn verschieden, weil die Hysterese der Abschirmung bewirkt, dass das Gesamtfeld hinter dem Feld des Magneten zurückbleibt.

**[0124]** In bestimmten Fällen könnte es trotzdem bevorzugt sein, eine magnetische Abschirmung zu verwenden, die sich mit dem Sensor **104** in Ruhe befindet, wobei sich deshalb der Magnet gegen die Abschirmung dreht: Ein derartiger Aufbau ist von Interesse, falls das Trägheitsmoment der Welle **101** klein gehalten werden muss, so dass es nicht erwünscht ist, die Abschirmung an der Welle **101** anzubringen.

**[0125]** Weiter oben in dieser Offenbarung wurde das Abtastelement **104** als eine integrierte Schaltung beschrieben. Als eine Alternative kann das Abtastelement **104** als ein diskretes Element implementiert sein. Beide Optionen weisen ihre eigenen Vorzüge auf, wie im Folgenden ausführlicher erklärt wird.

**[0126]** Eine Winkelsensorschaltung, die das Abtastelement **104** implementiert, benötigt typischerweise wenigstens ein Magnetfeld-Abtastelement, um die Drehposition des Magneten basierend auf dem (sich drehenden) Magnetfeld an der Sensorposition zu detektieren. Zu diesem Zweck können Magnetwiderstände wie AMRs (anisotrope Magnetwiderstände), GMRs (riesige Magnetwiderstände), TMRs (Tunnel-Magnetwiderstände), CMRs (kolossale Magnet-

widerstände), Hall-Platten, vertikale Hall-Effekt-Vorrichtungen, MAGFETs oder Magnetimpedanz-Sensorelemente verwendet werden.

**[0127]** In vielen Fällen benötigt die Sensorschaltung sogar zwei oder mehr derartige Sensorelemente, um das Abtastelement **104** zu implementieren, die auf verschiedene Richtungen ausgerichtet sind: Die verschiedenen Richtungen sind: im Fall von Magnetwiderständen oder Hall-Effekt-Vorrichtungen ihre Bezugsrichtungen (d. h., die Richtung des Stromflusses im Fall von AMRs, Hall-Effekt-Vorrichtungen und MAGFETs, während im Fall der GMR, TMR, CMR die Bezugsrichtung eine Richtung der gepinnten Magnetisierung ist). Die verschiedenen Richtungen müssen bedeutend verschieden sein, was um wenigstens  $15^\circ$  verschieden bedeutet.

**[0128]** In einem idealen Aufbau sind die unterschiedlichen Richtungen um  $90^\circ$  verschieden; mit Ausnahme der AMRs, wo sie  $45^\circ$  verschieden sind. Diese mehr als ein Magnetfeld-Abtastelemente sollten im Vergleich zu dem Magneten klein sein und sich dicht beieinander (dicht im Vergleich zu einer charakteristischen Abmessung des Magneten) befinden: Falls der Magnet eine Abmessung von 10 mm aufweist, sollten sich alle Magnetfeld-Abtastelemente, die verwendet werden, um den Winkel zu berechnen, wenn sie das Abtastelement **104** implementieren, innerhalb eines Bereichs von  $< 0,5$  mm (d. h.,  $1/20$  des Magneten) befinden. Als eine bevorzugte obere Grenze lässt sich sagen: sie sollten nicht mehr als  $1/10$  der Größe des Magneten getrennt sein. Die Größe des Magneten wird im Folgenden konstruiert: Die Magnetanordnung ist typischerweise durch drei räumliche Abmessungen charakterisiert. In Abhängigkeit von den Umständen können die drei räumlichen Abmessungen identisch sein, wobei in diesem Fall diese Abmessung als eine Größe des Magneten betrachtet werden kann. Falls jedoch die drei räumlichen Abmessungen des Magneten nicht identisch sind, kann für den Rest dieser Offenbarung irgendeine der drei räumlichen Abmessungen als eine Größe des Magneten repräsentierend betrachtet werden.

**[0129]** Für die Implementierung des Abtastelements **104** ist es irrelevant, ob nur die Magnetfeld-Abtastelemente innerhalb der Bohrung **101** angeordnet sind oder ob die Magnetfeld-Abtastelemente plus die Signalkonditionierungsschaltungsanordnung innerhalb der Bohrung **101** angeordnet sind (was in **Fig. 10** am besten zu sehen ist). In dem ersten Fall kann das Abtastelement **104** unter Verwendung diskreter Umsetzer implementiert sein, im letzteren Fall kann das Abtastelement **104** unter Verwendung integrierter Sensoren implementiert sein.

**[0130]** Die integrierten Sensoren werden als eine integrierte Schaltung umfassend aufgefasst. Die integrierte Schaltung ist eine elektronische Schaltung,

die den Sensorelementen Leistung zuführt, und die optional ihre Ausgangssignale z. B. durch Vorverstärkung und A/D-Umsetzung und Eichung gegen eine Temperaturdrift usw. konditioniert.

**[0131]** In Abhängigkeit von den Umständen kann es von Interesse sein, den integrierten Sensor auf einem einzigen Chip oder als eine Mehr-Chip-Lösung in einer gemeinsamen Baugruppe zu implementieren.

**[0132]** Die TMRs sind als diskrete Magnetfeld-Abtastvorrichtungen ideal geeignet, weil sie große Signale erzeugen, die über eine Entfernung von mehreren Zentimetern oder mehreren zehn Zentimetern zu einer Signalkonditionierungsschaltung übertragen werden können. Es ist außerdem möglich, mehrere Chips in einer einzigen elektronischen Baugruppe anzubringen und diese in die Bohrung der Welle **101** einzusetzen.

**[0133]** Schließlich sollte erwähnt werden, dass der integrierte Sensor, genauer ein Sensor-Chip, nicht auf die z-Achse oder auf irgendeine vorgegebene Orientierung innerhalb des Magneten oder innerhalb der Welle **101** ausgerichtet sein muss, falls der integrierte Sensor, der das Abtastelement **104** implementiert, ein 3D-Magnetfeldsensor ist. Der 3D-Magnetfeldsensor wird als ein Sensor konstruiert, der im Wesentlichen alle Komponenten des Magnetfeldvektors misst. Ein derartiger 3D-Magnetfeldsensor kann aus einer Hall-Platte, um z. B. die x-Komponente des Magnetfeldvektors zu detektieren, einer vertikalen Hall-Effekt-Vorrichtung, um z. B. die y-Komponente des Magnetfeldvektors zu detektieren, plus eine vertikale Hall-Effekt-Vorrichtung, um z. B. die z-Komponente des Magnetfeldvektors zu detektieren, bestehen. Ein Durchschnittsfachmann erkennt leicht andere mögliche Implementierungen eines 3D-Sensors, die hier um der Kürze willen nicht erklärt werden sollen.

**[0134]** Ein Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet erkennt ferner, dass ein Lager, das verwendet wird, wenn das Abtastelement **104** innerhalb der Welle **210** positioniert wird, eine Wirkung auf eine Leistung des Winkelsensors **104** haben kann, wie im Folgenden kurz erörtert wird.

**[0135]** **Fig. 12** veranschaulicht eine Querschnittsansicht des Endabschnitts der Welle **210**, der einen Magneten **206** umfasst. Das Lager **212** wird verwendet, um ein Gehäuse **208** anzubringen, das es wiederum unterstützt, das Sensorelement (die Sensorelemente) **104** anzubringen. Weil das Magnetfeld-Abtastelement (die Magnetfeld-Abtastelemente) **104** und der Magnet **206** innerhalb der Bohrung an dem Endabschnitt der Welle **210** angeordnet sind, gibt es ein potentiell Risiko, dass sich das Abtastelement (die Abtastelemente) **104** und/oder der Magnet **206** und das Lager **212** (z. B. ein Kugellager, aber nicht darauf eingeschränkt) der Welle **210**, das sich normalerweise

se ebenfalls in der Nähe des Endabschnitts **210** der Welle befindet, stören.

**[0136]** Einerseits verringert die Bohrung die Festigkeit der Welle **210**. Falls eine Wanddicke  $((D - D_i)/2$  in **Fig. 10**) zu niedrig ist, kann es geschehen, dass sich der Endabschnitt der Welle **210** unter einer starken Belastung deformiert, was dazu führen kann, dass der Magnet **206** bricht oder gelockert wird und nicht länger starr an der Welle **210** befestigt ist. Falls das Lager **212** versagt, kann es sich erwärmen, wobei dieser Temperaturanstieg verursachen kann, dass der Magnet **206** schlecht funktioniert oder zerfällt oder sich vom Endabschnitt der Welle **210** löst. Das Lager **212** verwendet normalerweise irgendeine Art von Schmierfett, um die Reibung zu verringern, wobei dieses Schmierfett die Sensorbaugruppe **102** und/oder den Magneten **206** erreichen kann, wo es zu einer unerwünschten chemischen Wechselwirkung führen kann (z. B. die Festigkeit des Klebstoffs, der den Magneten **206** an der Welle **210** befestigt, verringern kann).

**[0137]** Ein einfaches Mittel gegen diese Probleme besteht darin, das Sensorelement **104** und den Magneten tiefer in die Bohrung zu bewegen, was ohnehin empfohlen ist, um die elektromagnetische Abschirmung zu verbessern.

**[0138]** **Fig. 12A** veranschaulicht eine erste Lösung für einige der auf das Lager bezogenen Probleme, die vorher erörtert worden sind. **Fig. 12A** zeigt eine Querschnittsansicht eines Endabschnitts der Welle **101** parallel zu einer Drehachse, die als die z-Achse angegeben ist.

**[0139]** In **Fig. 12A** ist ein Lager **212** weiter als in **Fig. 12** über eine Welle **101** gezogen, d. h., das Lager ist weiter entfernt von der Bohrung positioniert. In dem Aufbau nach **Fig. 12A** gibt es zwei Magneten **206**, die ein Magnetfeld an einer Position des Abtastelements **104** erzeugen. Ohne Einschränkung können die Magneten **206** als ein einheitliches Element implementiert sein oder können mehr als zwei Elemente umfassen. Die Position des Abtastelements **104** in einer Entfernung  $d_a$  entfernt von einer Öffnung der Bohrung ist abermals durch ein Kreuz  $x$  angegeben, wie vorher im Zusammenhang mit **Fig. 10** erörtert worden ist.

**[0140]** Für die Anordnung nach **Fig. 12A** sind eine Kraft und eine mechanische Beanspruchung, die durch den Magneten **206** erfahren werden und die durch das Lager **212** verursacht werden, minimiert. Mit anderen Worten, eine Wechselwirkung zwischen dem Lager **212** und dem Magneten **206** ist im Vergleich zu dem Aufbau, wie er in **Fig. 12** erörtert worden ist, verringert. Eine thermische Kopplung zwischen dem Lager **212** und dem (den) Magneten ist in dem Aufbau nach **Fig. 12A** im Vergleich zu dem Auf-

bau nach **Fig. 12** minimiert. Die Welle **101** kann eine kleine Schulter **103** (z. B.  $1/10$  mm in der radialen Richtung) aufweisen, die vermeidet, dass der dünnwandige Abschnitt der Welle beschädigt wird, wenn das Lager **212** über die Welle **101** gezogen wird.

**[0141]** **Fig. 12B** veranschaulicht eine Situation, nachdem eine Muffe **214a** an dem dünnwandigen Endabschnitt der Welle **101** angebracht worden ist, wie in **Fig. 12A** veranschaulicht ist. Um der Kürze willen sind gleiche Elemente unter Verwendung gleicher Bezugszeichen veranschaulicht. Die Implementierung nach **Fig. 12B** verbessert aufgrund einer insgesamt vergrößerten Wanddicke an dem Endabschnitt der Welle **101** die Abschirmung gegenüber der Anordnung nach **Fig. 12A**:

Es wird angegeben, dass eine geringe Exzentrizität der äußeren Muffe **214a** (z. B. aufgrund der Befestigungstoleranzen – die in **Fig. 12B** nicht gezeigt sind) am wahrscheinlichsten einen Winkelfehler des Winkelsensors, nämlich des Abtastelements (der Abtastelemente) **104**, nicht vergrößert. Dies ist so, weil die durch den verdünnten Wandabschnitt der Dicke  $d$  gebildete innere Abschirmung vorherrschend ist. Das heißt, die innere Abschirmung schirmt den Magneten von der äußeren Muffe **214a** ab, so dass irgendeine Wechselwirkung zwischen dem Magneten **206** und der Muffe **214a** durch die innere Abschirmung im hohen Maße verringert wird. Es soll jedoch angegeben werden, dass die äußere Muffe **214a** den Abschirmungswirkungsgrad hinsichtlich externer magnetischer Störungen erhöht.

**[0142]** Vorzugsweise sollte  $d_2 > d$  gelten, d. h., die äußere Muffe **214a** sollte eine größere Dicke  $d_2$  als der dünnwandige Endabschnitt der Welle **101** aufweisen. Selbst wenn  $d_2 > d$  nicht gilt, verbessert jedoch die äußere Muffe **214a** die Abschirmung, jedoch mit einem geringeren Wirkungsgrad.

**[0143]** Noch bevorzugter sollte  $d_{a2} > d_a$  gelten, d. h., die äußere Muffe **214a** ist in der axialen Richtung länger als der Abstand  $d_a$ , um den das (die) Magnetfeld-Abtastelement(e) **104** in die Bohrung eingesetzt ist (sind). Selbst wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, verbessert jedoch die äußere Muffe **214a** die Abschirmung, jedoch mit einem geringeren Wirkungsgrad.

**[0144]** Die Muffe **214a** ist vorzugsweise ein weiches (magnetisches) Material mit einer großen relativen Permeabilität  $\mu_r > 10$ , vorzugsweise  $\mu_r > 100$ , noch bevorzugter  $\mu_r > 1000$  und abermals noch bevorzugter  $\mu_r > 10000$ . Es soll angegeben werden, dass die Muffe **214a** aus einem anderen Material als die Welle **101** hergestellt sein kann. Für die Muffe **214a** und die Welle **101**, die aus verschiedenen Materialien hergestellt sind, ist es aus den folgenden Gründen bevorzugt, dass die Muffe **214a** eine größere  $\mu_r$  als die Welle **101** aufweist: Der (Permanent-)Magnet

**216** weist eine starke Magnetisierung auf. Wenn sich der Magnet **206** nah bei dem dünnwandigen Wellenendabschnitt mit der Wanddicke  $d$  befindet; magnetisiert der Magnet **206** außerdem den dünnwandigen Endabschnitt der Welle **101**. Diese Magnetisierung des dünnwandigen Wellenendabschnitts verschlechtert dessen Abschirmungskapazität: der dünnwandige Wellenendabschnitt gelangt näher zur Sättigung, wobei dadurch seine effektive Permeabilität für kleine überlagerte externe Magnetfelder verringert wird.

**[0145]** Im Kontext der vorliegenden Offenbarung ist die Sättigung so zu verstehen, dass im Wesentlichen alle magnetischen Momente innerhalb eines Materials auf das (starke) Netto-Magnetfeld ausgerichtet sind, so dass sie nicht weiter auf zusätzliche überlagerte kleine Magnetfelder reagieren können.

**[0146]** Als einer Folge kann der dünnwandige Endabschnitt der Welle **101** nicht länger gegen die überlagerten kleinen Magnetfelder abschirmen. Die Nettowirkung ist, dass diese Teile der Welle **101**, die einem großen Magnetfeld ausgesetzt sind, für die Abschirmung weniger effizient sind – sie wirken, als ob die Wand des dünnwandigen Endabschnitts in einem magnetischen Sinn noch dünner geworden ist. Je größer die relative Permeabilität  $\mu_r$  eines Materials ist, desto kleiner sind die Magnetfelder, um das Material zu sättigen.

**[0147]** Fig. 12C veranschaulicht diese Beziehung.  $B$  ist die Flussdichte in Einheiten von Tesla [T],  $H$  ist das Magnetfeld in Einheiten von Ampere pro Meter [A/m] und  $\mu_0$  ist die magnetische Permeabilität des Vakuums ( $= 4\pi \cdot 10^{-7}$  [T]), wobei  $B_{rem}$  die Remanenz des Materials ist, die erhalten wird, falls alle inneren Momente auf das Erregungs- $H$ -Feld ausgerichtet sind: je steiler die Kurve in der Nähe des Ursprungs  $H = 0$  ist, desto größer ist die relative Permeabilität  $\mu_r$ , dies bedeutet jedoch außerdem, dass das Material bei kleineren Magnetfeldern  $H_1 < H_2$  als für ein Material mit einem kleineren Anstieg in der Nähe des Ursprungs  $H = 0$  gesättigt ist, wie zum Vergleich durch die gestrichelte Linie in Fig. 12C angegeben ist.

**[0148]** Es ist ferner vorstellbar, dass die Muffe **214a** (siehe Fig. 12B) der einzige Teil ist, der in dem Aufbau nach Fig. 12B die magnetostatischen Felder abschirmt. Eine derartige Situation kann z. B. auftreten, falls die Welle **101** aus einem nichtmagnetischen Material wie Aluminium oder Messing oder Kohlefaser hergestellt ist, während die Muffe **214a** aus einem weichmagnetischen Material hergestellt ist. Unter derartigen Bedingungen schirmt die Muffe **214a** das (die) Magnetfeld-Abtastelement(e) **104** von der externen magnetischen Störung ab.

**[0149]** Die Abschirmung **214a** minimiert außerdem die unerwünschte Wechselwirkung zwischen dem Lager **212** und dem Magneten **206**. Es wird erkannt,

dass das Lager **212** bewegliche Teile (z. B. die Kugeln) aufweist, die magnetisch sein können und deshalb aufgrund des Magnetfeldes des Magneten **206** magnetisiert sein können. Als eine Folge kann das magnetisierte Lager **202** ein schlecht definiertes Magnetfeld erzeugen, das dem Feld des Magneten **206** an dem Ort des Magnetfeld-Abtastelements (der Magnetfeld-Abtastelemente) **104** überlagert ist, wie durch ein Kreuz  $x$  angegeben ist, das eine Länge  $da$  nach innen in der Bohrung liegt. Das magnetisierte Lager **202** ruft deshalb zusätzliche Fehler in dem Messwert der Drehposition der Welle **101** hervor.

**[0150]** Es wird erkannt, dass der Magnet **206** nach Fig. 12B eine Zylinderform aufweist, während der Magnet nach Fig. 12A zwei einzelne Magneten **206** umfasst. In beiden Fällen ist die Bohrung innerhalb des Endabschnitts der Welle durch ein Bolzenloch abgeschlossen. Ohne Einschränkung sind weitere Optionen vorstellbar, wobei sie die vorliegende Offenbarung nicht einschränken.

**[0151]** Fig. 12D zeigt eine weitere Anordnung, die zu der ähnlich ist, die bezüglich der Fig. 12A und B erörtert worden ist. Um der Kürze willen sind den gleichen Entitäten in Fig. 12D die gleichen Bezugszeichen wie jene in den Fig. 12A oder Fig. 12B gegeben. Die Anordnung eines Sensors, der in eine Bohrung eines dünnwandigen Endabschnitts einer Welle **101** nach Fig. 12D eingesetzt ist, umfasst insbesondere eine Muffe **214b**, die von der Muffe **214a** nach Fig. 12B verschieden ist. Die Muffe nach Fig. 12D zeigt eine Lücke in der radialen Richtung mit einer Breite  $gr$ . Die Lücke kann zweckmäßig nur mit Luft oder einem Kunststoff oder einem anderen nichtmagnetischen Material gefüllt sein. Die Lücke  $gr$  unterstützt das Erhöhen des Abschirmungswirkungsgrads der Muffe **214b**. Es ist von Vorteil, eine Stärke des Magneten **206** auf die Breite der radialen Lücke  $gr$  einzustellen, so dass das Magnetfeld des Magneten **206** die Muffe **214b** nicht übermäßig sättigt. Ein derartiger Aufbau vergrößert den Abschirmungswirkungsgrad der Muffe **214b** weiter.

**[0152]** Fig. 12E veranschaulicht eine weitere Variante der Muffe **214c**. Die Anordnung nach Fig. 12E ist zu der nach den Fig. 12D und Fig. 12B ähnlich, wobei um der Kürze willen gleiche Elemente unter Verwendung gleicher Bezugszeichen angegeben sind. Während sich in Fig. 12D die radiale Lücke  $gr$  der Muffe **214b** über die volle Länge der Muffe **214b** in der axialen Richtung erstreckt, erstreckt sich die radiale Lücke  $gr$  der Muffe **214c** nach Fig. 12E nur teilweise entlang einer Länge des dünnwandigen Endabschnitts der Welle **101**. Vorzugsweise kann sich die Lücke  $gr$  wenigstens über eine Länge der Abtastelemente (die durch ein  $x$  entlang der Drehachse, das einen Abstand  $da$  von der Öffnung der Bohrung entfernt ist, angegeben ist) erstrecken. In dieser Weise schirmt die Muffe **214** wenigstens die Abtastelemente von ir-

gendwelchen externen magnetischen Störungen effektiv ab. Bezüglich der Muffe **124b** nach **Fig. 12D** kann eine Stärke des Magneten **206** auf eine Breite der radialen Lücke  $gr$  eingestellt werden, um die Muffe **214c** nicht übermäßig zu sättigen.

**[0153]** Wenn eine Anordnung aus einem Abtastelement(en) (das in den **Fig. 10**, **Fig. 12A**, **Fig. 12B**, **Fig. 12D** und **Fig. 12E** durch ein  $x$  angegeben ist) innerhalb eines dünnwandigen Endabschnitts einer Welle **101** entworfen wird, können die jeweiligen Abmessungen der einzelnen Elemente berücksichtigt werden, um die Gesamtleistung der Anordnung zu optimieren.

**[0154]** Im Allgemeinen sollte ein Innendurchmesser  $Di$  der Bohrung **101** so klein wie möglich sein, weil dies erstens zu kleineren Magneten mit größeren Magnetfeldern an einer Position des Magnetfeld-Abtastelements (der Magnetfeld-Abtastelemente) für eine gegebene Magnetmasse (oder äquivalent: einem Verhältnis des erreichbaren Magnetfeldes gegenüber den Kosten des Magnetmaterials) führt. Zweitens werden die externen Magnetfelder durch den dünnwandigen Endabschnitt der Welle **101** und/oder eine Muffe **214a**, **214b**, **214c** umso effizienter abgeschirmt, je kleiner der innere Bohrungsdurchmesser  $Di$  ist.

**[0155]** Falls eine Standard-SMD-Sensorbaugruppe für das (die) Abtastelement(e) **106** verwendet wird (was in **Fig. 12** am besten zu sehen ist, wo die SMD-Sensorbaugruppe **104** senkrecht zur Drehachse orientiert ist), weist die SMD-Sensorbaugruppe seitliche Abmessungen von etwa  $5\text{ mm} \times 6\text{ mm}$  auf. Falls die Baugruppe auf eine kleine Leiterplatte (PCB) gelötet ist und beide innerhalb der Welle angeordnet sind, beansprucht dies einen minimalen inneren Bohrungsdurchmesser des Magneten **206** von etwa  $12\text{ mm}$ . Dann muss der Bohrungsdurchmesser  $Di$  der Welle wenigstens  $16\text{ mm}$  betragen, wobei der Außendurchmesser der Welle wenigstens  $18\text{--}20\text{ mm}$  betragen sollte.

**[0156]** Für Sensorbaugruppen mit Anschlüssen ist die Situation etwas anders, wie aus **Fig. 13** entnommen werden kann: **Fig. 13** veranschaulicht eine Querschnittsansicht durch die Welle **101** innerhalb des dünnwandigen Endabschnitts nah bei einer Position der Abtastelemente **106** innerhalb der Bohrung der Welle **101**.

**[0157]** Überall im Rest dieser Offenbarung sollen Sensorbaugruppen mit Anschlüssen als eine Sensorbaugruppe verstanden werden, bei der wenigstens ein Halbleiterchip, der in **Fig. 13** als ein Chip angegeben ist, innerhalb der Baugruppe angebracht ist und durch irgendeine Schutzabdeckung, wie z. B. eine in der Technik bekannte Gussverbindung  $mc$ , abgedeckt ist. Für den Sensor mit Anschlüssen ra-

gen ferner wenigstens zwei Sensorleitungen aus der Schutzabdeckung  $mc$  heraus, wobei sich die Sensorleitungen mit dem Chip in Kontakt befinden, um dem Chip elektrische Energie zuführen zu können und um ein Ausgangssignal des Chips erhalten zu können. Es ist zweckmäßig, dass die Leitungen zu einer Seite der Baugruppe geführt sind (die das offene Ende der Wellenseite – links in **Fig. 13** – ist).

**[0158]** Es wird angegeben, dass die Leitungen an mehreren Flächen am Umfang der Schutzabdeckung in die Schutzabdeckung  $mc$  eintreten könnten – es ist jedoch nützlich, dass sich die Leitungen zu einer Seite, nämlich zum offenen Ende der Welle **101**, biegen. Selbstverständlich ist es der bevorzugte Fall, dass alle Leitungen an einer Fläche der Baugruppe herausragen. Es ist außerdem notwendig, dass der Chip (die Chips) an einem Leitungsrahmen angebracht ist/sind, wie in **Fig. 13** veranschaulicht ist. Der Leitungsrahmen kann ein Die-Paddel, an das der Chip geklebt oder an dem der Chip angebracht ist, und die Leitungen umfassen. Es wird erkannt, dass die Leitungen erforderlich sind, um die Abtastelemente mit Energie zu versorgen und um eine Ausgabe des Sensors zu erhalten. Alternativ können anstelle des Leitungsrahmens einfache Drähte verwendet werden. Es wird vielmehr erkannt, dass der Leitungsrahmen für alle Abtastelemente, die überall in dieser Offenbarung erörtert sind, optional ist.

**[0159]** Weiterhin kann mit dem Chip in verschiedenen Weisen der Kontakt hergestellt sein: z. B. durch Bonddrähte ( $bw$ ), wie in **Fig. 13** gezeigt ist, oder durch eine Flip-Chip-Anordnung an einem Leitungsrahmen oder andere Mittel zum Herstellen von Kontakten, die in der Technik bekannt sind, die für die vorliegende Offenbarung nicht wesentlich sind und die deshalb nicht ausführlich erörtert werden sollen.

**[0160]** Eine untere Grenze von  $Di$  ist durch die Baugruppe für das (die) Magnetfeld-Abtastelement(e) plus den notwendigen Zwischenraum zwischen dieser Baugruppe und der inneren Bohrung des Magneten **206** gegeben. Die kleinste mögliche Halbleiterchip-Größe in einer diametralen Richtung beträgt etwa  $1\text{ mm}$ . Dies ergibt eine Baugruppengröße von  $2,5\text{ mm}$  in der diametralen Richtung. Folglich beträgt der minimale Bohrungsdurchmesser für den Magneten  $3\text{ mm}$  und folglich beträgt der minimale Bohrungsdurchmesser  $Di$  des dünnwandigen Endabschnitts der Welle  $5\text{ mm}$ . Um die mechanische Stabilität der Welle aufrechtzuerhalten, beträgt ein minimaler Außendurchmesser der Welle  $6\text{ mm}$ .

**[0161]** Es wird angegeben, dass in **Fig. 13** die Magnetfeld-Abtastelemente **106** vorzugsweise eine Orientierung des Magnetfeldvektors detektieren, die auf eine Ebene projiziert ist, die zu der  $z$ -Achse senkrecht ist. Der Chip ist typischerweise parallel zur  $z$ -Achse angeordnet. Folglich kann die Projektion des Magnet-



feldvektors auf eine Ebene, die zur z-Achse senkrecht ist, in eine x- und eine y-Komponente zerlegt werden, wobei sich die y-Komponente in der Ebene des Chips befindet und die x-Komponente zum Chip senkrecht ist.

**[0162]** Nun wird entschieden, ein kartesisches Koordinatensystem mit den (x, y, z)-Achsen zu verwenden. Folglich müssen die Magnetfeld-Abtastelemente **106** imstande sein, den Winkel zwischen der x- und der y-Komponente des durch den Magneten **206** erzeugten Magnetfeldes zu detektieren. Dies ist ein Winkel außerhalb der Ebene gemäß  $\tan(\text{Winkel}) = B_x/B_y$  (weil x zur Chip-Ebene senkrecht ist). Übliche magnetoresistive Elemente detektieren nur die Winkel innerhalb der Ebene (d. h., die Winkel zwischen der y- und der z-Komponente der Magnetfelder gemäß  $\tan(\text{Winkel}) = B_y/B_z$ ). Die Winkel außerhalb der Ebene können durch eine Kombination aus wenigstens einer Hall-Platte und einer vertikalen Hall-Effekt-Vorrichtung detektiert werden.

**[0163]** Es wird ferner erkannt, dass eine Anordnung der Abtastelemente **106** in der Bohrung bezüglich des Magneten **206** so symmetrisch wie möglich sein sollte. Aus dem gleichen Grund ist es von Interesse, den Magneten **206** so symmetrisch wie möglich innerhalb der Bohrung anzuordnen.

**[0164]** Fig. 14A veranschaulicht eine Querschnittsansicht des dünnwandigen Endabschnitts der Welle **101** mit einem zylinderförmigen Magneten **206**. Es sollte angegeben werden, dass Fig. 14A wie die anderen Zeichnungen, auf die hier verwiesen wird, nicht maßstabsgerecht gezeichnet sein kann. Eine Position der Abtastelemente **106** ist durch ein Kreuz entlang der z-Achse angegeben. Tatsächlich ist die Position des Abtastelements als der Ursprung in dem Aufbau nach Fig. 14A gewählt. Der Magnet **206** kann symmetrisch in der z-Richtung um die Sensorposition x angeordnet sein. Für eine derartige Anordnung ist die Länge S1 zu S2 identisch. Falls ferner eine Öffnung des Magneten **206** mit der z-Achse konzentrisch ist, ist ein Abstand S5 zu einem Abstand S6 identisch, wie in Fig. 14A angegeben ist. Sollte jedoch die Öffnung des Magneten nicht mit einem Außendurchmesser des Magneten **206** konzentrisch sein, kann der Abstand S7 nicht zum Abstand S8 nach Fig. 14A identisch sein. Es wird ferner erkannt, dass S5 nicht zu S6 identisch sein kann, falls die innere Bohrung des Magneten **206** und/oder ein Umfang des Magneten **206** in der Form elliptisch oder nicht kreisförmig sein kann.

**[0165]** Vorzugsweise sollten so viele der oben erwähnten Gleichungen wie möglich im Wesentlichen gelten, nämlich  $S1 = S2$ ,  $S3 = S4$ ,  $S5 = S6$  und  $S7 = S8$ . Die Motivation, so viele der obigen Gleichungen wie möglich zu erfüllen, ist die Tatsache, dass das höchstmögliche Niveau der Feldhomoge-

nität des Magnetfeldes erreicht werden kann. Dies ist eine andere Weise, um auszusagen, dass eine maximale Anzahl der räumlichen Ableitungen des Magnetfeldes an der Sensorposition x verschwindet, falls die obigen Gleichungen erfüllt sind. Als eine Folge des Verschwindens der Ableitungen des Magnetfeldes besitzen die (Zusammenbau-)Toleranzen in der Richtung der verschwindenden Ableitung des Magnetfeldes keine Auswirkung auf eine Winkelmessung des Abtastelements **106**. Ein Durchschnittsfachmann erkennt, dass die obigen Symmetrieüberlegungen unter der Annahme einer im Wesentlichen homogenen Magnetisierung des Magneten **206** ausgeführt werden.

**[0166]** Die Fig. 14B–Fig. 14D veranschaulichen Varianten des dünnwandigen Endabschnitts der Welle **101** mit dem Magneten **206** und einer Länge der Bohrung S3 + S4, die um die Sensorposition x zentriert ist. Um der Kürze willen sind gleiche Elemente unter Verwendung gleicher Bezugszeichen bezeichnet.

**[0167]** In Fig. 14B endet die Bohrung in einer kegelförmigen Spitze, während sich die Bohrung nach Fig. 14C von einem Innendurchmesser  $D_i$  bis zu einem minimalen Durchmesser  $D_m$  verjüngt, während sich stattdessen die Bohrung nach Fig. 14D von dem Innendurchmesser  $D_i$  ändert, was eine Schulter bis zu dem minimalen Durchmesser  $D_m$  hervorbringt. Ein Durchschnittsfachmann erkennt die Weisen zum Erreichen der verschiedenen Formen der Beendigung der Bohrung an einem Ende, das von der Öffnung abgewandt ist (das in den Figuren auf der rechten Seite dargestellt ist).

**[0168]** Es wird angegeben, dass bisher sowohl die dünnwandige Bohrung der Welle **101**, der Magnet **206** als auch die Bohrung des Magneten als kreisförmig betrachtet worden sind, wenn sie entlang der z-Achse betrachtet werden. Für diese Elemente ist eine sehr große Anzahl von Formen möglich, wobei nur einer Auswahl davon im Folgenden im Zusammenhang mit den Fig. 15A–Fig. 15I erörtert wird. Diese Figuren veranschaulichen jeweils Querschnittsansichten in die Bohrung an dem dünnwandigen Endabschnitt einer Welle in einer zur Drehachse z senkrechten Ebene.

**[0169]** Fig. 15A zeigt einen Querschnitt einer Welle **101** mit einem kreisförmigen äußeren Umfang, einer kreisförmigen Bohrung und eines Magneten **206** sowohl mit einem kreisförmigen äußeren Umfang als auch mit einer kreisförmigen Bohrung, wobei alle kreisförmigen Bohrungen und/oder Umfänge zu der Drehachse z konzentrisch sind.

**[0170]** In Fig. 15B ist ein äußerer Umfang der Welle **101** zylinderförmig, während eine Bohrung der Welle **101** elliptisch ist, wobei der äußere Umfang des Magneten in die elliptische Bohrung passt. Ferner ist ei-

ne Bohrung des Magneten außerdem elliptisch, wobei jedoch die lange und die kurze Achse der Wellenbohrung nicht mit der langen und der kurzen Achse der elliptischen Bohrung des Magneten **206** übereinstimmen können. In dem Aufbau nach **Fig. 15B** verläuft die lange Achse des Außendurchmessers des Magneten entlang der x-Richtung, wohingegen die lange Achse der Magnetbohrung entlang der y-Richtung verläuft. Alternativ können beide lange Achsen außerdem parallel sein oder sich bei irgendeinem anderen Winkel zwischen ihnen befinden.

**[0171]** **Fig. 15C** zeigt eine zylinderförmige Welle **101**, während eine Bohrung in dem dünnwandigen Endabschnitt der Welle eine quadratische oder rechteckige Form aufweist. Der äußere Umfang des Magneten **206** entspricht tatsächlich der Form der Bohrung der Welle **101**. Die Bohrung des Magneten **206** weist eine kreisförmige Form auf. Abermals sind alle Formen um die Drehachse z zentriert, was jedoch die vorliegende Offenbarung nicht einschränkt.

**[0172]** **Fig. 15D** ist zu **Fig. 15C** ähnlich, wobei jedoch die Bohrung des Magneten **206** anstatt kreisförmig rechteckig oder quadratisch geformt ist. Der äußere Umfang des Magneten **206** entspricht der rechteckigen Form der Bohrung der Welle **101**.

**[0173]** **Fig. 15E** ist zu **Fig. 15C** oder **Fig. 15D** ähnlich. In **Fig. 15E** weist die Bohrung des Magneten **206** jedoch eine sechseckige Form auf. Abermals entspricht der äußere Umfang des Magneten **206** der rechteckigen Form der Bohrung der Welle **101**.

**[0174]** In **Fig. 15F** weist eine Bohrung der Welle **101** einen fünfeckigen Umfang auf, während eine Bohrung des Magneten **206** eine sechseckige Form aufweist. Wie vorher entspricht ein innerer Umfang der Bohrung innerhalb der Welle **101** einem äußeren Umfang des Magneten **206**.

**[0175]** In den **Fig. 15G–Fig. 15H** weist eine Bohrung der Welle **101** eine andere Geometrie als ein äußerer Umfang des Magneten **206** auf. In **Fig. 15G** ist ein innerer Umfang des dünnwandigen Endabschnitts der Welle **101** kreisförmig, während ein äußerer Umfang des Magneten **206** eine fünfeckige Form aufweist. Ein derartiger Aufbau lässt etwas Zwischenraum zwischen dem inneren Umfang der Bohrung der Welle und dem äußeren Umfang des Magneten **206**. Der Magnet **206** nach **Fig. 15G** umfasst eine sechseckige Bohrung.

**[0176]** In **Fig. 15H** ist ein äußerer Umfang der Welle **101** nicht kreisförmig, sondern sechseckig, während ein Umfang der Bohrung des dünnwandigen Endabschnitts der Welle **101** eine kreisförmige Form aufweist. Ein äußerer Umfang des Magneten weist eine fünfeckige Form auf. Bezüglich **Fig. 15H** weist eine Bohrung des Magneten eine sechseckige Form auf.

**[0177]** In beiden Fällen nach den **Fig. 15G** und **Fig. 15H** ist eine Lücke zwischen dem jeweiligen Magneten **206** und der Bohrung der Welle vorhanden, wobei diese Lücke jedoch eine variierende Breite aufweist. Es wird erkannt, dass der Magnet **206** in die Bohrung der Welle **101** geklebt oder durch irgendwelche geeigneten Mittel mechanisch innerhalb der Bohrung befestigt sein kann.

**[0178]** In **Fig. 51** gibt es eine Lücke mit konstanter Breite zwischen dem Magneten **206** und der Bohrung der Welle **101**. Die Lücke kann mit Luft oder mit einem Kunststoff oder einem anderen Material, das im Prinzip nichtmagnetisch ist, oder irgendeinem Klebstoff, um den jeweiligen Magneten **206** innerhalb der Bohrung der Welle **101** zu befestigen, gefüllt sein.

**[0179]** Ohne Einschränkung kann ein Magnet **206**, wie hier erörtert ist, in 2, 3, 4, ..., N Segmente zerlegt sein, die in einem Muster angeordnet sind, das eine Symmetrie aufweist, so dass, wenn es um einen Winkel von  $360^\circ/N$  um die Drehachse z gedreht wird, zu der ursprünglichen Form identisch ist, was außerdem als eine N-fache Symmetrie bezeichnet werden kann. Ein Magnet **206** mit N-facher Symmetrie ist für den Fall  $N = 4$ , der die Magnetsegmente **206a**, **206b**, **206c**, **206d** umfasst, in **Fig. 16** im Querschnitt gezeigt. Ein derartiger segmentierter Magnet **206** kann z. B. durch einen Spritzgussprozess hergestellt werden, wie in der Technik bekannt ist.

**[0180]** Ein Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet erkennt, dass, um eine Drehposition der Welle **101** basierend auf (sich drehenden) Magnetfeldern an der Sensorposition zu bestimmen, es von Interesse ist, eine wohldefinierte Position des Magneten **206** innerhalb der Bohrung der Welle **101** sicherzustellen, insbesondere hinsichtlich einer Azimutrichtung, die die Richtung der Drehung der Welle **101** ist. Zu diesem Zweck ist es zweckmäßig, eine oder mehrere Nuten **205a**, **205b** und **205c** im äußeren Umfang des Magneten **206** bereitzustellen. Die Nuten können mit Klebstoff gefüllt sein, der verwendet wird, um den Magneten in die Bohrung der Welle zu kleben. Die Nuten **205a**, **205b**, **205c** können außerdem den Zweck aufweisen, die thermomechanische Beanspruchung des Magneten **206** innerhalb der Bohrung der Welle **101** aufzunehmen, um die mechanische Spannung an dem Magneten **206** zu verringern. Dies unterstützt es, das Brechen des Magneten **206** zu vermeiden. Während die Nuten **205a**, **205b**, **205c** in **Fig. 17** als die Nuten des Magneten **206** veranschaulicht sind, können die Nuten alternativ oder zusätzlich im inneren Umfang der Bohrung bereitgestellt sein (was in **Fig. 17** nicht gezeigt ist).

**[0181]** **Fig. 18** veranschaulicht eine weitere Option zum Sicherstellen einer definierten Azimutposition des Magneten **206** innerhalb der Welle **101**. Als eine weitere Option ist es außerdem möglich, bestimm-

te eindeutige Asymmetrien in den Magneten und die Welle einzuführen, die als die Schlüssel **207** dienen, um eine Azimutposition des Magneten **206** bezüglich der Welle **101** zu definieren. **Fig. 18** gibt abermals ein nicht einschränkendes Beispiel derartiger absichtlicher Asymmetrien an. Gleichermaßen könnte der Magnet eine Kegelstumpfform in Kombination mit einer passenden Form der Bohrung innerhalb der Welle **101** aufweisen.

**[0182] Fig. 19A** veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines Magneten **206** innerhalb der Welle **101**, die einen Außendurchmesser  $D$  aufweist. Während eine Bohrung in einer axialen Richtung der Welle **101** einen konstanten Innendurchmesser  $2 \cdot S4$  aufweist und der Magnet **206** einen entsprechenden Außendurchmesser aufweist, variiert der Innendurchmesser des Magneten **206** entlang der axialen Richtung  $z$  von  $2 \cdot S5$  bis  $2 \cdot S3$  mit  $S3 < S5$  oder  $S3 > S5$  (was nicht gezeigt ist).

**[0183] Fig. 19B** veranschaulicht eine weitere Variante eines Magneten **206** innerhalb der Welle **101** mit dem Außendurchmesser  $D$ . Für die beispielhafte Ausführungsform nach **Fig. 19B** verjüngt sich der Innendurchmesser der Bohrung von  $2 \cdot S4$  bis zu  $2 \cdot S6$ . Entsprechend entspricht ein Außendurchmesser des Magneten **206** innerhalb der Bohrung dem Innendurchmesser der Bohrung entlang der axialen Ausdehnung des Magneten **206**. Es wird angegeben, dass die kegelförmige Form des Außendurchmessers des Magneten **206** und der Innendurchmesser der Bohrung gewählt sein können, um den Magneten **206** innerhalb der Bohrung an einer vorgesehenen axialen Position, etwa um die empfindliche Stelle einer Sensoranordnung, die durch das Kreuz in **Fig. 19B** angegeben ist, zentriert, anzuordnen. Anders als in der in **Fig. 19A** veranschaulichten Ausführungsform können für die Ausführungsform nach **Fig. 19B** keine weiteren Maßnahmen erforderlich sein, um den Magneten innerhalb der Bohrung an der vorgesehenen Position entlang der axialen Richtung  $z$  anzuordnen. Anders als in der Ausführungsform nach **Fig. 19A** kann es ausreichend sein, den Magneten **206** in die Bohrung zu schieben, bis der Magnet seine Bewegung entlang der axialen Richtung  $z$  stoppt, wenn er die vorgesehene axiale Position erreicht, an der eine Außenfläche des Magneten **206** mit einer Innenfläche der Bohrung zusammenpasst, wie in **Fig. 19B** angegeben ist.

**[0184] Fig. 20** veranschaulicht eine weitere Implementierung eines Magneten **206** innerhalb einer Bohrung einer Welle **101**. Der Innendurchmesser der Bohrung umfasst jedoch eine Stufe oder eine Schulter, die den Innendurchmesser der Bohrung von  $2 \cdot S4$  zu  $2 \cdot S6$  mit  $S6 < S4$  ändert. Offensichtlich stellt die Schulter ein Widerlager zum Begrenzen der axialen Beweglichkeit des Magneten **206** in der  $z$ -Richtung bereit.

**[0185]** Es wird erkannt, dass irgendwelche Sensor- und/oder Magnetanordnungen innerhalb einer Bohrung einer Welle, die hier erörtert sind, hinsichtlich des Messens einer Winkelposition einer drehbaren Welle oder einer Antriebswelle einer Kraftmaschine von besonderem Interesse sind. Beispiele, die spontan in den Sinn kommen, sind eine Antriebswelle einer Brennkraftmaschine, eine Getriebewelle irgendeines Antriebsstrang-/Triebstrangsystems oder eine Antriebswelle eines Elektromotors, wie er in einem Elektrofahrzeug verwendet wird, als nicht einschränkende Beispiele. Es wird erkannt, dass die drehbare Welle **101**, die in dieser Offenbarung betrachtet wird, konfiguriert ist, ein Drehmoment bis zu einigen hundert oder sogar tausend Newtonmetern Nm zu übertragen. Deshalb muss die Welle **101**, wie sie innerhalb dieser Offenbarung betrachtet wird, eine ausreichende Drehsteifigkeit aufweisen, um derartige hohe Drehmomente zuverlässig zuzuführen.

**[0186]** Ein Durchschnittsfachmann erkennt ferner, dass es beträchtliche räumliche Einschränkungen innerhalb eines Kraftmaschinenraums etwa eines Elektrofahrzeugs geben kann. Für die Steuerung des Elektromotors eines derartigen Fahrzeugs muss eine Winkelposition der Antriebswelle mit hoher Genauigkeit bekannt sein. Gemäß dem Stand der Technik wurde diese Aufgabe unter Verwendung eines Drehmelders gelöst, d. h., einer mechanischen Erweiterung der Antriebswelle, die die Winkelposition der Welle angeben würde. Offensichtlich erfordert ein derartiger Drehmelder als einen Kompromiss zusätzlichen Raum im Kraftmaschinenraum.

**[0187]** Ferner hängt die Genauigkeit einer Winkelposition, die durch den Drehmelder angegeben wird, von einer genauen Anbringung des Drehmelders ab, der die Antriebswelle **101** verlängert. Irgendeine Abweichung oder Toleranz in der Position des Drehmelders bezüglich der Antriebswelle verschlechtert eine Genauigkeit der Winkelposition der Antriebswelle, die durch das Drehmelderelement angegeben wird. Die Vorteile eines Endabschnitts der Welle, der eine Bohrung in der axialen Richtung der Antriebswelle aufweist, und der Bohrung, die das Winkelabstastelement enthält, gegenüber einer Drehmelderlösung, die in der Technik bekannt ist, überwiegen außerdem für Brennkraftmaschinen, etwa z. B. in einem Kraftfahrzeug, das durch eine derartige Brennkraftmaschine angetrieben ist.

**[0188]** Ein Durchschnittsfachmann erkennt leicht, dass es für die Antriebswellen **101**, die eine Bewegung mit hohem Drehmoment zuführen, typischerweise beträchtliche Zusammenbautoleranzen für einen Drehmelder gibt. Diese Toleranzen können durch eine statische oder dynamische Deformation der Welle, die Positionierungstoleranzen der beteiligten mechanischen Teile oder ebenso des Drehmelderelements verursacht werden.

**[0189]** Die statische Deformation der Antriebswelle **101** kann auf irgendeine Verschlechterung der Welle oder die Gegenstände, die die Antriebswelle selbst treffen, zurückzuführen sein.

**[0190]** Die dynamische Deformation der Antriebswelle kann durch ein Ungleichgewicht der Antriebswelle, etwa aufgrund einer Deformation, die aufgrund einer derartigen Deformation ein zusätzliches Trägheitsmoment verursacht, verursacht sein. Offensichtlich werden eine derartige statische und/oder dynamische Deformation auf das Drehmelderelement projiziert, wobei sie die erreichbare Genauigkeit der durch das Drehmelderelement angegebenen Winkelposition verschlechtern.

**[0191]** Die statische Deformation eines Drehmelderelements kann gleichermaßen durch einen Gegenstand verursacht werden, der den Drehmelder trifft und ihn deformiert. Eine derartige Deformation kann potentiell verursachen, dass der Drehmelder bezüglich der Achse der Antriebswelle versetzt ist, um nur ein Beispiel anzugeben. Eine derartige Deformation kann ferner ein Ungleichgewicht des Drehmelders verursachen, was zu einem zusätzlichen Trägheitsmoment während der Drehung des Drehmelders mit der Antriebswelle **101** führt, was tatsächlich eine weitere Verschlechterung des Drehmelders und/oder der Antriebswelle **101** unterstützen kann.

**[0192]** Ein Durchschnittsfachmann erkennt, das Hochleistungs-Wälzlager in Kombination mit einer Antriebswelle, die eine Bewegung mit hohem Drehmoment überträgt, von Interesse sein können. Derartige Wälzlager erfordern ein beträchtliches Spiel des Lagers, als es typischerweise für die Präzisionslager der Fall sein würde, wie sie für die Übertragung einer Bewegung mit niedrigen Drehmoment in dem Bereich von einigen Newtonmetern oder sogar unter einem Newtonmeter verwendet werden. Das Spiel des Lagers in Hochleistungslagern vergrößert typischerweise das Spiel in der radialen und axialen Richtung im Vergleich zu den Präzisionslagern, wie sie für die Übertragung einer Bewegung mit niedrigen Drehmoment verwendet werden.

**[0193]** Es wird deshalb für einen Fachmann auf dem Gebiet ersichtlich, warum es von Interesse ist, ein Lager **202**, **212** für die Antriebswelle **101** bereitzustellen, wenn die Winkelabtastlösung für eine Antriebswelle, die eine Drehung mit hohem Drehmoment zu führt, wie hier offenbart ist und wie bereits hinsichtlich der **Fig. 2–Fig. 5**, **Fig. 12–Fig. 12B**, **Fig. 12D** und **Fig. 12E** beschrieben worden ist, verwendet wird.

**[0194]** Ein Durchschnittsfachmann erkennt ferner, dass es zweckmäßig ist, eine massive oder eine große Masse besitzende Welle für die Bewegung mit hohem Drehmoment, die durch die Antriebswelle **101** gemäß der vorliegenden Offenbarung zugeführt wird,

zu verwenden. Bei einer hohlen Welle kann es sich als schwierig erweisen, die Bewegung mit hohem Drehmoment zuverlässig zuzuführen, da eine hohle Welle die für eine derartige Zuführung erforderliche Drehsteifigkeit nicht bereitstellen kann. Die vorliegende Offenbarung erreicht eine Winkelmessung mit höherer Genauigkeit durch das Anordnen des Winkelabstastelements innerhalb einer axialen Bohrung innerhalb eines Endabschnitts der Antriebswelle **101**. Als ein Kompromiss kann die mechanische Stabilität, insbesondere die Drehsteifigkeit dieses ausgehöhlten Endabschnitts verringert sein. Es kann deshalb von Interesse sein, einen Abschnitt der Antriebswelle bereitzustellen, der eine große Masse besitzt und der durch ein Lager gestützt ist, wie in den Ausführungsformen gesehen werden kann, die in den **Fig. 12A, B, D** und **Fig. 12E** erörtert sind. Für eine derartige Anordnung muss sich das Lager aufgrund der axialen Bohrung innerhalb des Endabschnitts der Welle **101** nicht in einem Abschnitt mit verringerter Drehsteifigkeit mit der Antriebswelle in Eingriff befinden.

**[0195]** Es ist ein Vorteil einer Anordnung des (Winkel-)Abstastelements **106** "in der Welle", die hier offenbart ist, die zusätzlichen mechanischen Toleranzen zu verringern, die durch die statischen oder dynamischen Deformationen verursacht werden, die oben hinsichtlich der Verwendung eines Drehmelders erörtert worden sind.

**[0196]** Es kann von Interesse sein, das Abstastelement **106** von den rauen Umgebungen innerhalb des Kraftmaschinenraums von Fahrzeugen abzudichten. Derartige raue Umgebungen können z. B. aufgrund aggressiver Flüssigkeiten verursacht werden, die das Abstastelement **106** potentiell beschädigen würden, wie z. B. ein Getriebeschmiermittel, wie es in den Getriebekästen vorhanden ist, die in Kraftfahrzeugen allgemein bekannt sind, die durch eine Brennkraftmaschine betrieben sind, um ein nicht einschränkendes Beispiel anzugeben. Automatikgetriebekästen umfassen typischerweise eine oder mehrere Antriebswellen **101**, für die eine Winkelposition und/oder eine Winkelgeschwindigkeit von Interesse sind, um eine Erfahrung eines glatten Gangwechsels bereitzustellen.

**[0197]** Es wird erkannt, dass jede Offenbarung im Folgenden, die das Abstastelement **106** betrifft, außerdem ohne Einschränkung auf die Abstastelemente **104** angewendet werden kann, die im Zusammenhang mit den **Fig. 1–Fig. 6** und **Fig. 12** oben erörtert worden sind.

**[0198]** Ferner kann es von Interesse sein, das (Winkel-)Abstastelement **106** von der magnetischen Verschmutzung abzudichten, da sie das Abstastelement **106** basierend auf einem magnetischen Abtastprinzip beeinflussen kann. Die magnetische Verunreinigung

ist in der Form von Eisenfeilspänen bekannt, die in vielen Maschinentypen omnipräsent sind. Sollte eine derartige magnetische Verunreinigung die Bohrung innerhalb der Antriebswelle **101** erreichen, verschlechtert sich die (Winkel-)Abtastung beträchtlich. Deshalb kann die Abdichtung der Bohrung für die (Winkel-)Abtastung in der Welle von Interesse sein, die hier offenbart ist.

**[0199]** Die **Fig. 21A** und **Fig. 21B** veranschaulichen Beispiele einer möglichen Abdichtung der Abtastelemente **106**. Die in den **Fig. 21A** und **Fig. 21B** gezeigten Anordnungen sind zu der Anordnung, die im Zusammenhang mit **Fig. 13** erörtert worden ist, etwas ähnlich. Es wird eine Abdeckung **212** verwendet, um die axiale Bohrung innerhalb des Endabschnitts der Antriebswelle **101** zu verschließen. Die Abdeckung kann aus einem Leiterplattenmaterial (PCB-Material) hergestellt sein, ist aber nicht darauf eingeschränkt. Gleichen Elementen in den **Fig. 21A** und **Fig. 21B** sind identische Bezugszeichen gegeben, wobei sie deshalb nicht abermals ausführlich erörtert werden sollen, um eine übermäßige Menge von Wiederholung zu vermeiden.

**[0200]** In der Ausführungsform nach **Fig. 21A** wird vorgeschlagen, einen Ring **208** zu verwenden, der an einer Oberfläche der Abdeckung **212** angebracht ist. Es kann von Interesse sein, einen Ring **208** zu haben, der mit einem Dichtungselement **210** zusammenpasst. Eine Nut in der Azimutrichtung kann das Dichtungselement **210** aufnehmen. Das Dichtungselement **210** kann als einfacher O-Ring oder als ein abgedichtetes Lager implementiert sein, wie in der Technik bekannt ist, z. B. als ein Lager implementiert sein, das eine (nicht gezeigte) innere Dichtungslippe umfasst, um das Innere der Bohrung von einem Äußeren abzudichten. Ohne Einschränkung kann das abgedichtete Lager ferner eine äußere Dichtungslippe umfassen. Es soll angegeben werden, dass ungeachtet eines Drehmoments, das die Antriebswelle **101** zuführt, sich das Dichtungselement **210** mit einem beträchtlichen Abschnitt des zugeführten Drehmoments innerhalb der Azimutrichtung in Kontakt befinden kann. Geeignete Materialien und Abmessungen für das Dichtungselement, um dem beträchtlichen Anteil des in der Azimutrichtung zugeführten Drehmoments standzuhalten, sind in der Technik bekannt. Ein nicht einschränkendes Beispiel für das Dichtungselement ist ein gepresster O-Ring geeigneter Abmessungen, der das Innere der Bohrung von einem Äußeren abdichtet.

**[0201]** Es ist ferner von Interesse, die Abdeckung **212** so anzubringen, dass sie der Drehbewegung der Antriebswelle **101** nicht folgt, sondern eine statische Position bezüglich der Azimutrichtung einnimmt, während sie das Innere der Bohrung vom Äußeren abdichtet. Die statische oder Statorposition der Abdeckung **212** und folglich des (Winkel-)Abtastele-

ments **216** bezüglich der Antriebswelle **101** kann unter Verwendung einer (nicht gezeigten) Halterungsstruktur erreicht werden.

**[0202]** **Fig. 21B** offenbart eine weitere Ausführungsform einer möglichen Abdichtung des Abtastelements **106** von einem Äußeren der Antriebswelle **101**. Eine Dichtung **214**, die mit der Abdeckung **212** verbunden ist, wird verwendet, um einen Umfang eines hohlen Endabschnitts der Welle, d. h., der Antriebswelle **101**, zu umfassen. Es kann zweckmäßig sein, ein Dichtungselement zu implementieren, das die Dichtung **214** und die Antriebswelle **101** in der radialen Richtung (die als die vertikale Richtung  $x$  in **Fig. 21B** angegeben ist) überbrückt. Bezüglich des Dichtungselements nach **Fig. 21A** kann das Dichtungselement **208** als ein O-Ring oder als ein Lager implementiert sein, das wenigstens eine Dichtungslippe umfasst, wie in der Technik bekannt ist.

**[0203]** Gemäß einer Variante des Dichtungselements **208**, die hinsichtlich der **Fig. 21A** und **Fig. 21B** erörtert ist, kann die Abdeckung **208** implementiert sein, die der Drehbewegung der Antriebswelle **101** folgt. Eine derartige Bauform für die Abdichtung der Abtastelemente **106** würde die Anforderungen an das Dichtungselement **208** lockern, da dessen Elemente nicht länger dem zugeführten Drehmoment ausgesetzt sein würden, sondern sich gleichzeitig mit der Antriebswelle **101** bewegen. Es soll jedoch angegeben werden, dass für einen derartigen Aufbau ein weiteres Dichtungselement **210** erforderlich sein würde, das einen Abschnitt der PCB, die die Abdeckung **212** durchquert, umschließt. Dies ist von Interesse, um sicherzustellen, dass das (Winkel-)Abtastelement **106** an einer im Wesentlichen festen Winkelposition bezüglich der drehbaren Antriebswelle **101** bleibt.

**[0204]** Während eine wellenintegrierte Anordnung oder eine Anordnung "in der Welle" der (Winkel-)Abtastelemente **106** innerhalb des Endabschnitts der Antriebswelle **101** es unterstützt, im Vergleich zu einem Aufbau, der einen Drehmelder verwendet, die radialen und/oder axialen Zusammenbautoleranzen zu verringern, sind diese Zusammenbautoleranzen immer noch in der Anordnung in der Welle vorhanden, jedoch mit einem verringerten Niveau. Das heißt, für einen Drehmelder mit einer Exzentrizität von etwa 0,5 mm hinsichtlich der Drehachse der Antriebswelle ist ein mit dem Drehmelder erreichter Winkelfehler größer als ein mit der Anordnung in der Welle erreichter Winkelfehler für einen Aufbau mit einer Exzentrizität des Magneten von 0,5 mm bezüglich der Drehachse.

**[0205]** Es ist eine Option, Magnetanordnungen **206** mit Magnetfeldern hoher Homogenität zu verwenden, um die verschlechternde Wirkung der radialen und/oder axialen Zusammenbautoleranzen für die Anordnung in der Welle der Winkelabtastelemente **106** in-

nerhalb der Welle **101** weiter zu verringern. Es ist zu erkennen, dass Magneten mit hoher Homogenität mit irgendeiner der Magnetanordnungen **206** in der Welle, die hier offenbart sind, verwendet werden können.

**[0206]** Fig. 22A veranschaulicht ein erstes Beispiel derartiger Magnetanordnungen **206** mit hoher Homogenität. In Fig. 22A ist eine Querschnittsansicht einer Magnetanordnung gezeigt. Ein Kreuz in Fig. 22A gibt eine Position an, die einer Position der Drehachse der Antriebswelle entspricht, sobald der Magnet innerhalb der Bohrung der (nicht gezeigten) Antriebswelle angeordnet ist. Die Magnetanordnung nach Fig. 22A umfasst acht Magnetelemente, die angeordnet sind, um einen Magnetring einer achteckigen Form als ein nicht einschränkendes Beispiel zu bilden. Für jedes der Magnetelemente ist eine Magnetisierungsrichtung **206-1** bis **206-4** angegeben. Für eine derartige Anordnung der Magnetelemente wird ein im Wesentlichen gleichmäßiges Gesamtmagnetfeld **207** innerhalb des Magnetrings gebildet, während außerhalb der ringförmigen Magnetanordnung **206** ein sehr kleines oder praktisch sogar kein Magnetfeld vorhanden sein kann. Derartige Magnetanordnungen sind in der Technik als Halbach-Magneten bekannt. Es kann zweckmäßig sein, die einzelnen Magnetelemente **206** zusammenzukleben, bevor jedes Segment magnetisiert worden ist. Es kann stattdessen eine weitere Weise zum Anordnen der Magnetelemente **206** verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Anordnung die Homogenität des Magnetfelds innerhalb der Ringstruktur im Wesentlichen nicht behindert.

**[0207]** Ein mit den Magnetanordnungen **206** des Halbach-Typs vertrauter Fachmann erkennt, dass eine Ausdehnung der Halbach-Magnetanordnung **206** in der axialen Richtung vorzugsweise größer als ein Innendurchmesser des Magneten des Halbach-Typs in der radialen Richtung ist, noch bevorzugter größer als ein Außendurchmesser des Magneten des Halbach-Typs in der radialen Richtung ist. Derartige Abmessungen unterstützen es typischerweise, die Homogenität des Magnetfeldes in der radialen Richtung und ebenso in der axialen Richtung zu verbessern.

**[0208]** Fig. 22B veranschaulicht eine weitere beispielhafte Ausführungsform eines Magneten **206** des Halbach-Typs in einer Querschnittsansicht. Es wird angegeben, dass der Magnet **206** nach Fig. 22B ein einheitliches Element umfasst, das eine inhomogene Magnetisierung aufweist, die innerhalb des gezeigten Querschnitts etwas ausgeglichen ist, so dass das meiste der Magnetfeldlinien in der Mitte des Magneten **206** konzentriert ist, während das Äußere des ringförmigen Magneten praktisch ohne Magnetfelder ist. Der Vorteil einer derartigen Anordnung des Halbach-Typs für den Magneten **206**, wie er hinsichtlich der Fig. 22A, Fig. 22B erörtert ist, ist zweifach: Zuerst ist das Abtastelement **106** weniger empfindlich

gegen Zusammenbautoleranzen in der radialen und/oder der axialen Richtung, hinsichtlich einer derartigen Verschiebung sieht der Sensor praktisch keine oder eine sehr kleine Änderung (der Richtung) des Magnetfelds beim Vorhandensein derartiger Zusammenbautoleranzen. Deshalb wird es leichter, mehr als ein (Winkel-)Abtastelement **106** innerhalb des Bereichs des im Wesentlichen homogenen Magnetfelds **207** anzuordnen (wie in den Fig. 22A–C angegeben ist). Die mehr als ein Abtastelemente sehen dann das identische Magnetfeld **207**, was von Interesse sein kann, wenn ein redundantes und/oder diverses magnetisches (Winkel-)Abtastsystem gebaut wird. Ein diverses magnetisches (Winkel-)Abtastsystem misst das Magnetfeld **207** mit den mehr als ein Abtastelementen, von denen jedes ein anderes, d. h., ein diverses Abtastprinzip verwendet, das erste verwendet etwa als ein nicht einschränkendes Beispiel einen GMR-Sensor, das zweite verwendet einen Hall-Sensor.

**[0209]** In dem Fall einer (vorübergehenden) Störung würden die mehr als ein diversen Abtastelemente aufgrund ihrer diversen Abtastprinzipien verschieden auf die (vorübergehende) Störung reagieren. Ein Durchschnittsfachmann erkennt deshalb, dass die (vorübergehende) Störung offensichtlich wird, wenn die mehr als ein diversen Abtastelemente verwendet werden. Stattdessen würden irgendwelche abgetasteten Daten aufgrund der (vorübergehenden) Störung nicht offensichtlich werden, wenn lediglich mehr als ein redundantes Abtastelement verwendet wird, von denen alle ein identisches, d. h., ein nicht diverses Prinzip verwenden. Für die lediglich mehr als ein redundantes Abtastelemente würden alle der Abtastelemente einen im Wesentlichen identischen abgetasteten Wert zeigen, der durch die gleiche (vorübergehende) Störung verursacht wird – der aufgrund der (vorübergehenden) Störung außerdem als ein Fehler mit gemeinsamer Ursache (common cause error) bezeichnet wird.

**[0210]** Als ein zweiter Vorteil des Magneten **206** des Halbach-Typs ist der Raum außerhalb des Magneten **206** im Wesentlichen ohne irgendein Magnetfeld, was irgendwelche magnetischen Störungen verringert, die von dem Magneten **206** zu irgendwelchen magnetisch empfindlichen Strukturen projiziert werden, die den Magneten **206** und folglich die Antriebswelle **101** umgeben. Weiterhin verschlechtert das exzentrische Anbringen des Magneten innerhalb der Bohrung einer Eisenwelle die Homogenität des Magnetfeldes an den Abtastelementen in der Mitte des Ringmagneten des Halbach-Typs nicht, weil der Magnet kein Magnetfeld auf die Welle, die ihn umgibt, ausübt.

**[0211]** Der Magnet **206** des Halbach-Typs nach Fig. 22B kann unter Verwendung einiger Formungstechniken oder Magnetisierungstechniken, die einen

nicht homogenen Magneten erreichen, als ein einheitliches Element gebildet werden, wie innerhalb einer früheren Patentanmeldung des Anmelders, als US 14/812.907 am 29. Juli 2015 durch den Anmelder eingereicht, die in ihrer Gesamtheit hier aufgenommen ist, ausführlich erklärt ist.

**[0212]** Fig. 22C veranschaulicht einen Querschnitt eines weiteren Magneten **206** des Halbach-Typs, wobei sich eine Magnetisierung innerhalb des ringförmigen Magneten fast kontinuierlich ändert, während das Magnetfeld innerhalb des Rings einen sehr hohen Grad der Homogenität zeigt.

**[0213]** Während das Verfahren und dessen Varianten im Folgenden als eine Folge von Handlungen oder Ereignissen veranschaulicht und beschrieben werden, wird erkannt, dass die veranschaulichte Ordnung derartiger Handlungen oder Ereignisse nicht in einem einschränkenden Sinn zu interpretieren ist. Einige Handlungen können z. B. in anderen Reihenfolgen und/oder gleichzeitig mit anderen Handlungen oder Ereignissen abgesehen von jenen, die hier veranschaulicht und/oder beschrieben sind, auftreten. Zusätzlich können nicht alle veranschaulichten Handlungen erforderlich sein, um einen oder mehrere Aspekte oder Ausführungsformen der Offenbarung hier zu implementieren. Außerdem können ein oder mehrere der hier dargestellten Handlungen in einer oder mehreren separaten Handlungen und/oder Phasen ausgeführt werden.

**[0214]** Es wird erkannt, dass der beanspruchte Gegenstand als ein Verfahren, eine Vorrichtung oder ein Herstellungsartikel unter Verwendung von Standardprogrammierungs- und/oder Entwicklungstechniken implementiert werden kann, um Software, Firmware, Hardware oder irgendeine Kombination daraus herzustellen, um einen Computer zu steuern, um den beanspruchten Gegenstand zu implementieren (die in den Fig. 1, Fig. 2 usw. gezeigten Systeme/Vorrichtungen sind z. B. nicht einschränkende Beispiele des Systems, das verwendet werden kann, um die obigen Verfahren zu implementieren). Es ist vorgesehen, dass der Begriff "Herstellungsartikel", wie er hier verwendet wird, ein Computerprogramm umfasst, das von irgendeiner computerlesbaren Vorrichtung, einem Träger oder Medien zugänglich ist. Selbstverständlich erkennen die Fachleute auf dem Gebiet, dass an dieser Konfiguration viele Modifikationen ausgeführt werden können, ohne vom Schutzzumfang oder Erfindungsgedanken des beanspruchten Gegenstands abzuweichen.

**[0215]** Eine Sensoranordnung enthält ein Sensorelement und ein Magnetmodul. Das Sensorelement ist konfiguriert, ein Magnetfeld zu messen und ist innerhalb einer Welle positioniert. Die Welle ist konfiguriert, das Magnetmodul und das Sensorelement abzuschirmen. Das Magnetmodul ist konfiguriert, das

Magnetfeld zu erzeugen. Das Sensorelement ist wenigstens teilweise innerhalb der Welle positioniert.

**[0216]** Eine weitere Sensoranordnung enthält ein Sensormodul, ein Gehäuse und eine Welle. Das Sensormodul ist konfiguriert, ein Magnetfeld zu messen. Das Gehäuse weist eine Modulöffnung und eine Gehäuseaussparung auf. Das Sensormodul ist innerhalb der Modulöffnung positioniert. Die Welle ist an die Wellenaussparung gekoppelt und weist ein Magnetmodul auf, das konfiguriert ist, das Magnetfeld zu erzeugen. Die Welle ist konfiguriert, das Magnetmodul und das Sensormodul abzuschirmen.

**[0217]** Eine integrierte Sensorvorrichtung enthält ein Sensormodul, ein Gehäuse und ein Magnetmodul. Das Sensormodul ist konfiguriert, ein Magnetfeld zu messen. Das Gehäuse weist eine Modulöffnung und eine Wellenaussparung auf und ist konfiguriert, das Sensormodul abzuschirmen. Das Sensormodul ist innerhalb der Modulöffnung positioniert. Das Magnetmodul ist innerhalb einer Welle positioniert. Die Welle ist an die Wellenaussparung gekoppelt. Das Magnetmodul ist konfiguriert, das Magnetfeld zu erzeugen. Die Welle ist konfiguriert, das Magnetmodul abzuschirmen.

**[0218]** Es wird ein Sensorsystem, das ein Sensormodul, eine Schnittstelle und eine Steuereinheit aufweist, offenbart. Das Sensormodul befindet sich innerhalb eines Gehäuses und weist ein Sensorelement auf, das konfiguriert ist, die Messwerte eines Magnetfelds bereitzustellen. Das Gehäuse schirmt das Sensormodul von einer oder mehreren Störungen ab. Die Schnittstelle ist an das abgeschirmte Sensormodul gekoppelt und konfiguriert, die Magnetfeld-Messwerte von dem abgeschirmten Sensormodul zu übertragen. Die Steuereinheit ist konfiguriert, basierend auf den Magnetfeld-Messwerten die Winkelinformationen zu bestimmen.

**[0219]** Es wird ein Verfahren zum Betreiben einer Sensorvorrichtung offenbart. Ein Sensormodul wird in einem Gehäuse konfiguriert oder positioniert. Das Sensormodul wird durch das Gehäuse von einer oder mehreren Störungen abgeschirmt. Eine Welle wird konfiguriert, so dass sie eine Wellenaussparung aufweist. Ein Magnetmodul wird innerhalb der Wellenaussparung positioniert. Das Magnetmodul wird durch die Welle von der einen oder den mehreren Störungen abgeschirmt. Durch das Magnetmodul wird ein Magnetfeld erzeugt. Das Magnetfeld wird durch das Sensormodul gemessen.

**[0220]** Speziell hinsichtlich der durch die oben beschriebenen Komponenten oder Strukturen (Anordnungen, Vorrichtungen, Schaltungen, Systeme usw.) ausgeführten verschiedenen Funktionen ist vorgesehen, dass die Begriffe (einschließlich einer Bezugnahme auf "Mittel"), die verwendet werden, um

derartige Komponenten zu beschreiben, irgendeiner Komponente oder Struktur entsprechen, die die spezifizierte Funktion der beschriebenen Komponente ausführt (die z. B. funktional äquivalent ist), selbst wenn sie zu der offenbarten Struktur, die die Funktion in den hier veranschaulichten beispielhaften Implementierungen der Erfindung ausführt, nicht strukturell äquivalent ist, wenn es nicht anders angegeben ist. Während ein spezielles Merkmal der Erfindung bezüglich nur einer von mehreren Implementierungen offenbart worden sein kann, kann ein derartiges Merkmal zusätzlich mit einem oder mehreren anderen Merkmalen der anderen Implementierungen kombiniert werden, wie es für irgendeine gegebene oder spezielle Anwendung erwünscht oder vorteilhaft sein kann. Überdies ist vorgesehen, dass bis zu dem Ausmaß, in dem die Begriffe "enthaltend", "enthält", "aufweisend", "weist auf", "mit" oder Varianten davon entweder in der ausführlichen Beschreibung oder in den Ansprüchen verwendet werden, derartige Begriffe in einer zu dem Begriff "umfassend" ähnlichen Weise inklusiv sind.



**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**

- DE 102007025000 [0002]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Kaden "Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik", S. 82 [0110]

**Patentansprüche**

1. Sensoranordnung, die Folgendes umfasst:

- eine drehbare Antriebswelle, die sich entlang einer Drehachse erstreckt und eine Bohrung, die sich von einer ersten Stirnfläche der Welle entlang der Drehachse erstreckt, umfasst;
- ein Magnetmodul, das innerhalb der Bohrung angeordnet ist und an die Antriebswelle gekoppelt ist, wobei das Magnetmodul konfiguriert ist, ein Magnetfeld innerhalb der Bohrung zu erzeugen; und
- ein Abtastelement, das konfiguriert ist, eine Drehung des Magnetfelds in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle abzutasten.

2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei das Abtastelement eine empfindliche Stelle aufweist, wobei die empfindliche Stelle innerhalb der Bohrung angeordnet ist und dem rotierenden Magnetfeld ausgesetzt ist.

3. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die ferner ein Dichtungselement umfasst, das an die Antriebswelle koppelbar ist, um die Bohrung abzudecken, wobei das Dichtungselement das innerhalb der Bohrung angeordnete Abtastelement von einem Äußeren der Bohrung trennt.

4. Anordnung nach Anspruch 3, wobei das Dichtungselement an eine Umfangsfläche des Endabschnitts der Antriebswelle gekoppelt ist.

5. Anordnung nach Anspruch 3, wobei das Dichtungselement an die erste Stirnfläche der Antriebswelle gekoppelt ist.

6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Antriebswelle konfiguriert ist, ein hohes Drehmoment von wenigstens einigen zehn Newtonmetern, vorzugsweise einigen hundert Newtonmetern, zu übertragen.

7. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Antriebswelle konfiguriert ist, eine Drehbewegung zum Antrieb eines Fahrzeugs zu übertragen.

8. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Abtastelement als eine Halbleitervorrichtung, die wenigstens einen Die umfasst, implementiert ist.

9. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Magnetanordnung ein Magnetfeld bereitstellt, das hauptsächlich innerhalb eines äußeren Umfangs der Magnetanordnung enthalten ist.

10. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Antriebswelle ein weichmagnetisches oder eisenhaltiges Material umfasst, das

magnetische Störungen von dem Abtastelement abschirmt.

11. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei eine Abmessung der Magnetanordnung in einer axialen Richtung größer als ein Innendurchmesser der Magnetanordnung, vorzugsweise größer als ein Außendurchmesser der Magnetanordnung ist.

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Magnetanordnung als ein einheitliches Element implementiert ist.

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die Magnetanordnung eine im Wesentlichen ringförmige Form aufweist, die eine homogene Verteilung des magnetischen Flusses innerhalb eines Mittenbereichs der Magnetanordnung umfasst.

14. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die ferner einen Verriegelungsmechanismus aufweist, der konfiguriert ist, die Magnetanordnung innerhalb der Bohrung an einer definierten Position entlang der axialen Richtung zu arretieren.

15. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die ferner einen Verriegelungsmechanismus umfasst, der konfiguriert ist, die Magnetanordnung innerhalb der Bohrung an einer definierten Azimutposition bezüglich der axialen Richtung zu arretieren.

16. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei sich ein Innendurchmesser der Bohrung von einem ersten Durchmesser an einer ersten Stirnfläche der Antriebswelle bis zu einem zweiten Durchmesser, der kleiner als der erste Durchmesser ist, verjüngt.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 16, wobei das Dichtungselement ein abgedichtetes Lager umfasst, wobei das abgedichtete Lager drehbar an der Antriebswelle angebracht ist.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 16, wobei das Dichtungselement bezüglich der Antriebswelle fest angeordnet ist.

19. Elektromotorsystem, das Folgendes umfasst:

- eine drehbare Motorantriebswelle, die sich entlang einer Drehachse erstreckt und eine Bohrung, die sich von einer ersten Stirnfläche der Welle entlang der Drehachse erstreckt, umfasst;
- ein Magnetmodul, das innerhalb der Bohrung angeordnet ist und an die Motorantriebswelle gekoppelt ist, wobei das Magnetmodul konfiguriert ist, ein Magnetfeld innerhalb der Bohrung zu erzeugen; und
- ein Abtastelement, das konfiguriert ist, eine Drehung des Magnetfelds in Reaktion auf die Drehung der Motorantriebswelle abzutasten.

20. Brennkraftmaschinensystem, das Folgendes umfasst:

- wenigstens eine drehbare Antriebswelle, die sich entlang einer Drehachse erstreckt und eine Bohrung, die sich von einer ersten Stirnfläche der Welle entlang der Drehachse erstreckt, umfasst;
- ein Magnetmodul, das innerhalb der Bohrung angeordnet ist und an die wenigstens eine Antriebswelle gekoppelt ist, wobei das Magnetmodul konfiguriert ist, ein Magnetfeld innerhalb der Bohrung zu erzeugen; und
- ein Abtastelement, das konfiguriert ist, eine Drehung des Magnetfelds in Reaktion auf die Drehung der wenigstens einen Antriebswelle abzutasten.

Es folgen 23 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

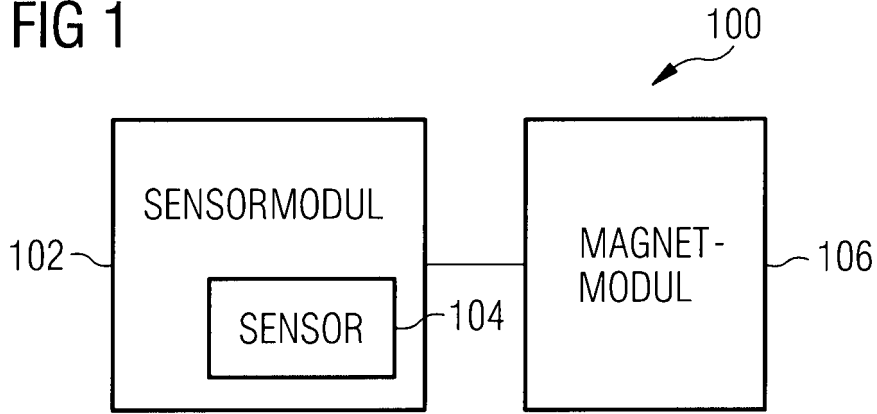


FIG 2

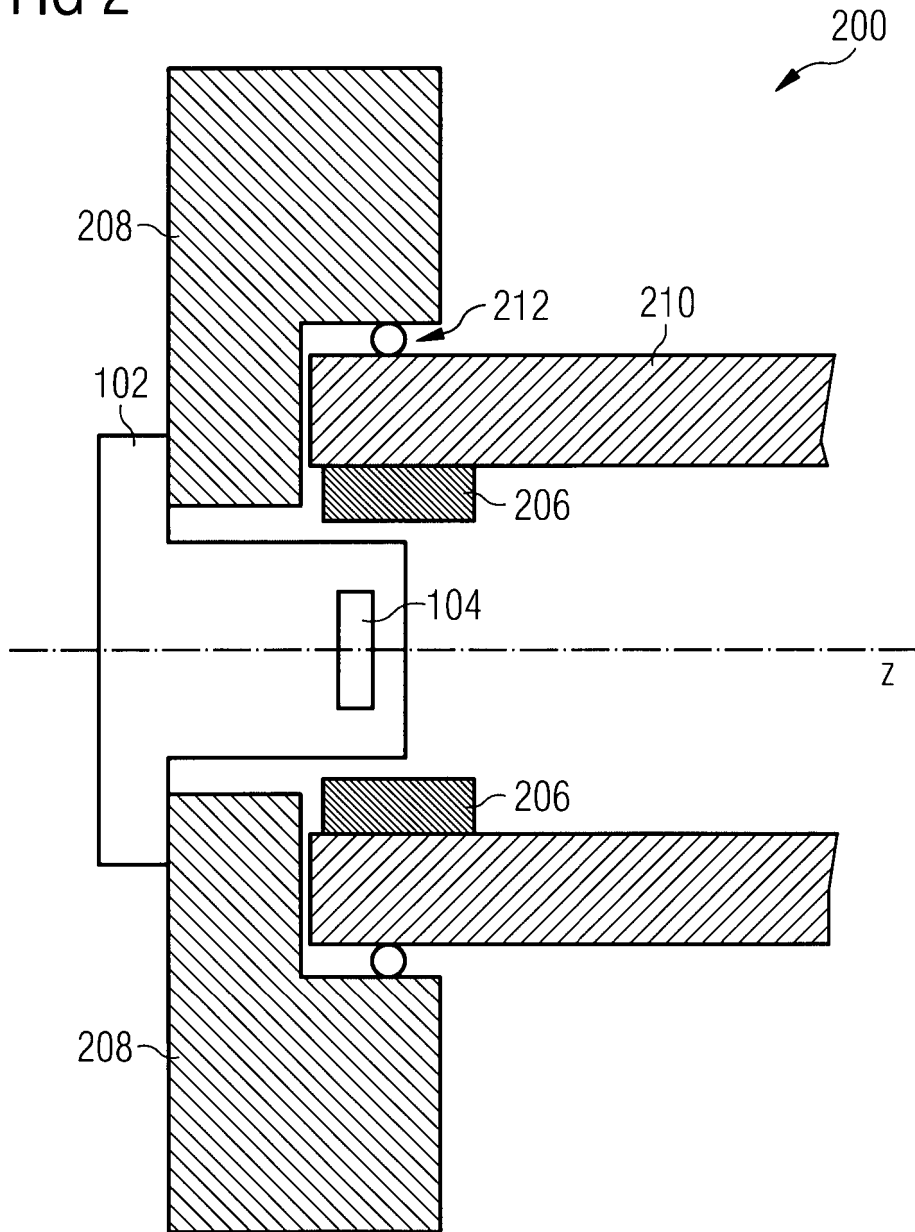


FIG 3

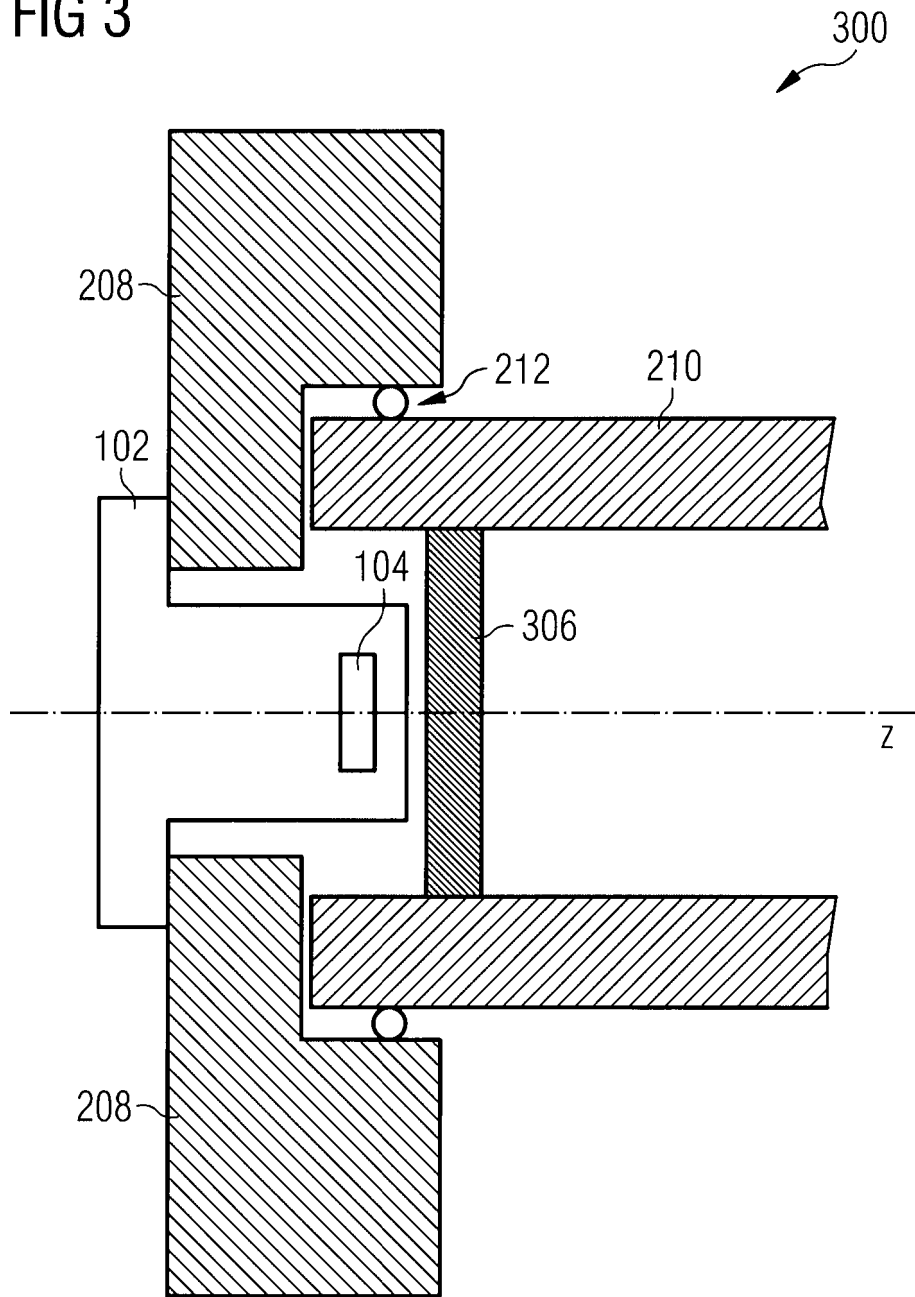


FIG 4

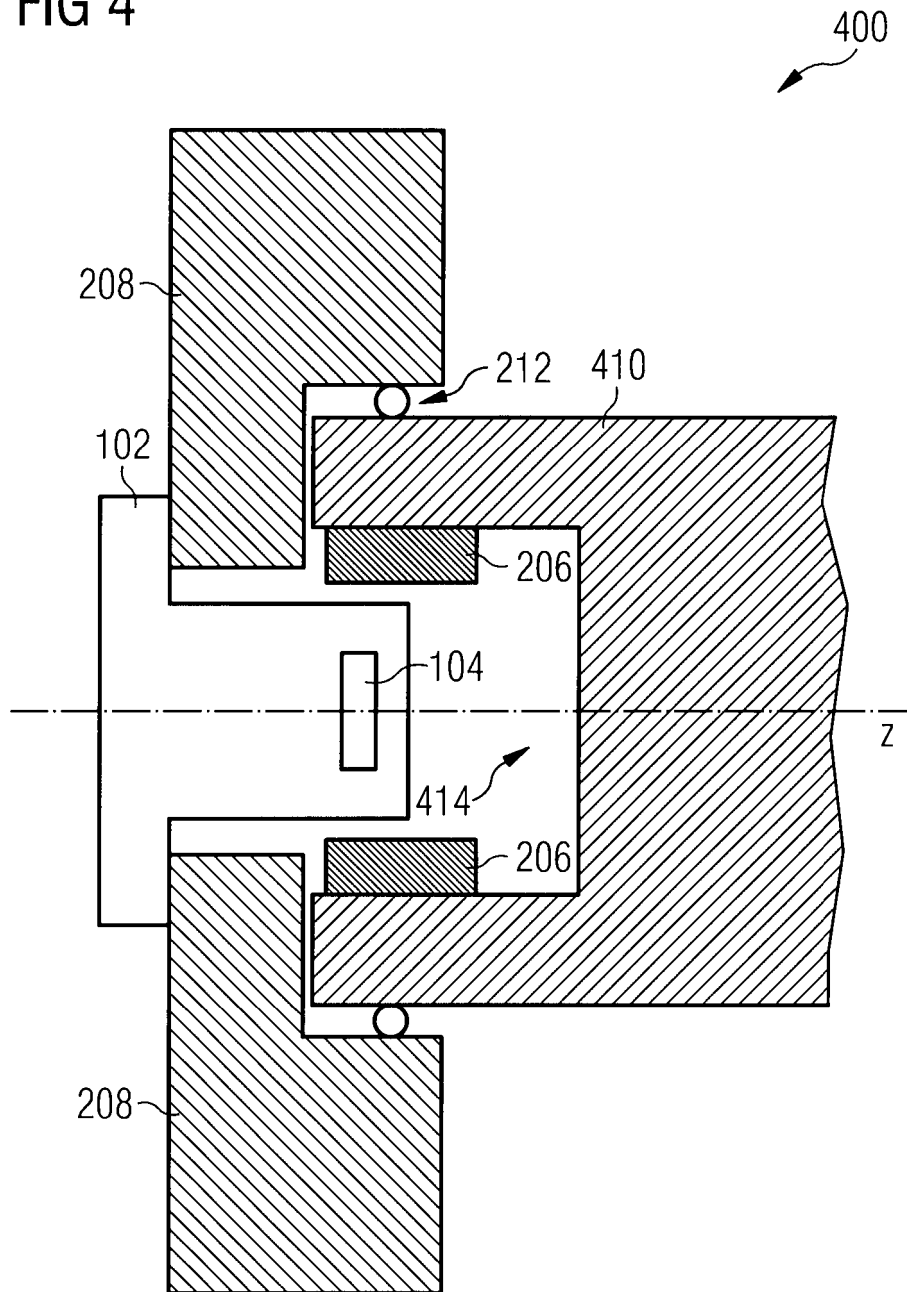


FIG 5

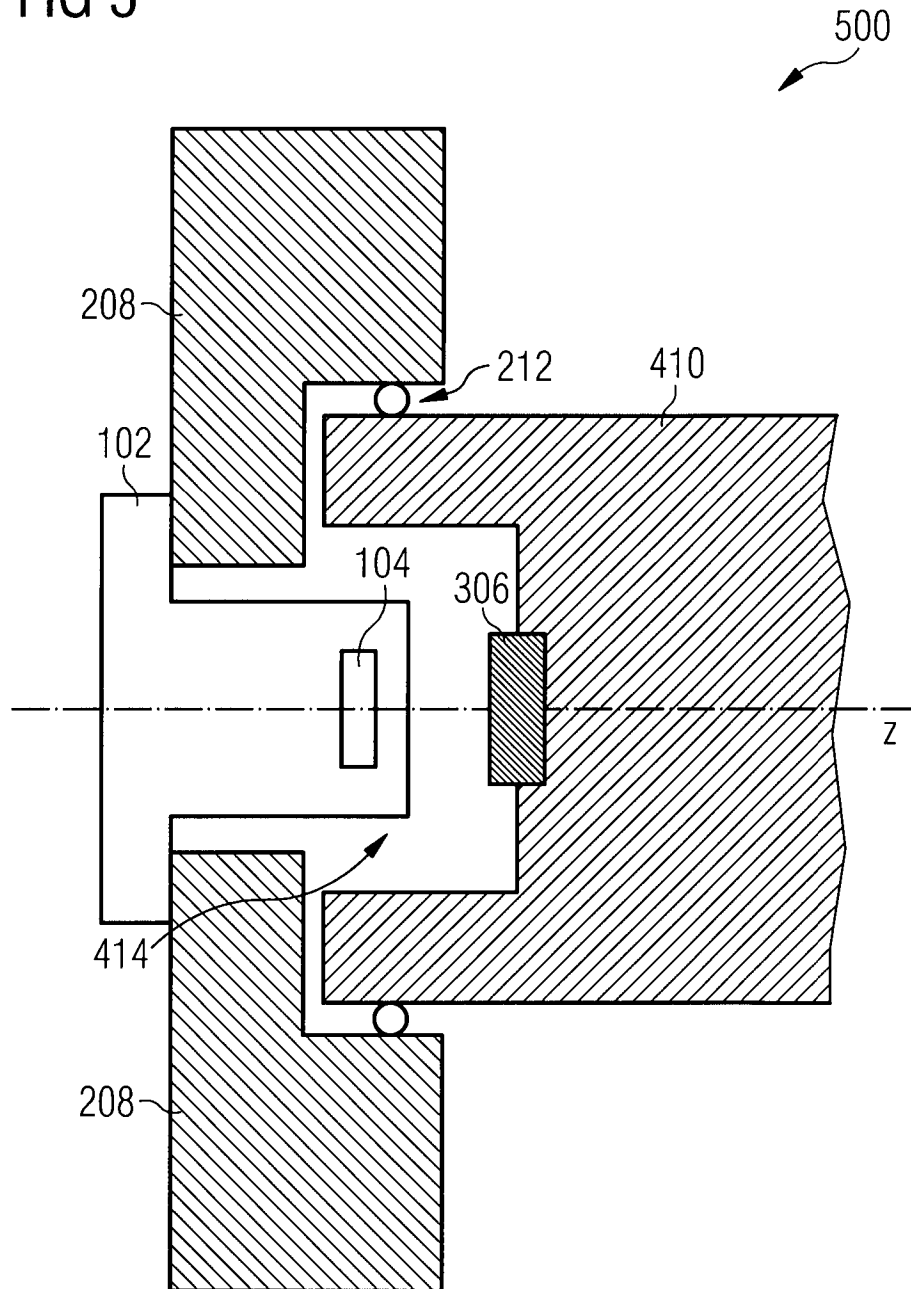


FIG 6

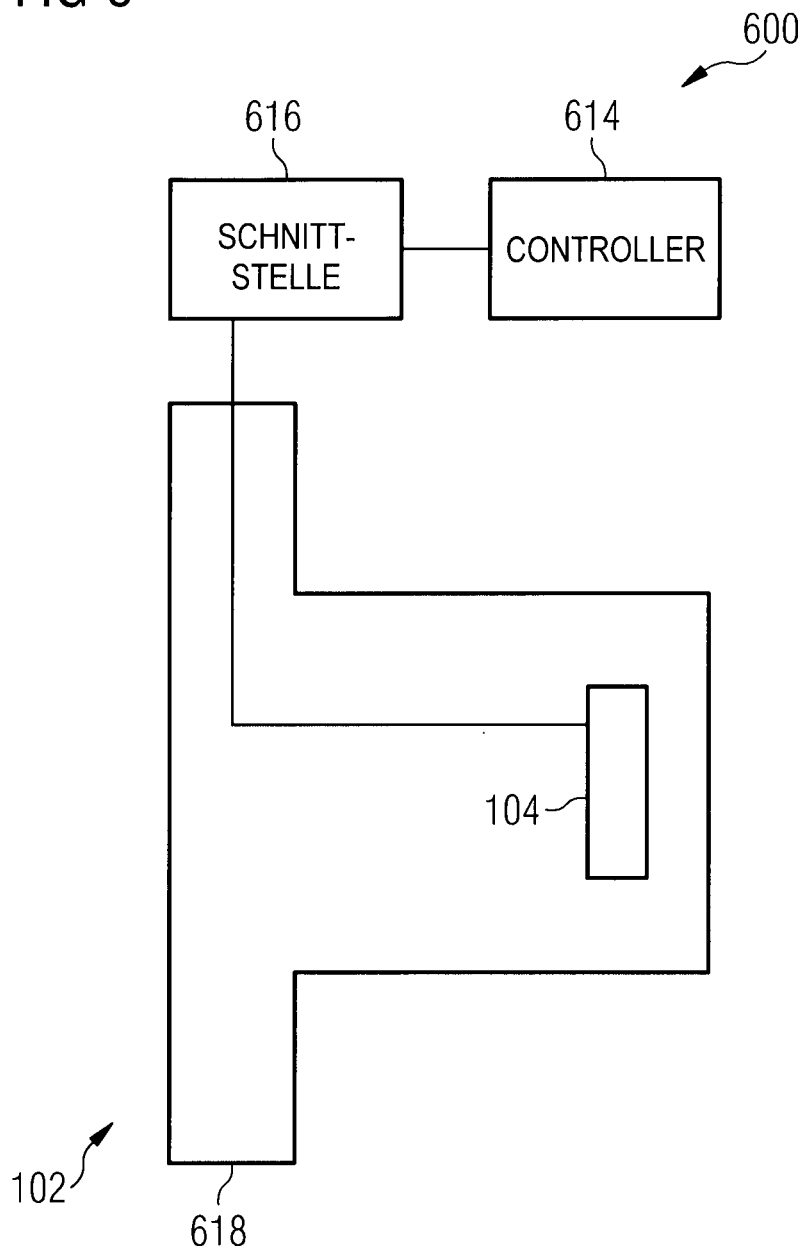




FIG 7

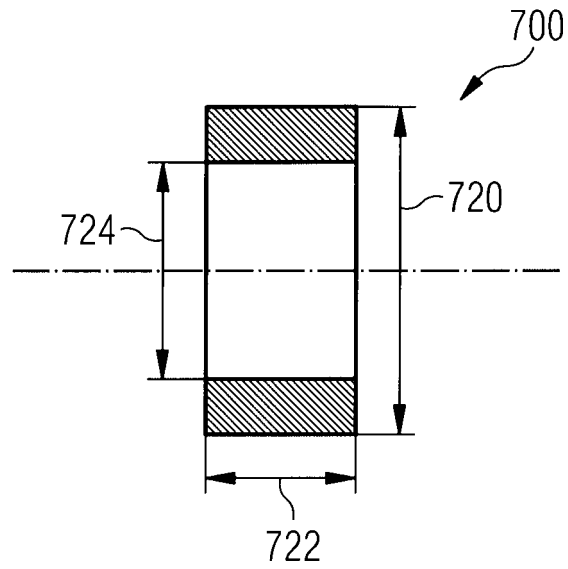


FIG 8

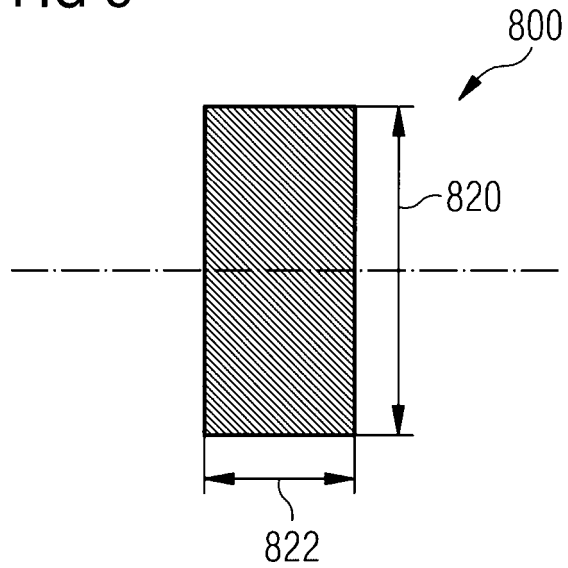


FIG 9

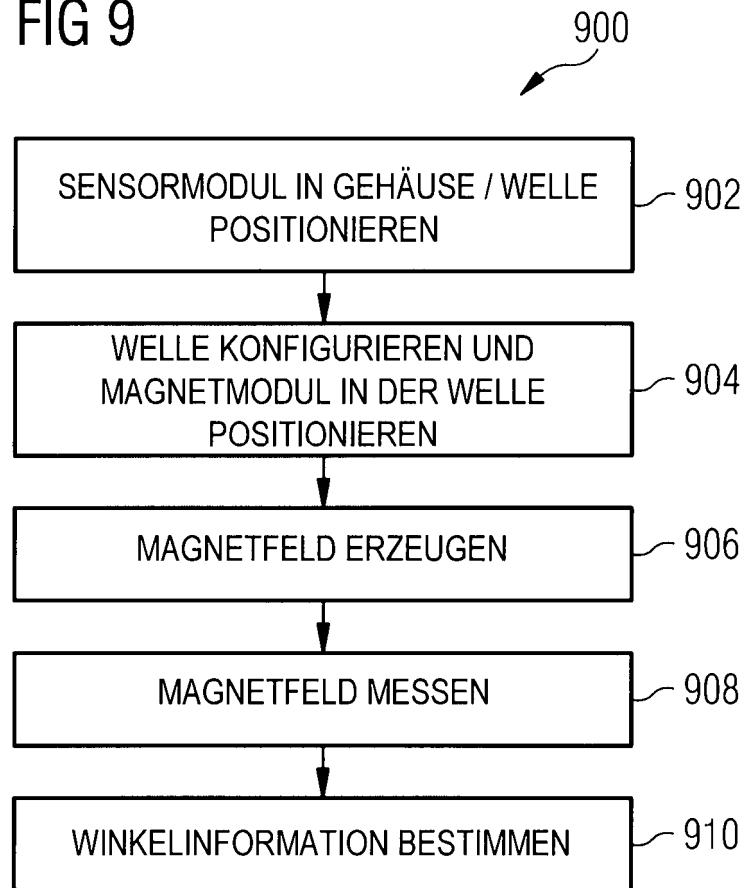


FIG 10

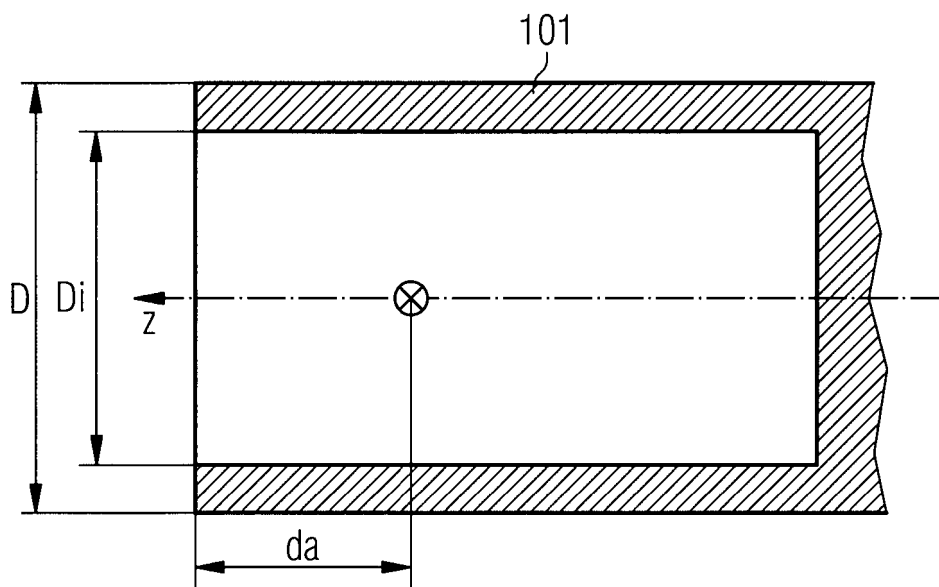


FIG 11A

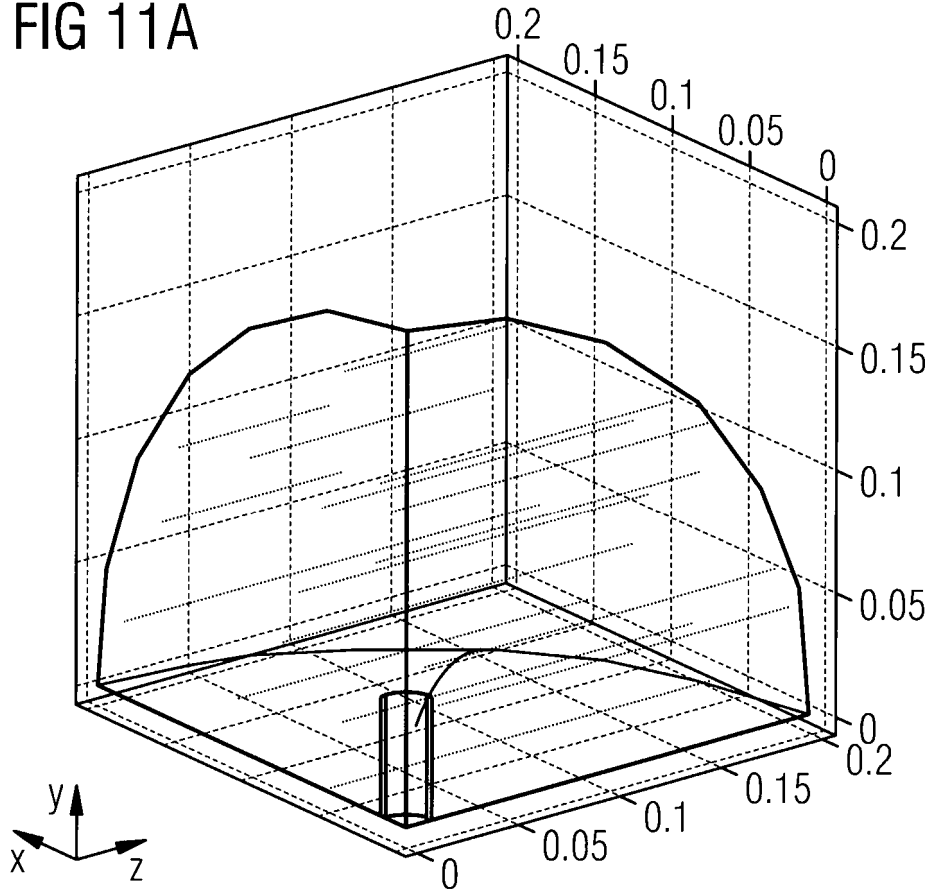


FIG 11B

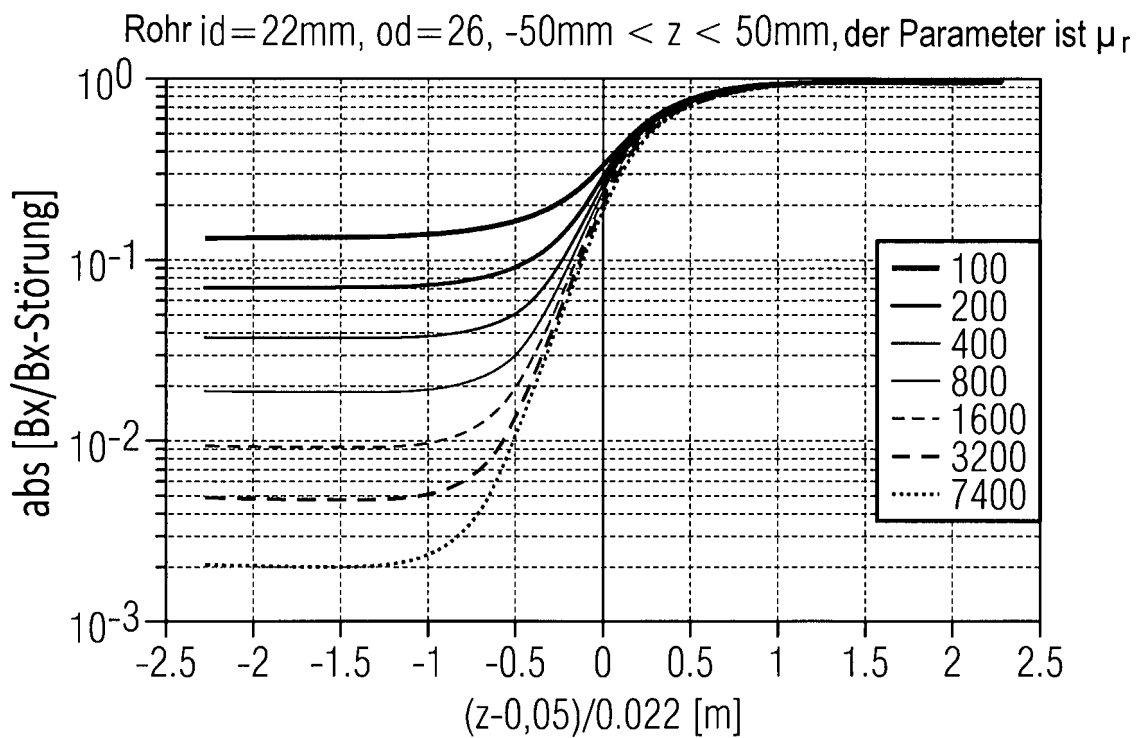


FIG 12

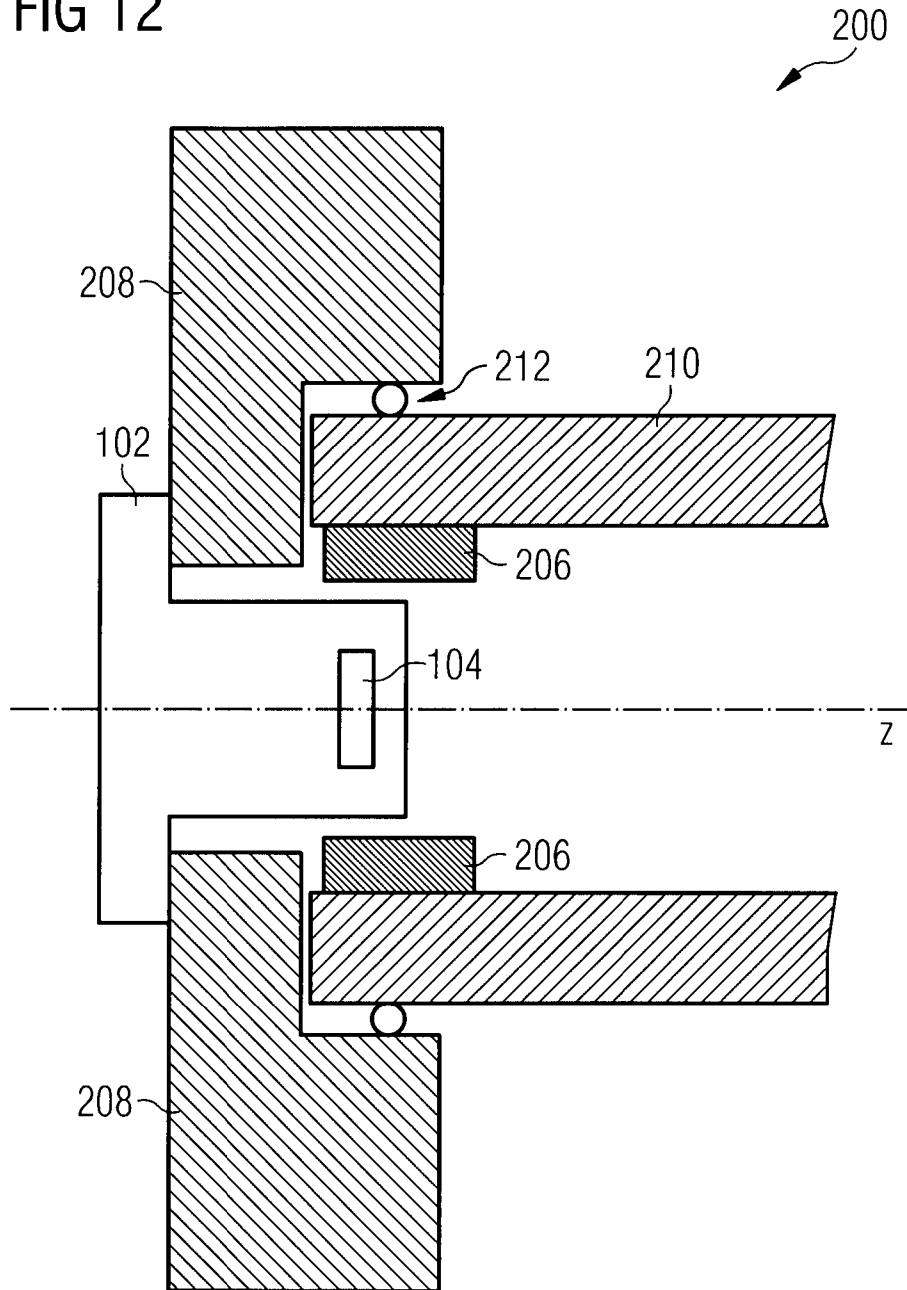


FIG 12A

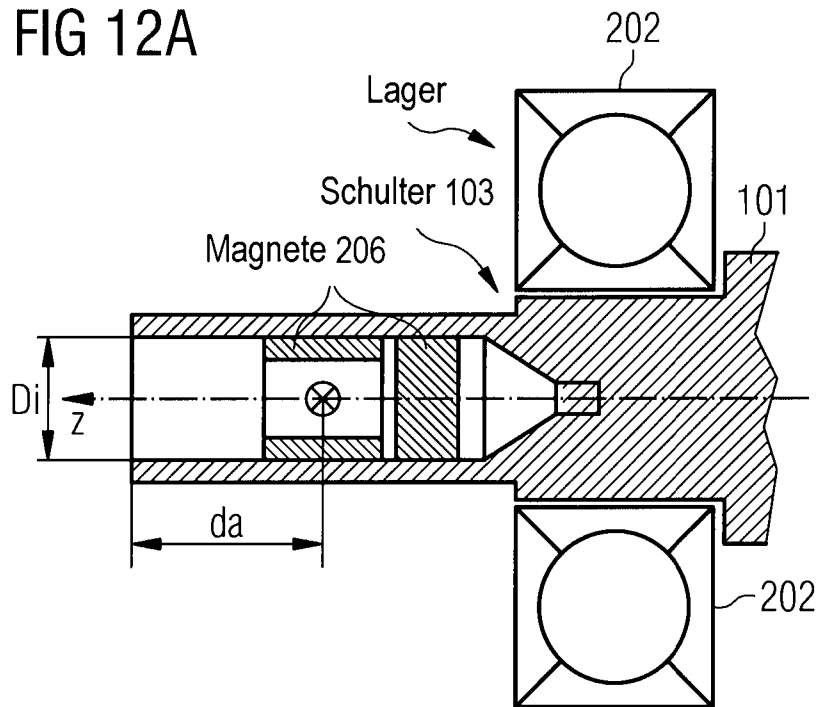


FIG 12B

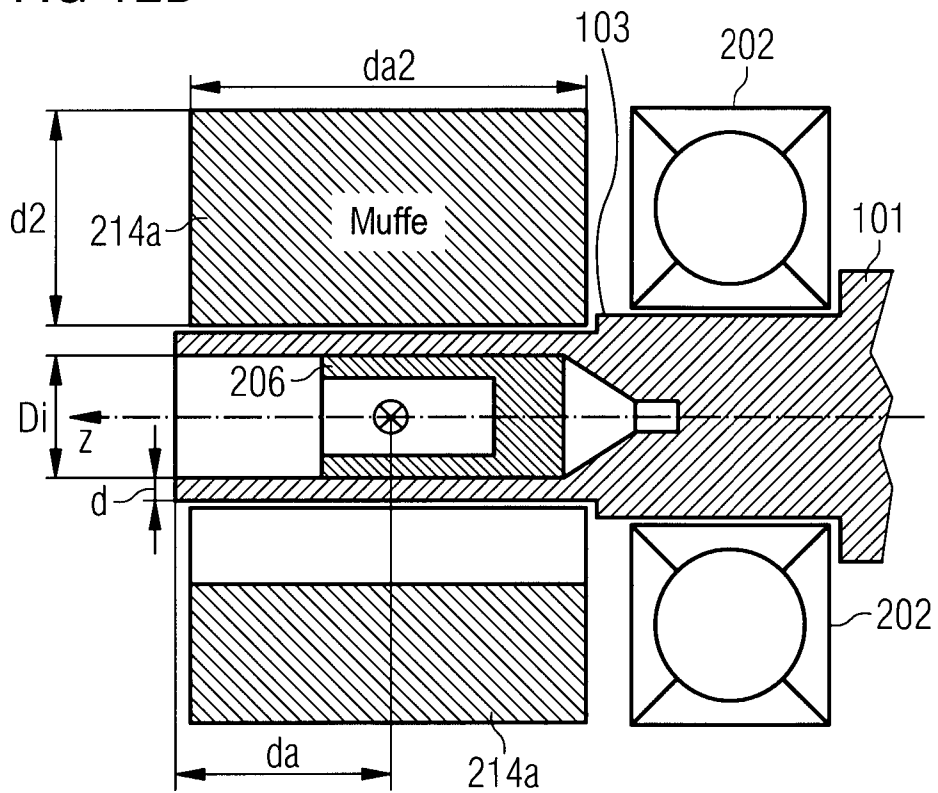


FIG 12C

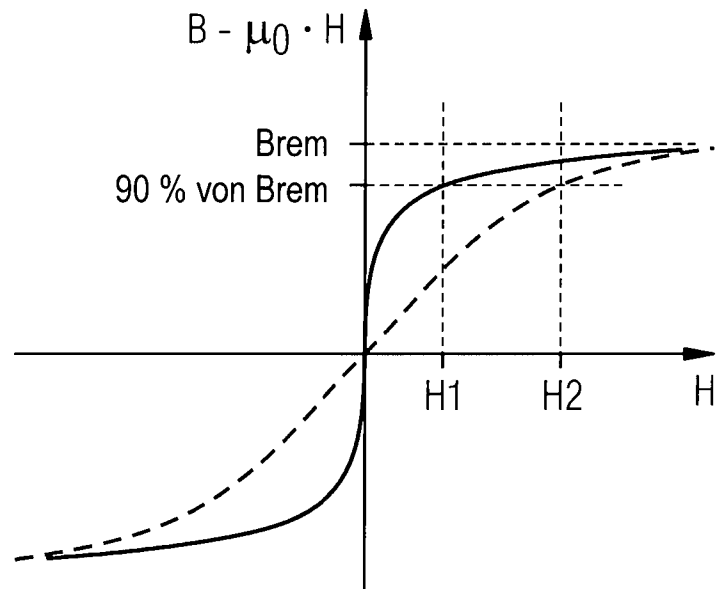


FIG 12D

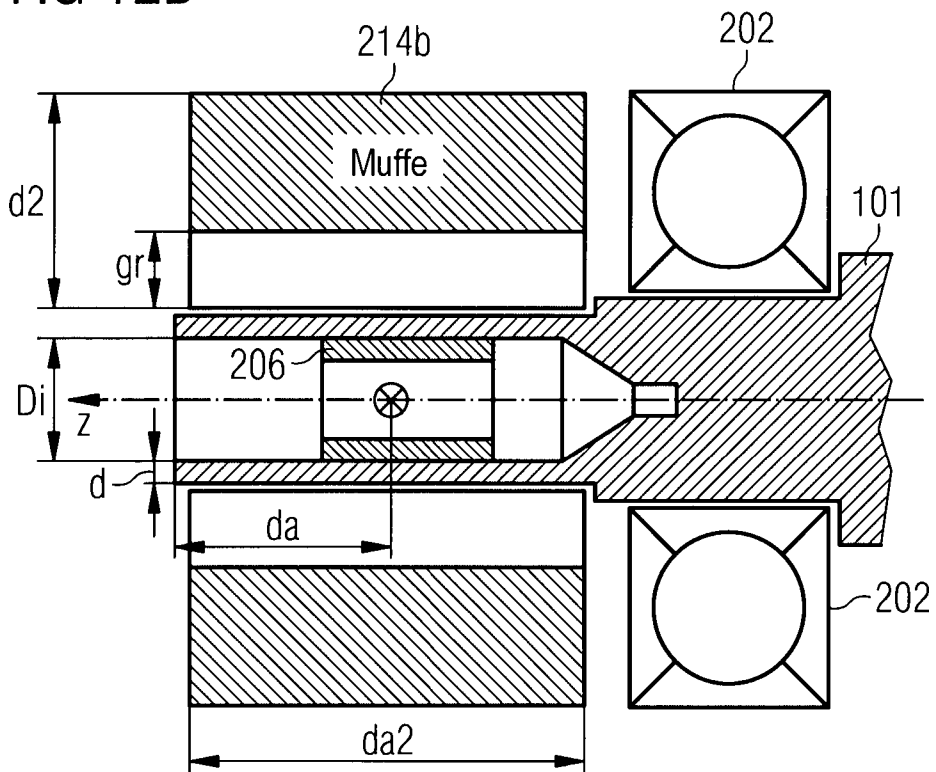


FIG 12E

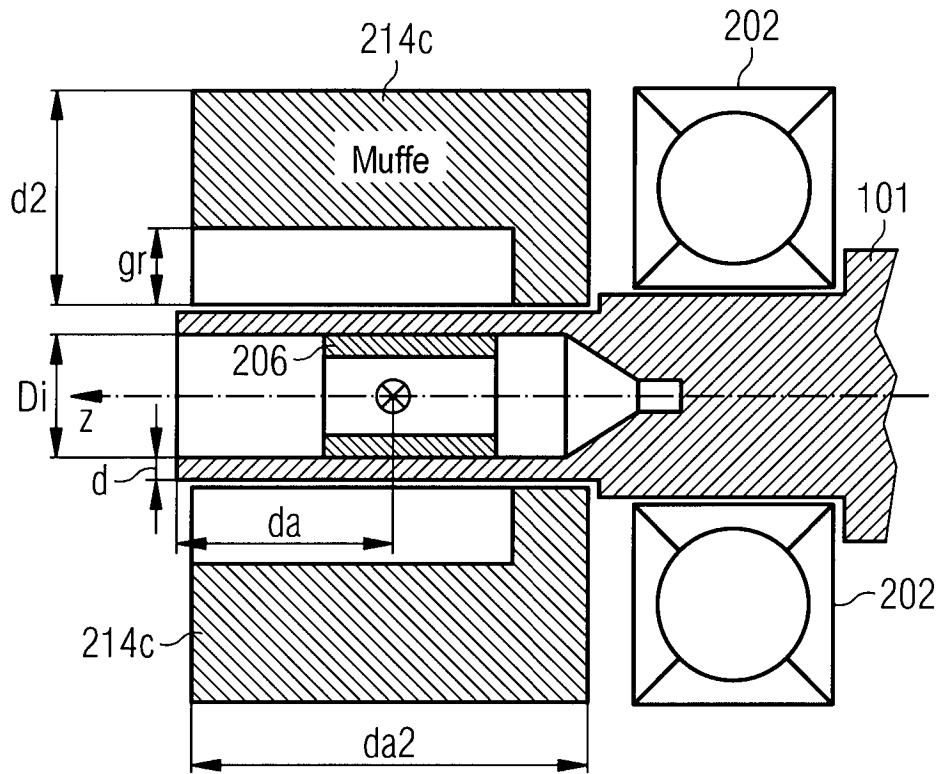


FIG 13

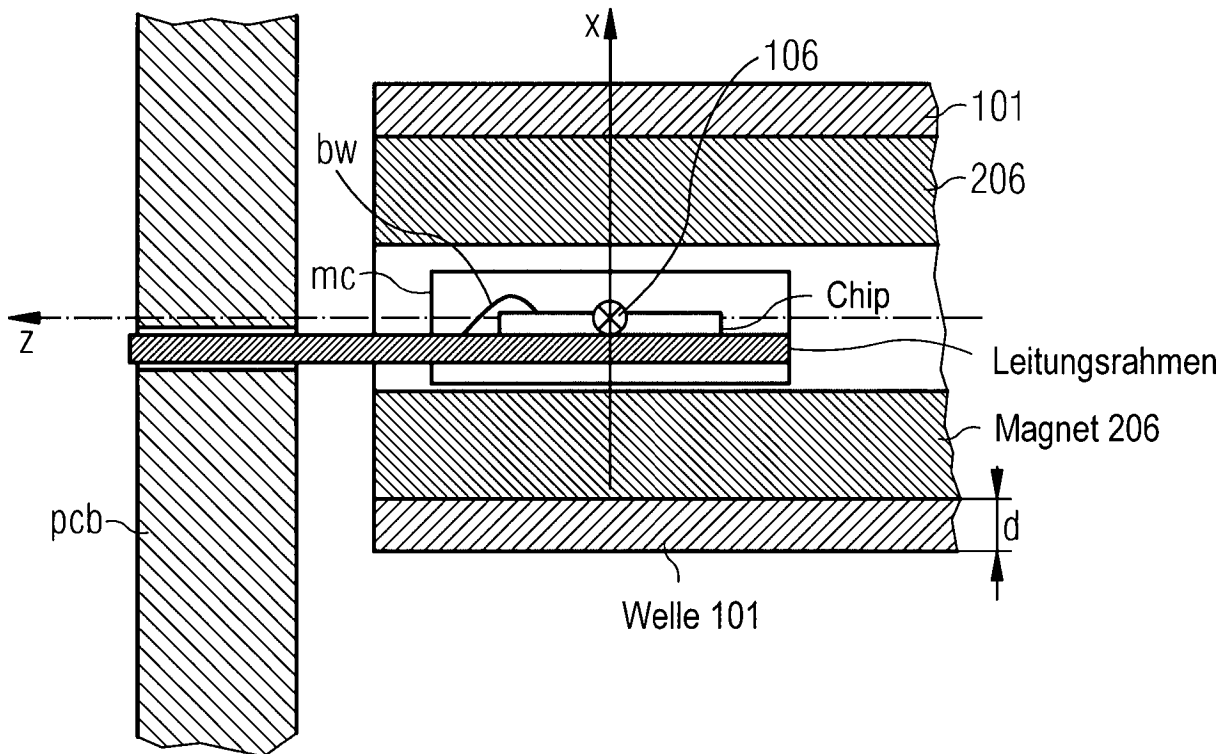


FIG 14A

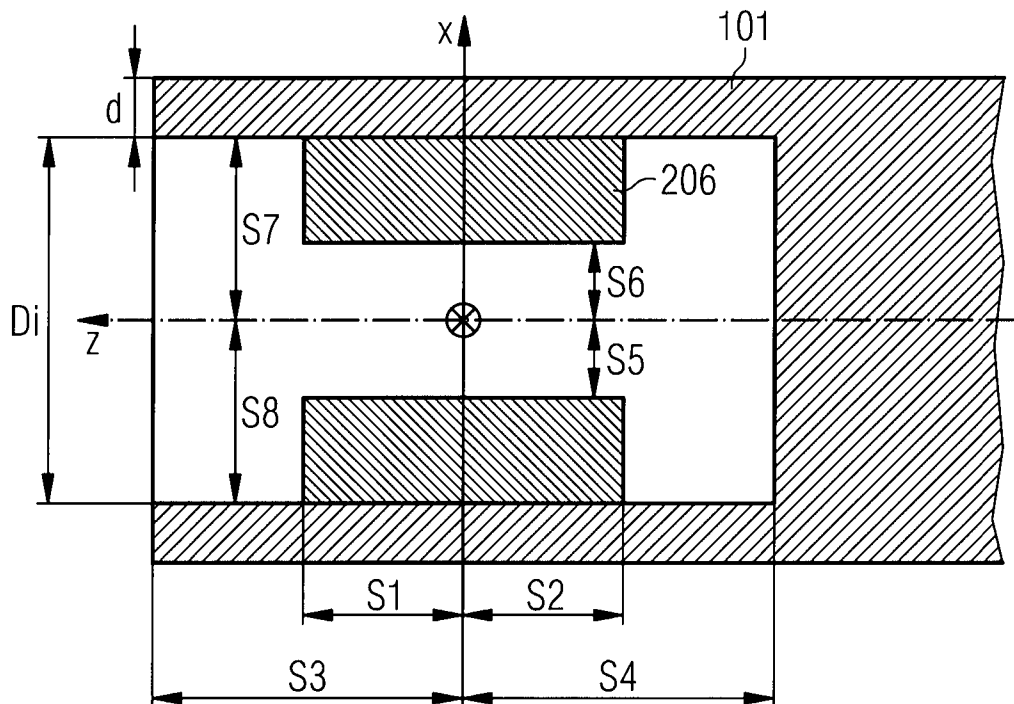


FIG 14B

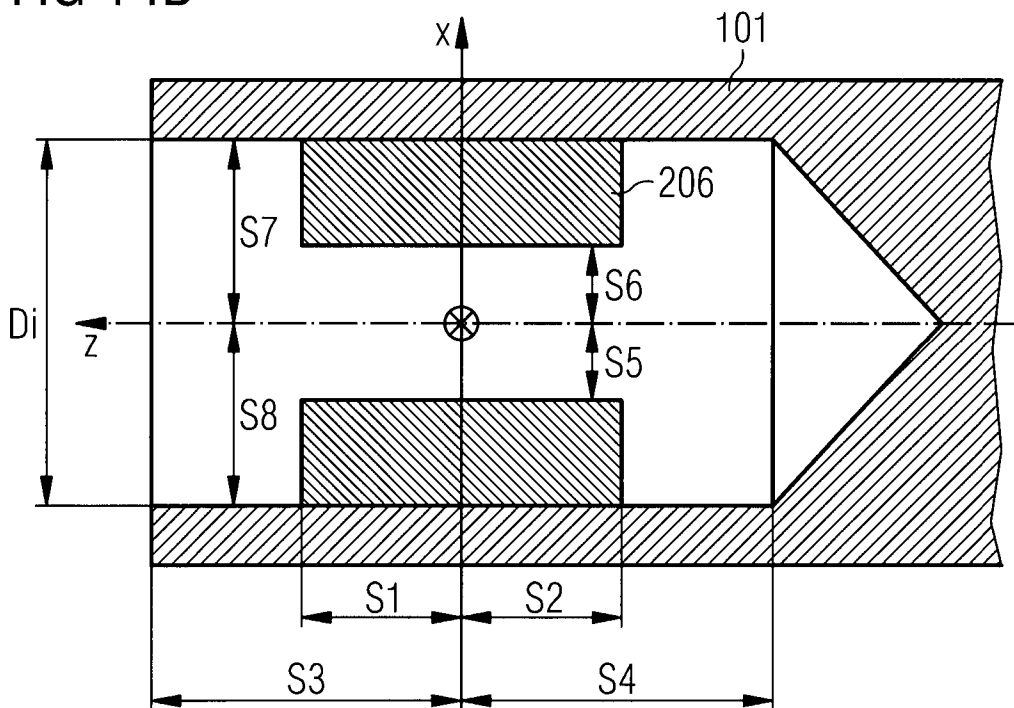




FIG 14C

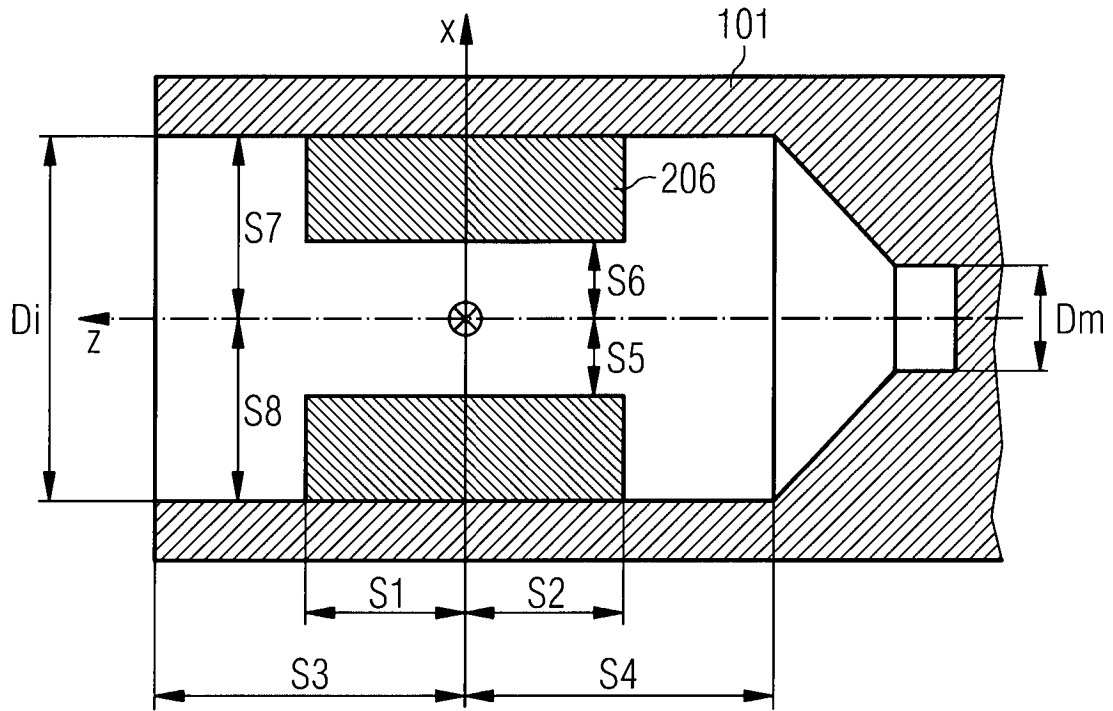


FIG 14D

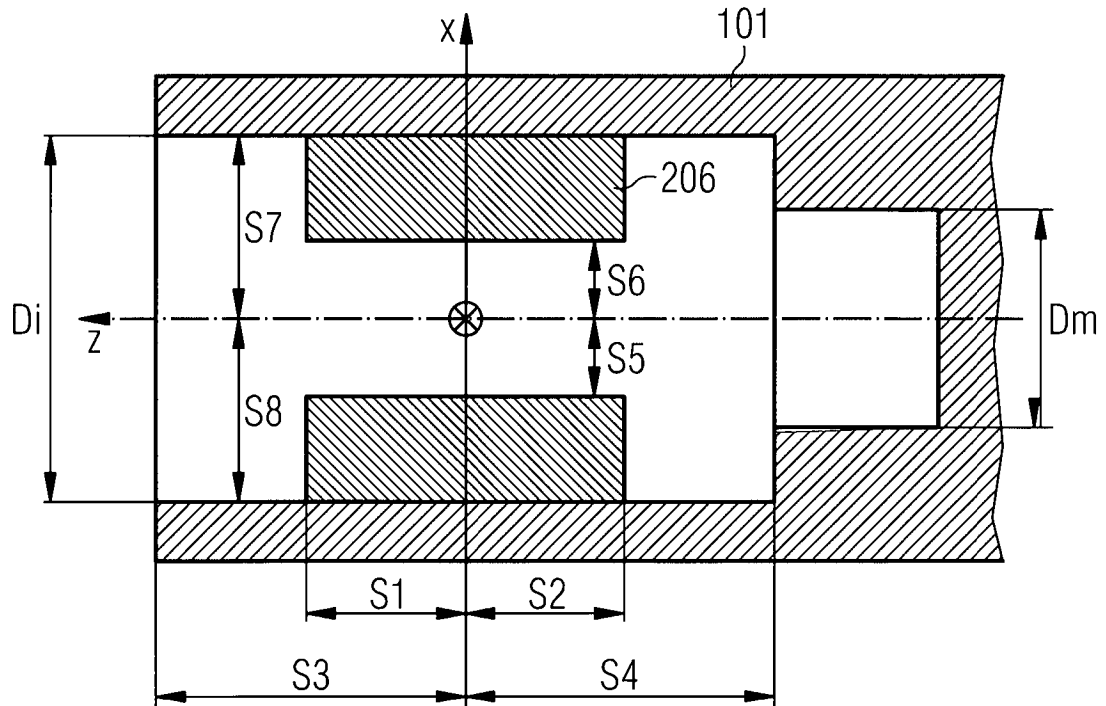


FIG 15A

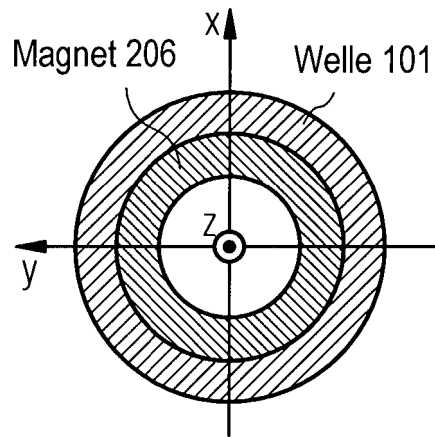


FIG 15B

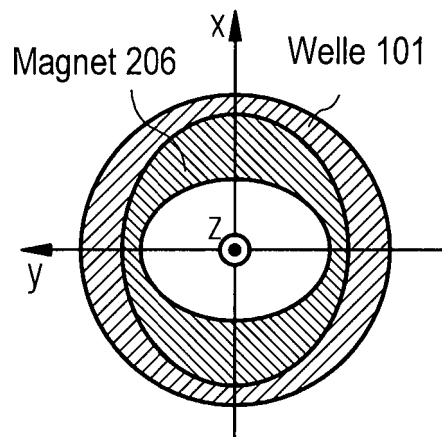


FIG 15C

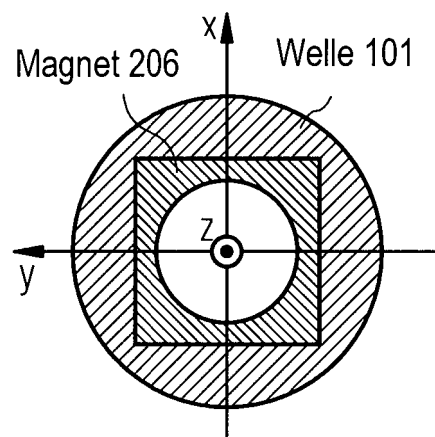


FIG 15D

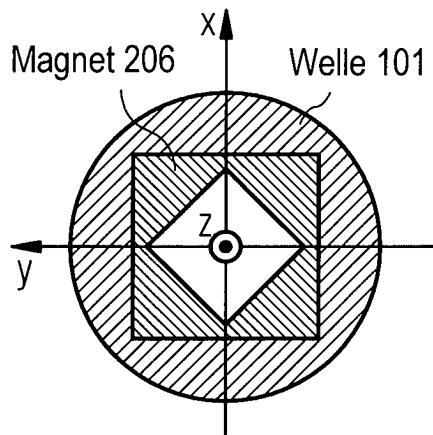


FIG 15E

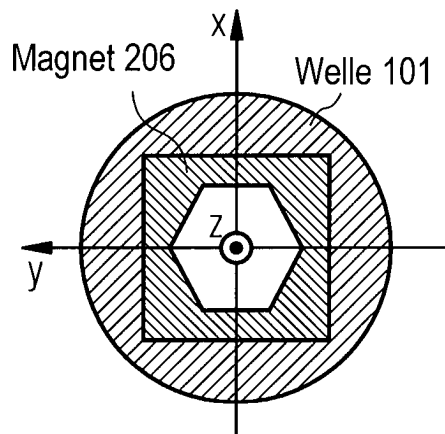


FIG 15F

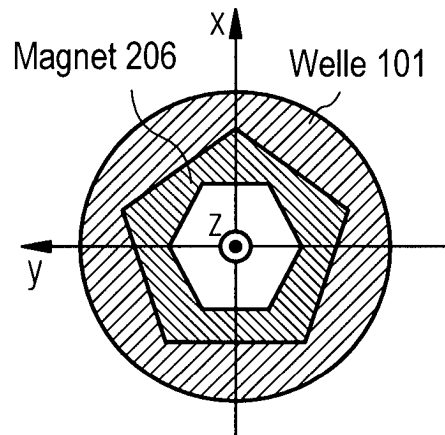


FIG 15G

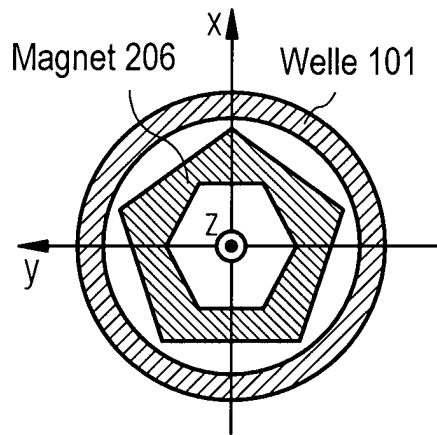


FIG 15H

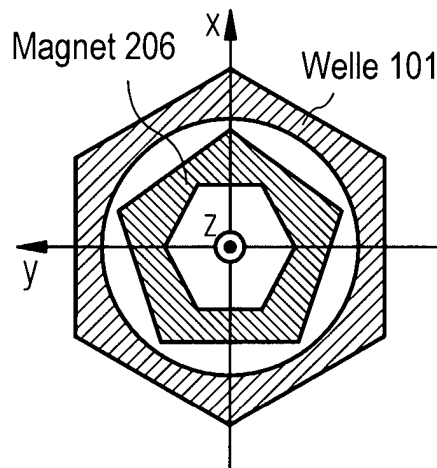


FIG 15I

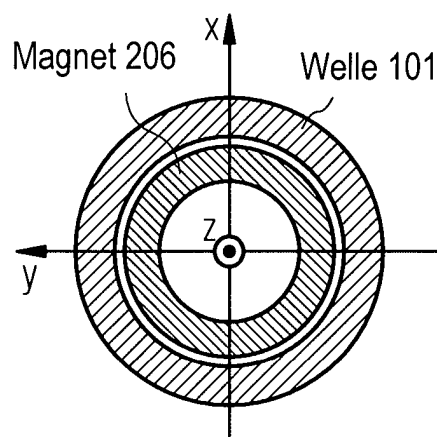


FIG 16

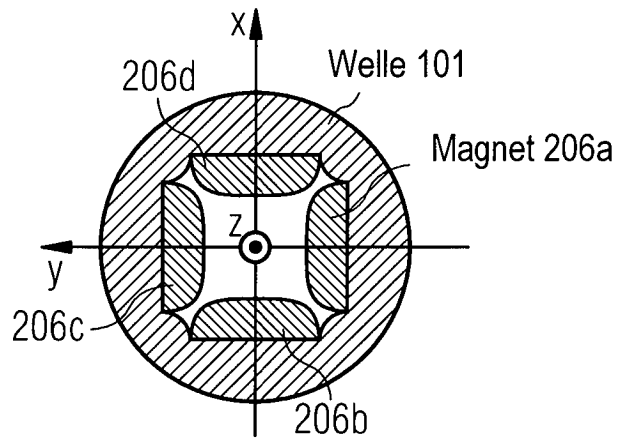


FIG 17

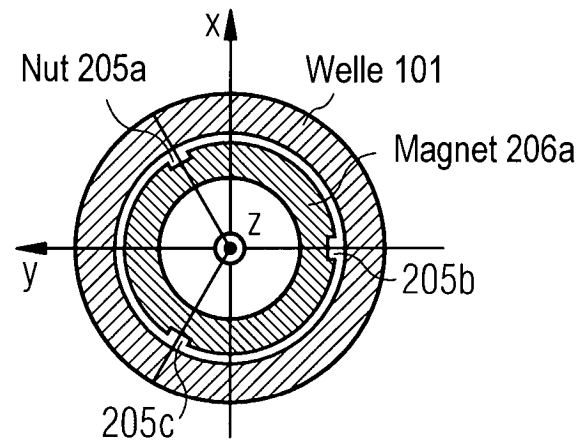


FIG 18

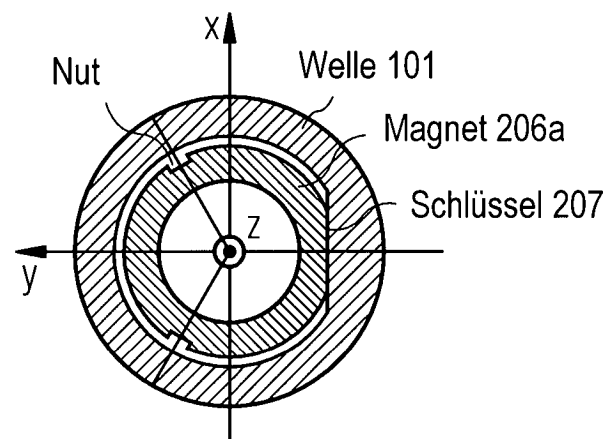


FIG 19A

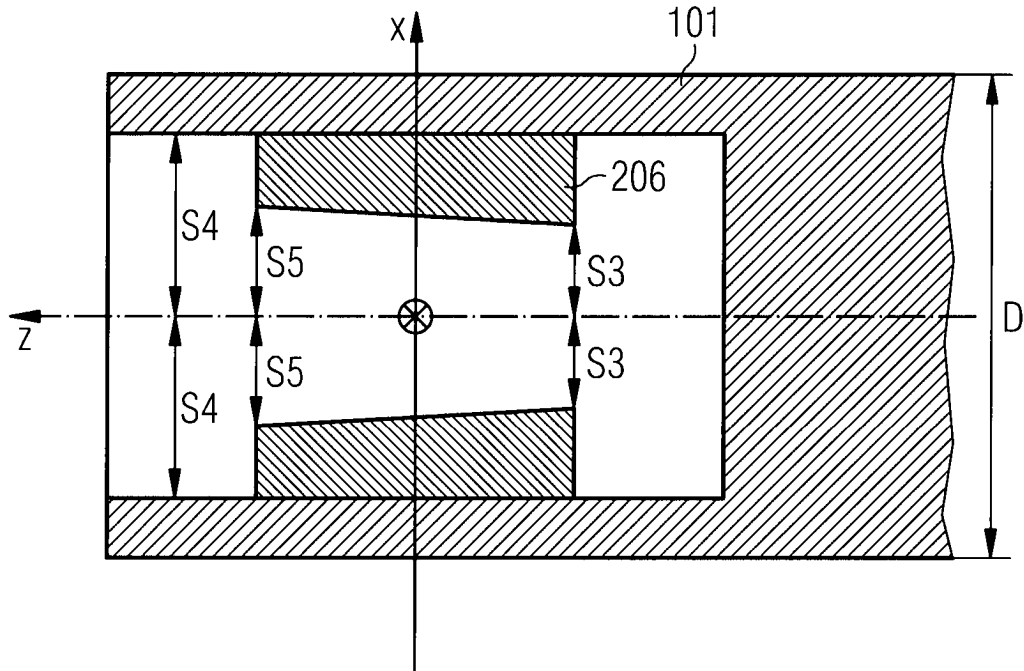


FIG 19B

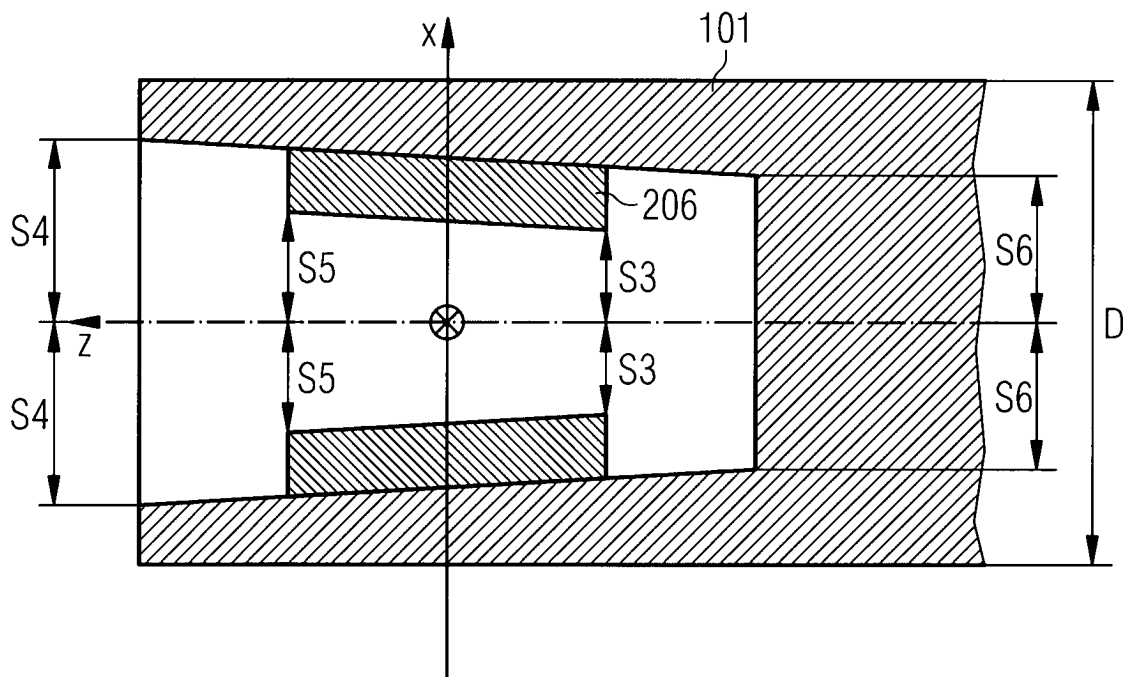


FIG 20

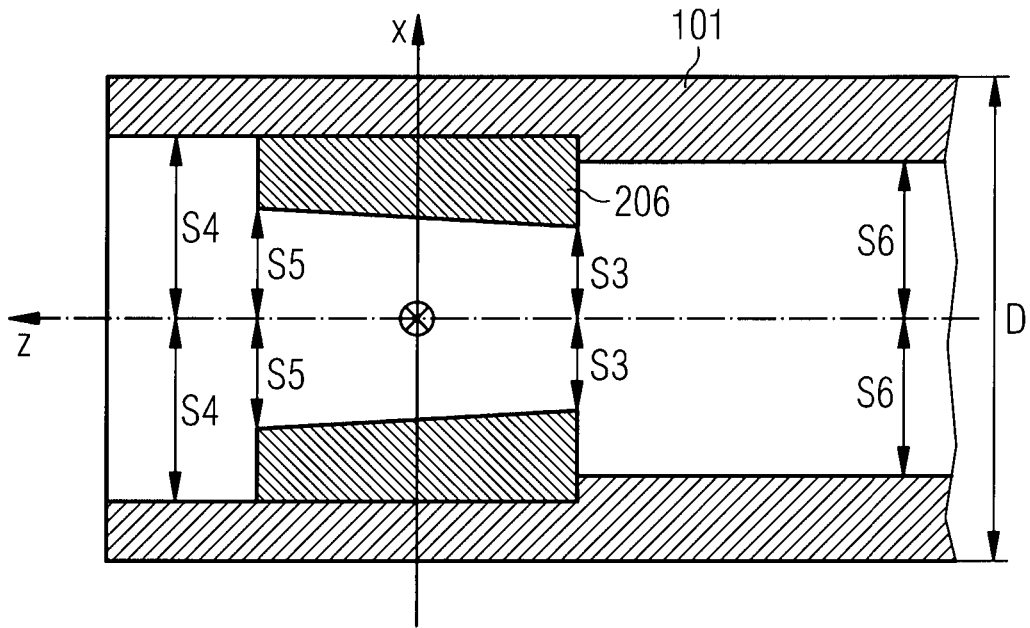


FIG 21A

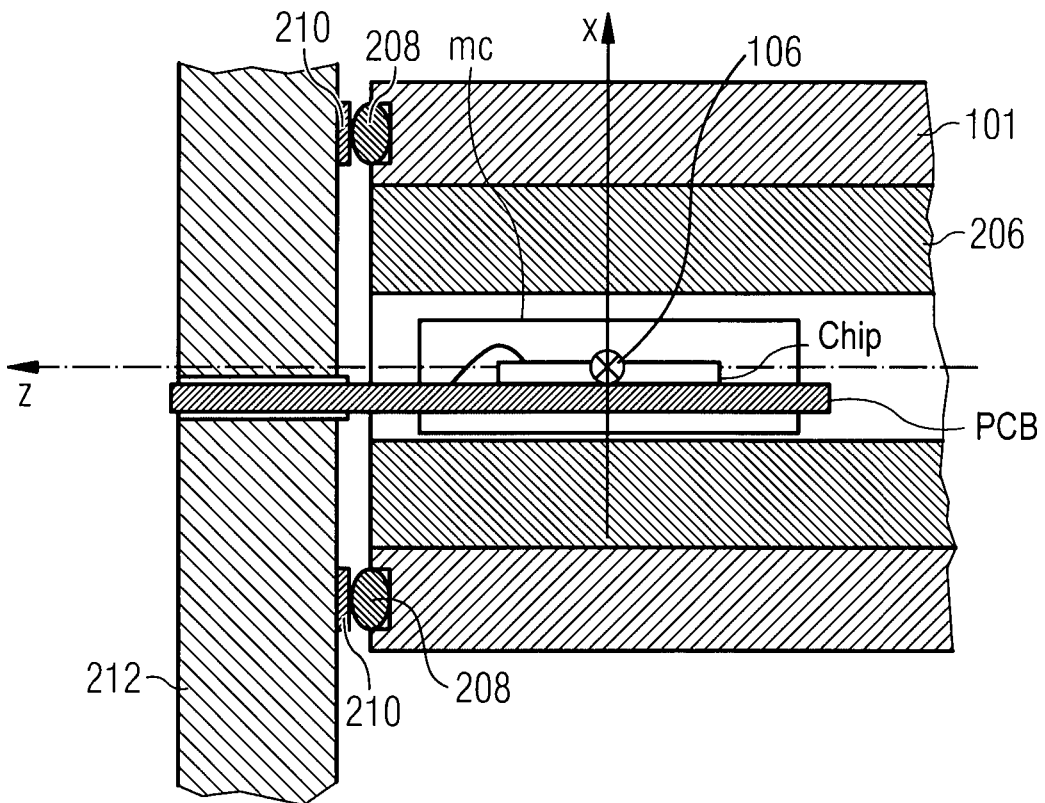


FIG 21B

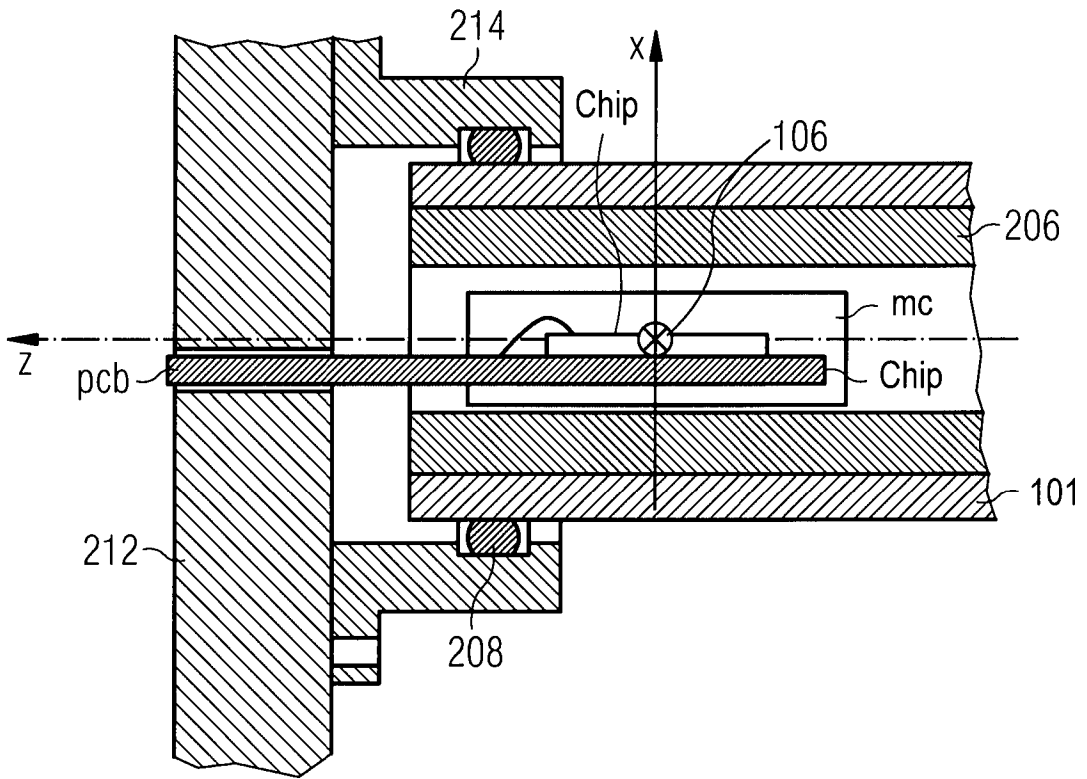


FIG 21C

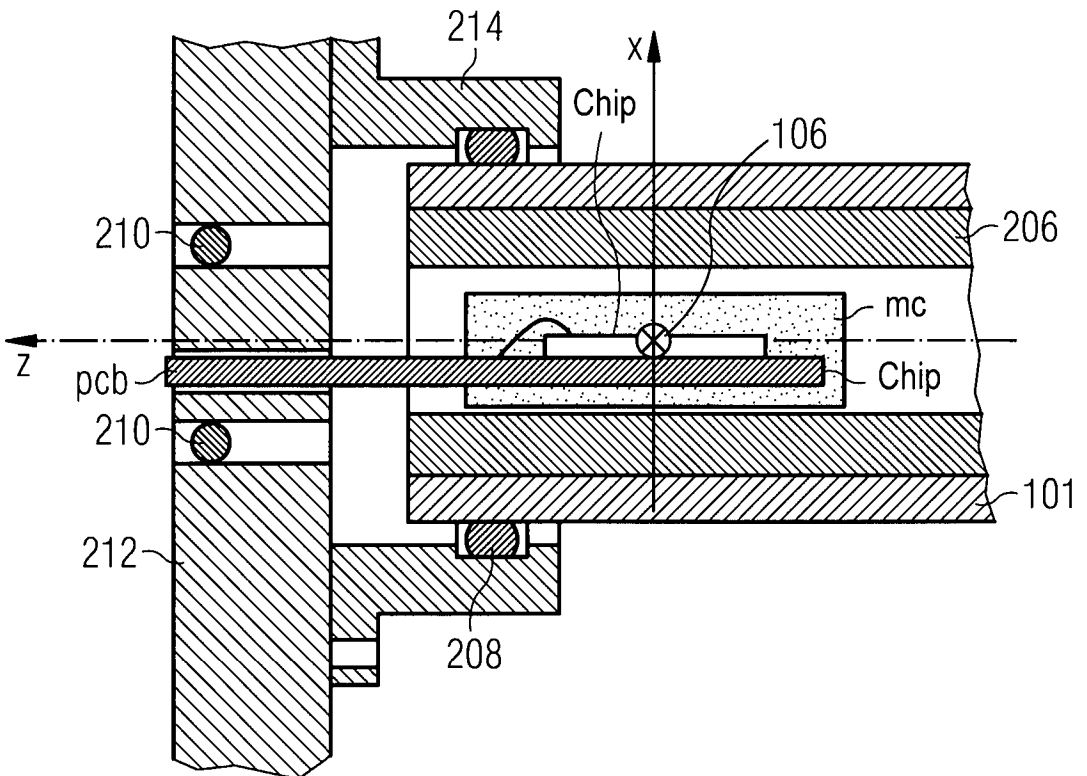




FIG 22A

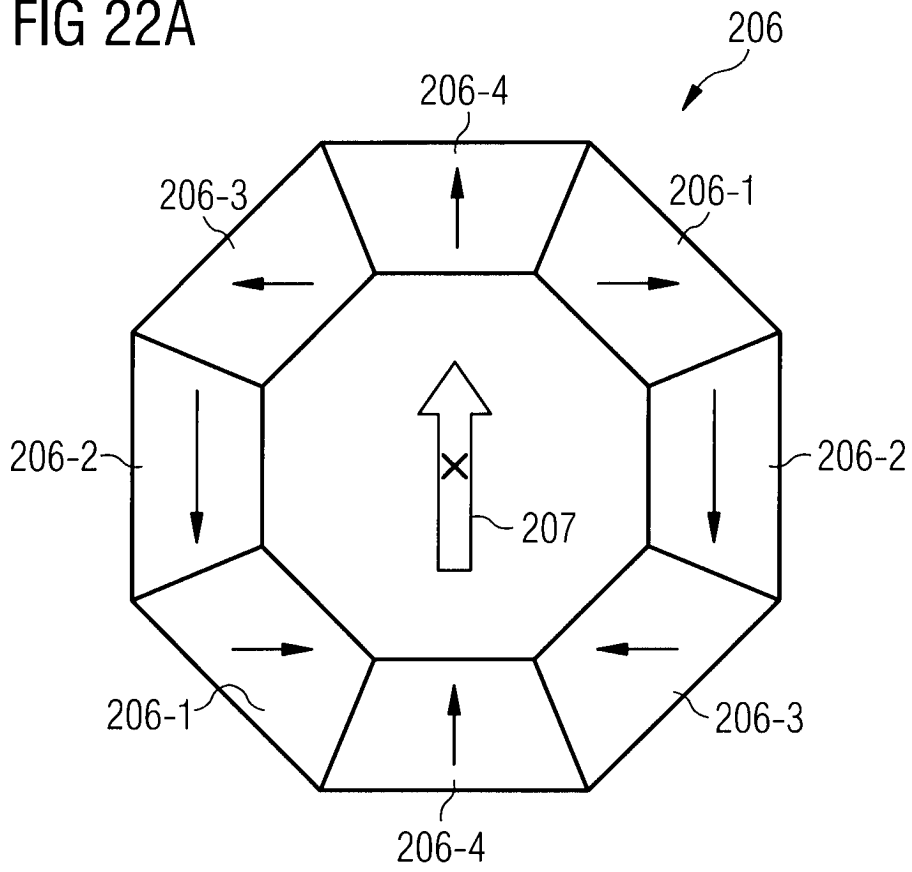


FIG 22B

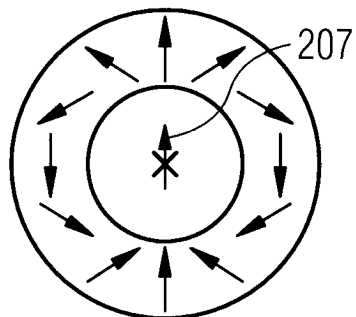


FIG 22C

