



(10) **DE 10 2015 201 014 A1** 2015.08.06

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 201 014.7**

(22) Anmeldetag: **22.01.2015**

(43) Offenlegungstag: **06.08.2015**

(51) Int Cl.: **F16D 23/12** (2006.01)

**F16D 25/08** (2006.01)

**F15B 21/06** (2006.01)

**F15B 15/06** (2006.01)

(66) Innere Priorität:  
**10 2014 201 837.4 03.02.2014**

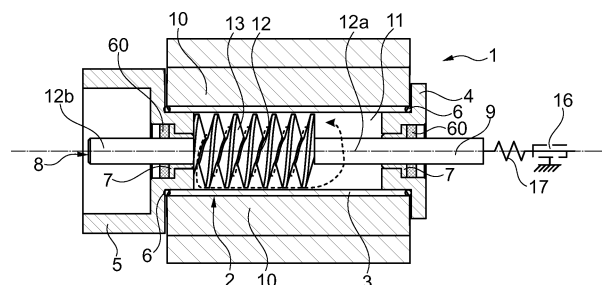
(72) Erfinder:  
**Berthelemy, Pierre-Yves, Souffelweyersheim, FR**

(71) Anmelder:  
**Schaeffler Technologies AG & Co. KG, 91074  
Herzogenaurach, DE**

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

(54) Bezeichnung: **Aktor für Kfz-Kupplung mit Permanentmagnetdichtung und Kupplung mit einem solchen Aktor**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Aktor für eine Kraftfahrzeugkupplung mit einem Raum, in dem eine magnetorheologische Flüssigkeit mit in einer Trägerflüssigkeit dispergierten magnetisch polarisierbaren Partikeln enthalten ist, wobei der Raum von einem Gehäuse und in einer darin rotierenden Spindel, insbesondere Gewindespindel, gebildet ist, wobei zur Abdichtung eines zwischen dem Gehäuse und der Spindel vorliegenden Spalts eine Permanentmagnetdichtung mit einem Magnet, insbesondere Permanentmagnet, und einem Feldführungselement aus einem magnetisierbaren Material genutzt wird, wobei der Permanentmagnet und der Feldführungsring auf einer Seite des abzudichtenden Spalts angeordnet sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Aktor für eine Kraftfahrzeugkupplung mit einem Raum, in dem eine magnetorheologische Flüssigkeit mit in einer Trägerflüssigkeit dispergierten magnetisch polarisierbaren Partikeln enthalten ist, wobei der Raum von einem Gehäuse und in einer darin rotierenden Spindel, insbesondere Gewindespindel, gebildet ist, wobei zur Abdichtung eines zwischen dem Gehäuse und der Spindel vorliegenden Spalts eine Permanentmagnetdichtung mit einem Magnet, insbesondere Permanentmagnet, und einem Feldführungselement aus einem magnetisierbaren Material genutzt wird.

**[0002]** Kupplungen und Aktoren dafür sind beispielsweise im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik bekannt. Bei manuellen Getrieben besteht ein die Kupplung betätigender Aktor meist aus einem hydraulischen System, das direkt durch den Fahrer betätigt wird. Bei automatischen Getrieben oder Hybridantriebssträngen existieren zahlreiche unterschiedliche Betätigungsvorrichtungen oder Aktoren, die in Form von Kombinationen hydraulischer, mechanischer oder elektrischer Systeme realisiert sind.

**[0003]** Aus der EP 1 438 517 B1 ist beispielsweise eine steuerbare Bremse bekannt, umfassend a) einen Rotor, der so ausgebildet ist, dass er auf seinem Umfang einen Arbeitsteil aufweist, der sich parallel zu einer Welle erstreckt, auf der der Rotor gelagert ist; b) eine Welle, auf der der Rotor so angebracht ist, dass eine Relativbewegung zwischen ihr und dem Rotor gehemmt wird; c) ein Gehäuse mit einer ersten Kammer, die den Rotor drehbar aufnimmt und einen Magnetfeldgenerator aufweist, der von dem Rotor mit Abstand getrennt ist und so ausgebildet und angeordnet ist, dass er einen magnetischen Fluss durch ein magnetisch steuerbares Material in einer Richtung lotrecht zu der Welle und zu dem Arbeitsteil des Rotors erzeugt, wobei d) das in der ersten Kammer befindliche magnetisch steuerbare Material mit wenigstens dem Arbeitsteil des Rotors in Berührung steht und die Bremse gekennzeichnet ist durch e) eine aktive Mittenrückföhrvorrichtung in der ersten Kammer, um den Rotor zu veranlassen, in eine relative Mittenposition zurückzukehren.

**[0004]** Aus der EP 2 060 800 B1 ist ein kombinierter Aktor bekannt, aufweisend ein bewegliches Element, einen Antrieb zum Verschieben des beweglichen Elements entlang einem Pfad und eine rheologische Kontrollbremse, die an das bewegliche Element mechanisch gekoppelt ist, um die Verschiebung des beweglichen Elements entlang dem Pfad anzupassen, wobei der kombinierte Aktor dadurch gekennzeichnet ist, dass die rheologische Kontrollbremse mindestens zwei aneinander grenzende Nachstellkammern aufweist, eine magnetorheologische Flüssigkeit, die in den zwei Nachstellkammern enthalten

ist, mindestens einen gleitenden Kolben, der die zwei Nachstellkammern undurchlässig voneinander trennt und mit dem beweglichen Element mechanisch verbunden ist, mindestens ein externes Verbindungsrohr, das die zwei Nachstellkammern wechselseitig verbindet und außerhalb der zwei Nachstellkammern selbst angeordnet ist, und eine antreibende Vorrichtung, die so an das äußere Verbindungsrohr gekoppelt ist, dass sie auf die im äußeren Verbindungsrohr enthaltene rheologische Flüssigkeit ein veränderliches Magnetfeld ausübt, um die Viskosität der rheologischen Flüssigkeit zwischen einem minimalen Wert, bei dem die rheologische Flüssigkeit frei durch das äußere Verbindungsrohr fließen kann, und einem maximalen Wert, bei dem die rheologische Flüssigkeit nicht durch das äußere Verbindungsrohr fließen kann, zu verändern, bei dem die antreibende Vorrichtung einen ferromagnetischen Kern in Form eines offenen Rings mit einer Unterbrechung aufweist, die einen Spalt definiert, in dem das äußere Verbindungsrohr angeordnet ist, mindestens eine Wicklung, die an den ferromagnetischen Kern gekoppelt ist, und einen elektrischen Generator, der an die Wicklung angeschlossen ist, um einen elektrischen Strom von verstellbarer Stärke in der Wicklung zirkulieren zu lassen.

**[0005]** Aus der WO 00/53936 A1 ist eine steuerbare pneumatische Vorrichtung bekannt, umfassend ein pneumatisches System beinhaltend einen pneumatischen Aktor mit einem Gehäuse, einem darin angeordneten und aufgrund einer auf diesen wirkenden Druckdifferenz beweglichen Kolben und wenigstens ein Ausgabeelement verbunden mit dem Kolben, und eine drehwirkende steuerbare Bremse, beinhaltend ein auf ein Feld ansprechendes Medium, wobei die drehwirkend steuerbare Bremse eine mit dem Ausgabeelement verbundene Achse beinhaltet, um dessen Bewegung zu steuern.

**[0006]** Es sind MRF-Kupplungen bekannt, bei denen eine magnetorheologische Flüssigkeit (MRF) als direktes Kupplungsmedium dient. Als magnetorheologische Flüssigkeit (MRF) bezeichnet man eine Suspension von magnetisch polarisierbaren Partikeln (z.B. Carbonyleisenpulver), die in einer Trägerflüssigkeit fein verteilt sind. Ein Beispiel für eine solche Kupplung ist in der DE 197 08 399 A1 offenbart. Diese Offenlegung beschreibt eine magnetorheologische Kupplung mit in Umfangsrichtung umlaufenden elektrischen Spulen zur Magnetfelderzeugung, einer magnetorheologischen Flüssigkeit als Übertragungselement zwischen Antriebselement und Abtriebselement, sowie einem Element zum Halten der magnetorheologischen Flüssigkeit in den Übertragungsspalten im gesamten Drehzahlbereich und im Stillstand, wobei das Element von einer magnetisch wirkenden Abdichtung bestehend aus einem Permanentmagnetring und einem Feldführungsring gebildet wird, die ihrerseits einen Spalt bildend, rotationssym-

metrisch und relativ gegeneinander drehbar um die Kupplungsachse angeordnet sind, wobei entlang des Spaltes die magnetische Feldstärke mit wachsender Entfernung vom abzudichtenden Bauraum abnimmt und der Spaltabstand so bemessen ist, dass die erzeugte magnetische Kraft die auf die magnetorheologische Flüssigkeit wirkenden Zentrifugal-, Gewicht- und Oberflächenspannungskräfte kompensiert. Eine solche Abdichtung ist für Abdichtungen eines eine MRF enthaltenden Raums gegenüber einer rotierenden Spindel nicht oder nur bedingt geeignet.

**[0007]** Ausgehend von dem vorgenannten Stand der Technik ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Aktor mit verbesserter Abdichtung eines eine MRF enthaltenden Raums bereitzustellen, der die vorgenannten Nachteile nicht aufweist und eine möglichst einfache und kompakte Konstruktion besitzt.

**[0008]** Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Aktor erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Permanentmagnet und der Feldführungsring auf einer Seite des abzudichtenden Spalts angeordnet sind. Dabei sind die Spindel und das den Raum mit der MRF umgebende Gehäuse vorzugsweise nicht magnetisch. Es entsteht daher ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien vom Magneten bogenförmig zum Feldführungsring verlaufen und dabei den abzudichtenden Spalt queren. In diesem magnetischen Feld reichern sich die in der MRF enthaltenen Partikel an und bilden in Richtung der Feldlinien ausgerichtete Ketten. Infolge des im Spalt wirkenden magnetischen Felds werden die Partikel durch das Feld quasi eingefangen, können nicht durch den Spalt entweichen und bilden eine Dichtung zwischen Gehäuse und Spindel für weitere Partikel sowie die Trägerflüssigkeit der MRF aus. Die Erfindung ist daher in einer Kupplung etwa nach Art einer „normally closed“-Kupplung einsetzbar. Natürlich ist der Einsatz bei einer „normally open“ Kupplung genauso denkbar.

**[0009]** Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beansprucht und werden nachfolgend näher erläutert.

**[0010]** So sind bevorzugterweise der Magnet und der Feldführungsring gegenüber der Spindel, also im oder am Gehäuse angeordnet. Die Feldlinien des magnetischen Felds queren dann ausgehend vom Magneten in einem bestimmten Abschnitt den abzudichtenden Spalt in Richtung der Spindel, verlaufen im Bereich der Spindel bogenförmig um ca. 180° und queren den Spalt abermals in Richtung des Feldführungsringes.

**[0011]** Bei einer Ausführungsform kann sowohl der Magnet als auch das Feldführungselement konzentrisch außerhalb des die magnetorheologische Flüssigkeit enthaltenden Raums angeordnet sein.

**[0012]** Bei einer weiteren Ausführungsform kann die Permanentmagnetdichtung durch eine Wellendichtung, insbesondere Wellendichtring, Lippendichtung, Radialwellendichtring oder Axialwellendichtring ergänzt sein, die auf der von dem die magnetorheologische Flüssigkeit enthaltenden Raum abgewandten Seite der Permanentdichtung angeordnet ist.

**[0013]** Eine derartige Abdichtung ist bei einem Aktor, der auf einer Verwendung einer MRF beruht, besonders vorteilhaft, die in Kombination mit einem Gewinde, insbesondere einer Gewindespindel oder -hülse, wirkt oder arbeitet. Dabei wird die MRF in einer innovativen Art verwendet. Sie wird nämlich anders als bekannt nicht direkt als Arbeitsmedium, z.B. Kupplungsfluid oder Bremsfluid, benutzt. Stattdessen wird sie genutzt, um eine Bewegung eines mit dem Gewinde zusammenwirkenden Stellgliedes für die zu betätigende Einheit zu bewirken. Beispielsweise wird das Prinzip einer Archimedischen Schraube oder Schnecke mit den im Nachfolgenden genauer beschriebenen Eigenschaften einer MRF unter einem Magnetfeld kombiniert, um eine Umsetzung einer Drehbewegung des mit dem Gewinde wirkverbundenen Stellgliedes in eine Axialbewegung des Stellgliedes zu ermöglichen. Ein weiterer Aspekt ist, dass Energie, die zur Betätigung der mittels des Aktors bedienten Einheit erforderlich ist, als kinetische Energie im Aktor selbst gespeichert sein kann. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung ist, dass eine MRF eine weitgehend lineare Änderung der Schubspannung in Abhängigkeit eines anliegenden Magnetfeldes zur Steuerung einer Verfestigung der MRF aufweist. Dadurch ist der Aktor besonders gut zu steuern bzw. zu regeln.

**[0014]** Zum besseren Verständnis wird das Verhalten einer MRF im Folgenden beschrieben. Eine MRF besteht im Wesentlichen aus einer Trägerflüssigkeit, beispielsweise Öl, in der magnetisch polarisierbare Partikel, z.B. einer Partikelgröße zwischen ca. 1 µm und 5 µm suspendiert sind. Zur Stabilisierung der MRF gegenüber Sedimentation, also einem Absetzen der Partikel, kann diese bestimmte chemische Additive enthalten. Ohne Einfluss eines Magnetfelds ist die MRF flüssig. Wird die MRF einem äußeren Magnetfeld ausgesetzt, kommt es in diesem aufgrund von Wechselwirkungen zwischen magnetischen Dipolen der Partikel zu einer Kettenbildung, also zur Bildung von Ketten aus aneinander „anhaftenden“ Partikeln. Infolgedessen versteift sich die MRF innerhalb von Millisekunden und geht in einen verfestigten Zustand über. Entfällt das äußere Magnetfeld, bilden die Partikel keine magnetischen Dipole mehr aus und es kommt zu einer Verflüssigung, also Rückkehr in den flüssigen Zustand, der MRF.

**[0015]** Im verfestigten Zustand können MRF als Bingham Festkörper mit der folgenden Gleichung beschrieben werden:

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$$

**[0016]** Dabei steht  $\tau$  für die Schubspannung,  $\tau_0$  für die feldinduzierte Grenzscherspannung,  $\eta$  für die dynamische Viskosität oder Basisviskosität und  $\dot{\gamma}$  für die Schergeschwindigkeit. Eine graphische Darstellung der Abhängigkeit der Scherspannung von der Schergeschwindigkeit mit Bezug auf die magnetische Feldstärke eines anliegenden Magnetfelds ist dabei üblich. Aus dieser ergibt sich, dass sich die MRF ohne Magnetfeld bei einer Schergeschwindigkeit größer 0 wie eine Newtonsche Flüssigkeit verhält. Bei anliegendem Magnetfeld der Feldstärke  $B$  und einer Schergeschwindigkeit von 0 verhält sie sich wie ein Festkörper, solange die aufgebrachte Schubspannung kleiner als die feldinduzierte Grenzscherspannung ist. Bei anliegendem Magnetfeld der Feldstärke  $B$  und einer Schergeschwindigkeit größer 0 ist die MRF viskos. Diese Verfestigung der MRF unter einem Magnetfeld wird für die Abdichtung des erfindungsgemäßen Aktors genutzt.

**[0017]** Das in einer Ausführungsform dem Aktor zugrunde liegende Prinzip ist, dass das Gewinde in der MRF, wenn diese keinem Magnetfeld ausgesetzt und flüssig ist, weitgehend ungehindert rotieren kann, ohne dass dabei störende Axialkräfte auf das mit der MRF zusammenwirkende Gewinde erzeugt werden. Wird die MRF einem Magnetfeld ausgesetzt, kommt es zu deren Verfestigung. Das Gewinde kann dann nicht mehr ungehindert in der verfestigten MRF rotieren. Anders ausgedrückt übt die verfestigte MRF auf das Gewinde bei fortgesetzter Rotation Kräfte aus, ähnlich einer Mutter auf das Gewinde einer Schraube. Durch die Geometrie des Gewindes werden diese Kräfte in in axialer Richtung des Gewindes wirkende Längs- oder Schubkräfte umgewandelt, so dass bei einer entsprechenden axialverschieblichen Lagerung des Gewindes ein Axialversatz oder eine Axialverschiebung bewirkt werden kann. Anders ausgedrückt rückt die Hülse bei verfestigter MRF ggf. gegen eine auf sie ausgeübte Vorspannung aus dem Gehäuse aus. Diese Ausrückbewegung kann nach der Erfindung genutzt werden, um einen Reibschluss zwischen der Antriebswelle und dem Abtriebsselement aufzugeben und die Kupplung zu entkuppeln.

**[0018]** Die Kupplung kann eine Reibkupplung, insbesondere ein Riemenscheibenkupplung, Lamellenkupplung oder eine ähnliche Kupplung sein. Sie ist mittels des magnetorheologischen Aktors zu betätigen, also zu entkuppeln und zu kuppeln. Vorzugsweise ist die Kupplung selbstschließend, also in den gekuppelten Zustand vorgespannt. Das Gewinde ist Teil eines Stellgliedes oder kann mit einem Stellglied verbunden sein, über das durch den Aktor eine Betätigung der Kupplung erfolgt.

**[0019]** Das Gewinde kann als Außengewinde und/oder als Innengewinde ausgebildet sein. Eine Kombi-

nation eines Außengewindes mit einem Innengewinde ist besonders vorteilhaft, da wegen der gegenüber einem einfachen Gewinde vergrößerten Eingriffsfläche zwischen Gewinde und MRF hohe Axialkräfte auf die Hülse erzeugt werden können, was für einen sicheren und schnellen Betätigung der Kupplung vorteilhaft ist.

**[0020]** Die Gewindespindel kann in der Kammer in axialer Richtung verschiebbar aufgenommen sein. Sie kann darin insbesondere gelagert sein. Zu diesem Zweck ist es von Vorteil, wenn die axiale Länge des Gewindes kleiner ist als die axiale Länge der Kammer.

**[0021]** Das Gewinde, insbesondere Gewindespitzen des Gewindes, kann bzw. können eine Innenwand der Kammer dichtend kontaktiert. In diesem Fall ist eine Möglichkeit für eine Rückführung von MRF von einer Seite des Gewindes auf dessen andere Seite (in Längsrichtung betrachtet) erforderlich, damit sich das Gewinde bei flüssiger MRF ohne zu großen Widerstand darin drehen kann und der Effekt der vorstehend beschriebenen Polsterbildung genutzt werden kann.

**[0022]** Bei einer Ausführungsform ist zwischen den Gewindespitzen, also dem Außendurchmesser (im Falle eines Außengewindes) bzw. dem Innendurchmesser (im Falle eines Innengewindes) oder dem Nenndurchmesser des Gewindes und einer Innenwand der Kammer ein Freiraum, ein Spalt oder eine Vertiefung, z.B. in Form einer Nut oder einer Bohrung ausgebildet. Insbesondere kann der Nenndurchmesser des Gewindes kleiner (im Falle eines Außengewindes) bzw. größer (im Falle eines Innengewindes) als der Durchmesser der jeweiligen Wand (innere bzw. äußere Innenwand) der Kammer sein. Durch einen solchen Freiraum kann von den Gewindegängen auf eine Seite des Gewindes geförderte MRF infolge des sich dort aufbauenden Überdrucks zurück auf die gegenüberliegende Seite des Gewindes strömen. Eine fortwährende Rotation des Gewindes in der flüssigen MRF ist daher ohne zu großen Widerstand möglich. Der Freiraum kann insbesondere so bemessen sein, dass Trägerflüssigkeit der magnetorheologischen Flüssigkeit den Spalt passieren kann, insbesondere bei einer Verfestigung der magnetorheologischen Flüssigkeit infolge eines auf diese wirkenden Magnetfelds. In besonders vorteilhafter Weise kann eine Rückführung von MRF oder von Trägerflüssigkeit der MRF von der einen Seite des Gewindes auf dessen andere Seite dadurch erfolgen, dass die Gewindespindel, insbesondere das Gewinde und/oder dessen Gewindeflanken mit Durchgangslöchern in axialer Richtung versehen ist bzw. sind, über die benachbarte Gewindegänge strömungstechnisch miteinander verbunden oder anders ausgedrückt kurzgeschlossen sind.

**[0023]** Es ist von Vorteil, wenn das Gewinde mehrgängig ist, insbesondere zwei-, drei- oder viergängig bis hin zu sechsgängig. Durch mehrgängige Gewinde kann dessen Förderleistung von MRF bzw. von polarisierbaren oder polarisierten Partikeln der MRF gegenüber einem eingängigen Gewinde erhöht werden, so dass der Aktor kurze und schnelle Ansprechzeiten besitzt, was für eine rasche / schnelle Betätigung von Kupplungen oder Bremsen erwünscht ist. Eine zusätzliche oder alternative Möglichkeit zu Verbesserung des Förderverhaltens des Gewindes ist, dieses mit variierender Steigung auszubilden, insbesondere mit nicht-linearer Steigung auszubilden. Das Gewinde kann dann in vorderen Abschnitten, also zu Beginn der Förderung, mit einer hohen Steigung ausgebildet sein, was eine hohe Förderleistung bewirkt, während es in einem hinteren Abschnitt, insbesondere am Ende des Gewindes, mit einer geringen Steigung ausgebildet ist, was eine gute Abstützung des letzten Gewindegangs auf ein hinter dem Gewinde befindliches Partikelpolster bewirkt. Eine weitere zusätzliche oder alternative Möglichkeit zu Verbesserung des Förderverhaltens des Gewindes ist, dass sich (im Falle eines Außengewindes) der Kerndurchmesser des Gewindes vom Außendurchmesser der Hülse in einem Bereich außerhalb des Gewindes unterscheidet, insbesondere kleiner ist und/oder dass sich (im Falle eines Innengewindes) der Kerndurchmesser des Gewindes vom Innendurchmesser der Hülse in einem Bereich außerhalb des Gewindes unterscheidet, insbesondere größer ist.

**[0024]** Die Erfindung betrifft auch eine Kupplung mit einem solchen Aktor.

**[0025]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines magnetorheologischen Aktors, wobei sich eine im Aktor enthaltene magnetorheologische Flüssigkeit in einem flüssigen Zustand befindet,

**[0026]** Fig. 2 eine schematische Darstellung des Aktors der Fig. 1, wobei sich die MRF in einem verfestigten Zustand befindet und eine Gewindespindel des Aktors still steht,

**[0027]** Fig. 3 eine schematische Darstellung des Aktors der Fig. 1 und Fig. 2, wobei sich die MRF in einem verfestigten Zustand befindet und die Gewindespindel rotiert,

**[0028]** Fig. 4 eine schematische Darstellung des Aktors der Fig. 1 bis Fig. 3, wobei sich die MRF in einem verfestigten Zustand befindet und die Gewindespindel weiter rotiert ist, verglichen zu dem in Fig. 2 gezeigten Zustand,

**[0029]** Fig. 5 eine Prinzipskizze zur Übertragung von Druck mittels kleiner Partikel,

**[0030]** Fig. 6a eine perspektivische Detailansicht einer Ausführungsform der Gewindespindel des Aktors,

**[0031]** Fig. 6b eine Draufsicht auf einen Gewindegang der Gewindespindel der Fig. 6a,

**[0032]** Fig. 7 eine Schnittansicht einer speziellen Ausführungsform einer Kupplung mit magnetorheologischem Aktor im gekuppelten Zustand,

**[0033]** Fig. 8 die Kupplung der Fig. 7 im entkuppelten Zustand mit einem Detail zum Magnetfeld in Fig. 8a,

**[0034]** Fig. 9 eine Schnittteilansicht einer zweiten Ausführungsform einer Kupplung mit magnetorheologischem Aktor,

**[0035]** Fig. 10 die Kupplung der Fig. 9 im Stillstand,

**[0036]** Fig. 11 die Kupplung der Fig. 9 und Fig. 10 im Betrieb im gekuppelten Zustand,

**[0037]** Fig. 12 die Kupplung der Fig. 9 bis Fig. 11 im Betrieb zu Beginn des Entkuppelns,

**[0038]** Fig. 13 die Kupplung der Fig. 9 bis Fig. 12 im Betrieb im entkuppelten Zustand,

**[0039]** Fig. 14 die Kupplung der Fig. 9 bis Fig. 13 beim Ein- / Ankuppeln,

**[0040]** Fig. 15 eine Ausführungsform einer Hülse des Aktors der Kupplungen der Fig. 9 bis Fig. 14 in einer perspektivischen Ansicht,

**[0041]** Fig. 16a eine alternative Ausführungsform des Aktors der Kupplungen der Fig. 9 bis Fig. 14 ohne Magnetfeldeinfluss,

**[0042]** Fig. 16b die alternative Ausführungsform des Aktors der Kupplungen der Fig. 9 bis Fig. 14 unter Magnetfeldeinfluss,

**[0043]** Fig. 17 eine besondere Ausführungsform einer Kupplung mit magnetorheologischem Aktor in einer Teilschnittansicht,

**[0044]** Fig. 18 eine erste Ausführungsform einer Dichtung für einen magnetorheologischen Aktor gemäß der Erfindung,

**[0045]** Fig. 19 eine zweite Ausführungsform einer Dichtung für einen magnetorheologischen Aktor gemäß der Erfindung,

**[0046]** Fig. 20a ein Detail zum Verschleißausgleich der Kupplung in einer Schnittansicht bei neuer Kuppelung,

**[0047]** Fig. 20b ein Detail zum Verschleißausgleich der Kupplung in einer Schnittansicht bei verschlissener Kupplung,

**[0048]** Fig. 21a eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer seitlichen Detailansicht,

**[0049]** Fig. 21b die Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer perspektivischen Detailansicht,

**[0050]** Fig. 22a eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer seitlichen Detailansicht,

**[0051]** Fig. 22b eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer perspektivischen Detailansicht,

**[0052]** Fig. 23a eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer seitlichen Detailansicht,

**[0053]** Fig. 23b eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer perspektivischen Detailansicht,

**[0054]** Fig. 24a eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer seitlichen Detailansicht,

**[0055]** Fig. 24b eine Ausführungsform einer Gewindespindel eines magnetorheologischen Aktors in einer perspektivischen Detailansicht,

**[0056]** Fig. 25 ein Umdrehungs-Weg-Diagramm für verschiedene Ausführungsformen einer Gewindespindel,

**[0057]** Fig. 26 eine Darstellung des Prinzips eines Magnetpartikelpolsteraufbaus bei einem Aktor nach der Erfindung,

**[0058]** Fig. 27a–d Darstellungen zum Verhalten einer MRF, und

**[0059]** Fig. 28a–Fig. 28c Darstellungen zur Axialpositionierung des Aktors nach den Fig. 1 bis Fig. 4.

**[0060]** Die Figuren sind lediglich schematischer Natur und dienen nur dem Verständnis der Erfindung. Die gleichen Elemente sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Details der unterschiedlichen Ausführungsformen können miteinander kombiniert werden.

**[0061]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines magnetorheologischen Aktors 1 nach der Erfindung. Der Aktor 1 weist ein

Gehäuse 2 auf, das aus einem hohlzylinderförmigen Rohr 3, einem rechten Deckel 4 und einem linken Deckel 5 besteht. Die Deckel 4, 5 können mit dem Rohr 3 verschraubt sein. Das Gehäuse 2 ist zwischen dem Rohr 3 und den Deckeln 4, 5 jeweils mittels eines O-Dichtrings 6 abgedichtet. In jedem Deckel 4, 5 ist eine Lageröffnung ausgebildet, in die jeweils ein Gleitlager 7 eingesetzt ist.

**[0062]** Die Gleitlager 7 dienen einer Lagerung einer Gewindespindel 8 in dem Gehäuse 2. Diese weist einen Spindelkern 12 und ein darauf ausgebildetes Gewinde 13 auf. Beiderseits des Gewindes 13 erstrecken sich Abschnitte 12a, 12b des Spindelkerns 12 mit zylinderförmiger Außenkontur. Die Gewindespindel 8 ist mittels der Gewindekernabschnitte 12a, 12b in den Gleitlagern 7 um ihre Längsachse 9 drehbar und in deren Richtung axial verschiebbar gelagert. Sie ist mittels Dichtungen 60, die später ausführlicher beschrieben werden, gegenüber dem jeweiligen Deckel 4, 5 abgedichtet. Die Gewindespindel 8 ist mittels eines in den Figuren nicht dargestellten Antriebs um ihre Längsachse 9 rotatorisch antreibbar. Sie ist endseitig mit einer zu betätigenden Einheit, z.B. einer Kupplung 16 oder einer Bremse verbunden, die in Fig. 1 nur angedeutet ist. Zwischen der Gewindespindel 8 und der zu betätigenden Einheit 16 ist eine Feder 17 eingezeichnet, die die zwischen der Gewindespindel 8 und der Einheit 16 wirkenden Kräfte darstellen soll.

**[0063]** Das Gehäuse 2 bildet eine abgedichtete Kammer aus, in der eine magnetorheologische Flüssigkeit 11 aufgenommen ist, welche als MRF 11 bezeichnet wird und die die in dem Gehäuse 2 gelagerte Gewindespindel 8 umgibt. Das Gehäuse 2 ist von Magneten 10, z.B. in Form von Spulen, umgeben, mit denen ein schaltbares Magnetfeld erzeugt werden kann, das auf die im Gehäuse aufgenommene MRF 11 wirkt. Anders ausgedrückt ist die in dem Gehäuse befindliche und die Gewindespindel 8 umgebende MRF 11 in einem Zustand keinem Magnetfeld ausgesetzt, in welchem Fall die MRF 11 flüssig ist, oder sie ist in einem zweiten Zustand einem Magnetfeld ausgesetzt, wodurch sie sich aufgrund ihrer im nachfolgenden näher dargelegten magnetorheologischen Eigenschaften verfestigt.

**[0064]** Fig. 2 zeigt den Aktor 1 unter einem angelegten Magnetfeld der Flussdichte B bei stillstehender Gewindespindel 8, wobei die Feldlinien 22 des Feldes in der Figur angedeutet sind. Einige Millisekunden nach Anlegen des magnetischen Felds geht die MRF 11 in den verfestigten Zustand über, in dem sie zweiphasig ist. Die polarisierbaren Partikel 15 bilden unter Einfluss des magnetischen Felds Ketten 67 entlang dessen Flusslinien 22 aus. In der Folge „sedimentiert“ die MRF 11. Die Ketten, die in Fig. 2 zeichnerisch angedeutet sind, bilden eine feste Struktur,

die nach dem zuvor erläuterten Modell von Bingham als Festkörper betrachtet werden kann.

**[0065]** Für eine Betätigungsaktion des Aktors **1** ist es notwendig, dass die Gewindespindel **8** rotiert. Dieser Umstand ist in den **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigt. Es liegt ein Magnetfeld an und die MRF **11** ist verfestigt. Die auf die MRF **11** in dem Spalt zwischen den Gewindespitzen des Gewinde **13** und der Innenwand des Rohrs **3** durch die Gewindespindel **8** ausgeübte Schubspannung liegt dabei noch unter der Grenzscherspannung. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass die über die Gewindespindel **8** in die MRF **11** eingeleitete Kraft  $F_{\text{axial}}$  der Feder **17** nicht ausreicht, um die aufgrund des magnetischen Felds ausgebildeten Ketten aus polarisierten Partikeln **15** im Spalt zwischen Gewinde **13** und Rohr **3** zu zerstören oder zu zerbrechen. Die Gewindespindel **8** schraubt sich daher in der MRF **11** wie in einem festen Körper nach vorn, also in der **Fig. 3** nach rechts, gegen die Kraft der Feder **17**. Die dabei erreichbare maximale Axialkraft ist abhängig von der Grenzscherspannung und der Scherfläche.

**[0066]** **Fig. 4** zeigt einen Zustand, bei dem die auf die MRF **11** ausgeübte Schubspannung die Grenzscherspannung überschritten hat. Bei Überschreiten dieses Werts brechen die aus den polarisierten Partikeln gebildeten Ketten, bilden sich allerdings aufgrund des fortwährend wirkenden magnetischen Felds in Bereichen mit geringerer Schubspannung sofort erneut. Im Ergebnis bedeutet dies, dass die maximal erzeugbare Axialkraft erreicht ist. Das Gewinde **13** der Gewindespindel **8** bekommt in der Kettenstruktur der MRF **11** Schlupf, sodass Teile der MRF **11** trotz deren verfestigten Zustands durch das als archimedische Schraube wirkende Gewinde **13** nach hinten (also in der Figur nach rechts) in einen Abschnitt **18** hinter das Gewinde **13** gefördert wird. Dieser Zustand entspricht dem im Zusammenhang mit **Fig. 1** erläuterten Zustand (ohne magnetisches Feld), allerdings mit einer hochviskosen Flüssigkeit.

**[0067]** In dem Abschnitt **18** hinter dem Gewinde **13**, in den Teile der MRF **11** bei Überschreiten der Grenzscherspannung gefördert werden, wirkt auf die MRF **11** keine Schubspannung mehr, sodass sich deren Partikel **15** wieder zu Ketten formieren. Infolge der auf die Gewindespindel **8** wirkenden Axialkraft durch die Feder **17** steht dieser Abschnitt **18** allerdings unter höherem Druck als der Abschnitt **19** vor dem Gewinde **13**. Der zwischen dem Gewinde **13** und der Innenwand der Kammer **2** ausgebildete Spalt ist nun derart dimensioniert, dass die Trägerflüssigkeit der MRF **11** durch diesen hindurch passieren kann und von dem hinter dem Gewinde **13** befindlichen Abschnitt **18** durch den Spalt in den vor dem Gewinde befindlichen Abschnitt **19** strömt. Da sich die in dem Abschnitt **18** hinter dem Gewinde **13** befindlichen Partikel **15** wieder zu Ketten formiert haben, kommt es

dort zu einer Ansammlung von verfestigten Partikeln **15**. Die miteinander verketteten Partikel **15** bilden hinter dem Gewinde **13** ein Polster aus, auf dem sich der letzte Gewindegang des Gewindes **13** abstützt. Die Partikel **15** im Abschnitt **18** verhalten sich wie ein Festkörper, und je mehr Partikel **15** sich hinter dem Gewinde **13** ansammeln, desto größer wird das dort entstehende Polster und der Versatz der Gewindespindel **8** in axialer Richtung.

**[0068]** Die vorstehend beschriebene Sperrung der Partikel **15** im Abschnitt **18** erfolgt nicht dadurch, dass die Breite des Spalts zwischen Gewinde **13** und Gehäuse **2** kleiner ist, als die Partikelgröße, sondern dadurch, dass sich die Partikel **15** nicht wie eine Flüssigkeit, sondern wie ein Festkörper verhalten. Dieser Umstand ist in der Prinzipskizze der **Fig. 5** verdeutlicht. Dort ist ein Stempel **20** gezeigt, der mit einer Kraft  $F$  auf in einem Sandkasten befindlichen Sand **21** drückt. Da die auf den Sand **21** ausgeübte Kraft innerhalb des aus Partikeln bestehenden Sands **21** nicht in Form eines hydraulischen Drucks übertragen wird (Silos Theorie), ist die auf seitliche, also seitlich des Stempels **20**, befindliche Sandkörner wirkende Axialkraft gering. In diesem Beispiel werden die dort befindlichen Sandkörner durch die Gravitation und Kohäsionskräfte zwischen den Körnern gehalten. Im Falle der Partikel der MRF **11** sind dies die magnetische Kraft und Kohäsionskräfte.

**[0069]** Die in **Fig. 4** angedeutet Axialverschiebung der Gewindespindel **8** schreitet fort, solange sich im Abschnitt **18** hinter dem Gewinde **13** weitere Partikel **15** der MRF **11** sammeln. Eine maximale Axialverschiebung wird theoretisch erreicht, wenn sich alle Partikel **15** im Abschnitt **18** befinden. Der Vorgang des Aufbaues des Partikelpolsters hinter dem Gewinde **13** und die dadurch bewirkte Axialverschiebung der Gewindespindel **8** ist in **Fig. 26** in übersichtlicher Weise gezeigt. In dem Diagramm der **Fig. 26** ist eine Weg-Umdrehungs-Kurve der Gewindespindel **8** (Weg im Sinne der Verschiebung der Spindel in axialer Richtung) gezeigt, während auf dieser Kurve markierte Positionen in den um das Diagramm angeordneten Zeichnungen dargestellt sind. Die Kurve besitzt die Form einer aus linearen Abschnitten bestehenden Asymptote.

**[0070]** Dem Beispiel der **Fig. 26** wurde eine MRF **11** mit einem Anteil von 32 Volumenprozenten Eisenpartikel zugrunde gelegt. Während der gesamten Zeitdauer der Aufzeichnung war das magnetische Feld eingeschaltet und die im Spalt zwischen dem Gewinde **13** und dem Gehäuse **2** wirkende Schubspannung größer als die Grenzscherspannung. Die verwendete Gewindespindel **8** hatte ein eingängiges Gewinde **13** mit sechs Windungen. Die MRF **11** wurde demnach als durch das Gewinde in acht Volumina geteilt betrachtet, nämlich die Volumina der sechs Windungen, das Volumen im Abschnitt **19** vor dem Gewinde **13**,

auch als „Eisenreservoir“ bezeichnet, und das Volumen des Abschnitts **18** hinter dem Gewinde, auch als „Eisenpolster“ bezeichnet.

**[0071]** Im Anfangszustand (gekennzeichnet im Diagramm mit (1)) liegt in allen Volumina ein ursprünglicher Partikelvolumenanteil in Höhe von **32** Volumenprozenten vor. Nach Ablauf einer ersten Umdrehung (gekennzeichnet im Diagramm mit (2)) bildet die Partikelmenge der letzten Windung (links) das Polster. Als Reaktion verschiebt sich die Spindel **8** um einen bestimmten Weg ( $u_1$ ). Auf die andere Gewindeseite, also im Abschnitt **19**, greift die erste Windung des Gewindes **13** während dieser Umdrehung eine Scheibe von der Stärke der zurückgelegten Axialverschiebung der Spindel **8** des Reservoirs des Abschnitts **19** ab. Das Volumen dieser abgegriffenen Scheibe ist kleiner als das Volumen einer Windung des Gewindes **13**.

**[0072]** Die in dem abgegriffenen Volumen enthaltene Partikelmenge wird zusammen mit dem abgegriffenen Trägerflüssigkeitsvolumen mit der aus dem Polster (dem Abschnitt **18**) verdrängten Trägerflüssigkeit gemischt. Bei dem zugrunde gelegten ursprünglichen Partikelvolumenanteil von 32% beträgt der Partikelvolumenanteil in der ersten Windung des Gewindes **13** nur noch ca. 10%. In dem übrigen Abschnitt **19** bleibt der Partikelvolumenanteil infolge der verfestigten Partikelstruktur unverändert bei 32%.

**[0073]** Nach dem gleichen Prinzip fördern die folgenden fünf Umdrehungen der Spindel **8** immer die gleiche Eisenmenge in den Abschnitt **18**. Dabei verschiebt sich die Spindel **8** mit jeder Umdrehung um einen gleichen axialen Betrag ( $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5 = u_6$ ). Es ergibt sich das im Diagramm dargestellte lineare Weg-Umdrehungs-Verhältnis bis zum Punkt (3). Die bei jeder Umdrehung der Spindel **8** vom Gewinde **13** jeweils abgegriffenen Scheiben des Reservoirs sind gleich und ergeben im Resultat in jeder Windung des Gewindes **13** gleiche Partikelvolumenanteile.

**[0074]** Am Punkt (3) erreicht die erste Windung mit verringertem Partikelvolumenanteil (10%) den Abschnitt **18**. Im Ablauf einer weiteren Umdrehung wird diese Partikelmenge in den Abschnitt **18** gefördert. Als Reaktion verschiebt sich die Spindel **8** um eine bestimmte Axialverschiebung ( $u_7$ ), die entsprechend der geringeren Partikelmenge kleiner ist, als die Axialverschiebung ( $u_1$ ). Auf die andere Gewindeseite im Abschnitt **19** greift die erste Windung des Gewindes **13** während dieser Umdrehung eine Scheibe von der Stärke der zurückgelegten Axialverschiebung der Spindel **8** ( $u_7$ ) des Reservoirs des Abschnitts **19** ab. Die in dem abgegriffenen Volumen enthaltene Partikelmenge wird zusammen mit dem abgegriffenen Trägerflüssigkeitsvolumen mit der aus dem Polster (dem Abschnitt **18**) verdrängten Trägerflüssigkeit ge-

mischt. Bei dem zugrunde gelegten ursprünglichen Partikelvolumenanteil von 32% beträgt der Partikelvolumenanteil in der ersten Windung des Gewindes **13** bei dieser Umdrehung dann nur noch etwa 3%. Entsprechend des geringeren je Umdrehung geförderten Partikelvolumens weist die Kurve in dem Abschnitt von der siebten bis zur zwölften Windung (zwischen den Punkten (4) und (5) im Diagramm) eine geringere lineare Steigung auf. Punkt (5) verdeutlicht den Zustand nach 12 Umdrehungen mit  $u_7 = u_8 = u_9 = u_{10} = u_{11} = u_{12}$ . Die vorstehend beschriebene Verringerung des je Windung geförderten Partikelvolumens wiederholt sich nach jeweils sechs weiteren Umdrehungen, sodass die Steigung der Axialverschiebungs-Umdrehungs-Kurve alle sechs Umdrehungen abnimmt, wie im Diagramm zu erkennen ist. Rein mathematisch betrachtet verschiebt sich die Spindel **8** unendlich weiter (bis ein Anschlag erreicht ist), allerdings mit immer geringeren Axialverschiebungen, die jedoch nie null werden. Letztlich nähert sich die Axialverschiebungs-Umdrehungs-Kurve einer Horizontalen an.

**[0075]** Durch die beschriebene Bildung eines Polsters aus Partikeln im Abschnitt **18** hinter dem Gewinde **13** wird die im Vergleich zu einer Verschiebung bei einer Schubspannung kleiner als die Grenzscher-spannung erzielbare Axialkraft signifikant gesteigert, theoretisch bis ins Unendliche. Es ergibt sich daher eine deutlich geringere Abhängigkeit von der Grenzscher-spannung einer MRF **11**, die bislang stets der limitierende Faktor bei einer Verwendung von MRF **11** war.

**[0076]** Sobald das Magnetfeld ab- oder eingestellt wird, verliert das im Abschnitt **18** gebildete Partikel-polster seine festkörperähnlichen Eigenschaften. Die MRF **11** verhält sich wieder wie eine Newtonsche Flüssigkeit. Der durch die Feder **17** auf die Spindel **8** wirkenden Axialkraft wird bis auf geringe Strömungskräfte kein Widerstand mehr entgegengesetzt und die dann nicht mehr miteinander verketteten polarisierbaren Partikel **15** strömen durch den Spalt zwischen Gewinde **13** und Gehäuse **2**. Es kommt zu einer Homogenisierung der MRF **11** und die Gewindespindel **8** bewegt sich durch die Federkraft  $F_{\text{axial}}$  zurück in ihre ursprüngliche Position anliegend an den linken Deckel **5** (siehe Fig. 1).

**[0077]** In den Fig. 28a, Fig. 28b und Fig. 28c ist die Verschiebung der Spindel in axialer Richtung infolge eines mittels des Magneten **10** erzeugten Magnetfelds der Feldstärke  $B$  in verschiedenen Stadien dargestellt. Fig. 28a zeigt die Spindel in ihrer ursprünglichen Lage an den linken Deckel **5** angrenzend. Beim Einschalten des Magnetfelds verschiebt sich die Spindel **13** zunächst bis zum Erreichen der Grenzscher-spannung bis in die in Fig. 28b gezeigte Lage. Durch Ausnutzen des zuvor beschriebenen Effekts der Bildung eines Partikelpolsters **40** kann die



Spindel **13** aus der in **Fig. 28b** gezeigten Stellung weiter in axialer Richtung verschoben werden, nämlich in die in **Fig. 28c** gezeigte Endstellung.

**[0078]** **Fig. 6** zeigt eine Ausführungsform einer Gewindespindel **8**, deren Gewinde **13** mit parallel zur Längsachse **9** verlaufenden durchgehenden Bohrungen **23** versehen ist. Die Bohrungen **23** stellen eine Verbindung zwischen benachbarten Gewindegängen her und können zusätzlich oder alternativ zum Spalt zwischen Gewinde **13** und Gehäuse **2** ausgebildet sein. Die Bohrungen **23** begünstigen bei der zuvor beschriebenen Polsterbildung ein Strömen von Trägerflüssigkeit aus dem Abschnitt **18** hinter dem Gewinde **13** in den Abschnitt **19** vor dem Gewinde **13**.

**[0079]** **Fig. 7** zeigt eine besondere Ausführungsform einer Kupplung **24** nach der Erfindung mit einem magnetorheologischen Aktor **1** nach der Erfindung in einer Schnittansicht. Die Kupplung **24** ist im gekuppelten Zustand dargestellt. **Fig. 7** zeigt eine Motorwelle **25** als Antriebselement und eine Riemenscheibe **26** als Abtriebsselement. Die Motorwelle **25** ist mittels einer Zentralschraube **27** mit einem Kupplungsflansch **28** verbunden. Der Kupplungsflansch **28** kann über Lamellen **29** mit der Riemenscheibe **26** in Reibgriff gebracht, also gekuppelt werden, sodass ein Drehmoment von der Motorwelle **25** über den Kupplungsflansch **28** und die Lamellen **29** auf die Riemenscheibe **26** übertragen werden kann. Eine Tellerfeder **30** ist einerseits am Kupplungsflansch **28** und andererseits am Lamellenpaket **29** abgestützt und spannt die Kupplung **24** in den gekuppelten Zustand vor (selbstschließende Kupplung). Die Tellerfeder **30** rotiert zusammen mit der Motorwelle **25**.

**[0080]** Auf der Motorwelle **25** ist eine Gewindehülse **33** drehfest und in Längsrichtung **9** axial verschiebbar angeordnet. Die Gewindehülse **33** rotiert folglich mit der Motorwelle **25** und umgibt diese. Zwischen der Gewindehülse **33** und der Motorwelle **25** ist dazu eine in Längsrichtung **9** verlaufende Axialführung **31**, z.B. in Form einer Axialverzahnung oder eines oder mehrerer Gleitsteine, sowie ein Gleitlager **32** angeordnet. Die Gewindehülse **33** ist auf ihrer von der Motorwelle **25** abgewandten Außenseite mit einem Gewinde **13** versehen. Sie ist des Weiteren endseitig, in **Fig. 7** auf der linken Seite, an der Tellerfeder **30** abgestützt.

**[0081]** In der Riemenscheibe **26** ist ein Gehäuse **2** des Aktors **1** mittels Lagern **34** gelagert. Das Gehäuse **2**, die Riemenscheibe **26** und die Motorwelle **25** sind in axialer Richtung, also in Längsrichtung **9** relativ zueinander positioniert, also nicht verschiebbar. Das Gehäuse **2** ist des Weiteren rotatorisch festgelegt, rotiert nicht zusammen mit der Motorwelle **25** oder der Riemenscheibe **26** und ist von einer in einer Eisenführung **35** aufgenommenen Spule **36** umgeben. Die Spule **36** dient der Erzeugung eines schaltbaren Magnetfelds, das mittels der Eisenführung **35**

in der in **Fig. 8a** gezeigten Weise umgelenkt wird. Die Gewindehülse **33** und das feststehende Gehäuse **2** sollen nicht magnetisch sein, damit zwischen der Eisenführung **36** und der Motorwelle **25** ein magnetischer Kreis entstehen kann. Um den bereits zuvor erläuterten Partikelpolstereffekt bestmöglich auszunutzen zu können, sollte in dem Polsterbereich, also im Abschnitt **18** hinter dem Gewinde **13** ein Magnetfeld mit in radialer Richtung verlaufenden Feldlinien erzeugt werden. Das Gehäuse **2** ist mittels zweier Permanentmagnetdichtungen **37**, die jeweils mit einem Radialwellendichtring **38** ergänzt sind, gegenüber der Motorwelle **25** abgedichtet. Zwischen dieser und dem Gehäuse **2** ist eine Kammer **39** ausgebildet, die mit einer MRF **11** gefüllt ist. Das Gewinde **13** der Gewindehülse **33** sowie beiderseits des Gewindes **13** angrenzende Hülsenabschnitte der Gewindehülse sind dabei in der Kammer **39** aufgenommen, sodass die Gewindehülse **33** in der Kammer **39** eine Axialverschiebung durchführen kann.

**[0082]** Die in der Kammer **39** befindliche MRF **11** ist in dem in **Fig. 7** gezeigten gekuppelten Zustand nicht mit einem Magnetfeld beaufschlagt und folglich flüssig. Das Gewinde **13** der Gewindehülse **33** rotiert in der flüssigen MRF **11**. Es kommt zu einer Strömung der MRF **11** durch die Gewindegänge des Gewindes **13** und den Spalt zwischen diesem und dem Gehäuse **2**, die schon mit Bezug auf **Fig. 1** erläutert wurde. Aufgrund von Strömungskräften entsteht eine nur geringe Axialkraft, die von der Gewindehülse **33** auf die Tellerfeder **30** übertragen wird, jedoch deren Vorspannkraft bei weitem nicht erreicht. Die Gewindehülse **33** wird durch die Vorspannkraft der Tellerfeder **30** vom Kupplungsflansch **28** fort, also in der **Fig. 7** nach rechts, gedrängt. Die Tellerfeder **30** übt daher eine in diese Richtung weisende Anpresskraft auf die Lamellen **29** aus, die gegeneinander gepresst werden und infolge Reibung das Drehmoment auf die Riemenscheibe **26** übertragen. Es wird auf die im Zusammenhang mit der **Fig. 1** gemachten Ausführungen verwiesen, die für die Ausführungsform der Kupplung **24** und des Aktors **1** der **Fig. 7** und **Fig. 8** entsprechend gelten.

**[0083]** **Fig. 8** zeigt die Kupplung **24** der **Fig. 7** im entkuppelten Zustand. Dabei ist die MRF **11** mit einem mittels der Spule **36** erzeugten magnetischen Feld beaufschlagt, wodurch diese im verfestigten Zustand vorliegt. Es wird auf die Ausführungen zu den **Fig. 1** bis **Fig. 6** sowie **Fig. 26** verwiesen, die hier entsprechend gelten. Infolge der Verfestigung der MRF **11** schraubt sich das Gewinde **13** der Gewindehülse **33** aus der verfestigten MRF **11** aus. Die Steigung des Gewindes **13** ist dabei derart ausgerichtet, dass die Gewindehülse **33** dadurch in axialer Richtung zum Kupplungsflansch **28**, also in **Fig. 8** nach links, verschoben wird. Infolge dieser Axialverschiebung übt die Gewindehülse **33** eine größere Axialkraft  $F_{\text{Spindel}}$  auf die Tellerfeder **30** als deren Vorspannung aus,

sodass die Gewindehülse **33** gegen die Vorspannung der Tellerfeder **30** in Richtung des Kupplungsflansches **28** verschoben wird. Infolge dieser Axialverschiebung kommt es zu einer Verformung der Tellerfeder **30**, wodurch der von dieser auf die Lamellen **29** ausgeübte Druck verringert und abgebaut wird. Der Reibschluss zwischen den Lamellen **29** wird bis zur Trennung der Lamellen **29** voneinander abgebaut. Bei vollständiger Trennung der Lamellen **29** ist die Kupplung **24** sauber entkuppelt. Zu diesem Zeitpunkt kann der Antrieb der Motorwelle **25** eingestellt werden und die Riemenscheibe **26** unabhängig von dieser weiterlaufen. Ein beispielhafter Anwendungsfall ist der Antrieb einer Kfz-Klimaanlage bei einem mit einem Start-Stopp-System versehenen Kraftfahrzeug.

**[0084]** Sollte der Antrieb der Motorwelle **25** bei offener Kupplung nicht abgeschaltet sein, wie dies bei konventionellen Kupplungen, z.B. bei Kfz-Kupplungen der Fall ist, riebe die Gewindehülse **33** an dem sich im Abschnitt **18** ausgebildeten Partikelpolster **40**. Aufgrund guter Schmiereigenschaften der MRF **11** und der nicht magnetischen Verbindung zwischen dem Polster **40** und dem Gewinde **13** kann ein Reibwert zwischen ca. 0,04 und 0,07 angenommen werden.

**[0085]** Durch den Aufbau eines im Zusammenhang mit Fig. 26 beschriebenen Polsters **40** aus Partikeln im Abschnitt hinter dem Gewinde (das Polster ist in Fig. 8 gekennzeichnet), wird der besondere Vorteil erzielt, dass die Endwinkelstellung der Gewindehülse keinen Einfluss auf deren Axialverschiebung hat. Wenn alle – oder zumindest der größte Teil der – Partikel der MRF **11** in dem Polster **40** enthalten sind, verbleibt die Gewindehülse unabhängig davon, ob die Motorwelle **25** rotiert oder stillsteht, in dieser Endstellung, solange das magnetische Feld aufrechterhalten wird. Diese Endstellung ist stabil und kann beliebig lange gehalten werden. Ein Einkuppeln der Kupplung **24** erfolgt durch ein Abschalten des magnetischen Felds. Infolgedessen verflüssigt sich die MRF **11**, es kommt zu einem Abbau des Partikelpolsters **40** und die Gewindehülse **33** wird durch die Kraft der Feder **30** zurück in die in Fig. 7 gezeigte Ausgangsposition gedrängt. Der Einkuppelvorgang kann in diesem Fall sehr schnell ablaufen. Es sei darauf hingewiesen, dass er durch eine Steuerung des Abbaus des Magnetfeldes, z.B. durch einen progressiven Abbau des Magnetfeldes, zeitlich verzögert und in nahezu beliebiger Weise erfolgen kann. Durch eine Rotation der Motorwelle – und damit der mit dieser drehfest verbundenen Gewindehülse **33** – kann das Erreichen des homogenen Zustands der flüssigen MRF **11** beschleunigt werden.

**[0086]** Fig. 8a zeigt den Verlauf des mittels der Spule **36** erzeugten Magnetfelds mit Feldlinien **22**. Die Feldlinien **22** verlaufen durch die Spule **36** und die Eisenführung **35** in axialer Richtung, dann in radialer

Richtung über die Kammer **39**, in der die MRF aufgenommen ist, dann in entgegengesetzter axialer Richtung durch die Motorwelle **25** und wieder in radialer Richtung von dieser durch die Kammer **39** mit der MRF **11** zurück. Es sei darauf hingewiesen, dass die Motorwelle **25** und das Gehäuse **2** aus nicht magnetischen Materialien bestehen, um diesen Feldlinienverlauf zu ermöglichen.

**[0087]** In den Fig. 9 bis Fig. 16 ist eine andere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kupplung **24** mit magnetorheologischem Aktor **1** gezeigt. Die Kupplung **24** ist in Fig. 9 im gekuppelten Zustand dargestellt. Fig. 9 zeigt eine Motorwelle **25** als Antriebselement und eine Riemenscheibe **26** als Abtriebselement. Die Motorwelle **25** ist mittels einer Zentralschraube **27** mit einem Kupplungsflansch **28** verbunden. Der Kupplungsflansch **28** kann über Lamellen **29** mit der Riemenscheibe **26** in Reibeingriff gebracht, also gekuppelt werden, sodass ein Drehmoment von der Motorwelle **25** über den Kupplungsflansch **28** und die Lamellen **29** auf die Riemenscheibe **26** übertragen werden kann. Eine Feder, z.B. in Form einer in der Figur nur angedeuteten Tellerfeder **30** ist einerseits am Kupplungsflansch **28** und andererseits an einer Gewindehülse **45** und über diese am Lamellenpaket **29** abgestützt und spannt die Kupplung **24** in den gekuppelten Zustand vor (selbstschließende Kupplung). Die Tellerfeder **30** rotiert zusammen mit der Motorwelle **25**, ist gegenüber dieser jedoch mit einem Lager **46** gelagert.

**[0088]** Die Riemenscheibe **26** ist mit einem Lager **46** an einem Gehäuse **47** gelagert. Die Motorwelle **25** ist ebenfalls mittels eines Lagers **46** an dem Gehäuse **47** gelagert. Das Gehäuse **47** ist fest angeordnet, d.h. es ist gegenüber der Motorwelle **25** sowie gegenüber der Riemenscheibe **26** weder axial verschiebbar noch drehbar. Es besitzt die Form eines Hohlzylinders und umgibt die Motorwelle **25** vollumfänglich. In dem Gehäuse **47** ist eine im Wesentlichen zylinderförmige Kammer **48** ausgebildet, die in axialer Richtung zu einer Seite des Gehäuses hin (in Fig. 9 zur linken Seite) offen ist. Auf der gegenüberliegenden Seite ist die Kammer **48** durch das Gehäuse **47** geschlossen. In der Kammer **48** ist die Gewindehülse **45** drehbar und in axialer Richtung verschiebbar angeordnet. Mittels eines dritten Lagers **54** ist die Feder **30** gegenüber dem Kupplungsflansch **28** abgestützt.

**[0089]** Die Gewindehülse **45** ist in Fig. 15 perspektivisch dargestellt. Sie weist einen sich in axialer Richtung erstreckenden Hülsenabschnitt **49** und einen sich im Wesentlichen in radialer Richtung erstreckenden Kragen **50** auf. Der Hülsenabschnitt **49** ist mit einem Innengewinde **51** und einem Außengewinde **52** versehen. Das radial äußere Ende der Gewindehülse **45** ist mit einer großen Masse **54** versehen, die der Gewindehülse **45** ein hohes Trägheitsmoment verschaffen soll. Die Kammer **48** ist zwischen der Ge-

windehülse **45**, insbesondere zwischen dem Hülsenabschnitt **49** und dem Gehäuse **47** abgedichtet. Dazu können die in der vorliegenden Anmeldung genannten Dichtungskonzepte mittels Permanentmagnetdichtung **37**, **41** ggf. in Kombination mit einer Radialwellendichtung **38** genutzt werden. In der derart abgedichteten Kammer **48** ist eine MRF **11** aufgenommen. Zwischen dem Gehäuse **47** und dem Lager **46** ist eine Spule **53** zur Erzeugung eines schaltbaren Magnetfelds angeordnet.

**[0090]** Fig. 10 zeigt die Kupplung **24** bei nicht rotierender Motorwelle **25**. Die Kupplung **24** ist geschlossen, da die Feder **30** eine in axialer Richtung wirkende Kraft  $F_F$  auf den Kragen **50** der Gewindehülse **45** ausübt. Die von dem Kragen **50**, also durch die Gewindehülse **45**, auf die Feder **30** ausgeübte Gegenkraft ist mit  $F_S$  gekennzeichnet. Die MRF **11** ist ohne angelegtes magnetisches Feld flüssig.

**[0091]** Fig. 11 zeigt die Kupplung **24** im Betrieb im gekuppelten Zustand bei rotierender Motorwelle **25** und ausgeschaltetem Magnetfeld. Der Kupplungsflansch **28** rotiert zusammen mit der Motorwelle **25**, den Lamellen **29**, der Riemenscheibe **26**, der Gewindehülse **45** und der Feder **30**. Die MRF **11** ist flüssig und die Gewindehülse **45** schraubt ständig in der flüssigen MRF **11**. Infolgedessen wird eine geringe axiale Kraft erzeugt, die von der Gewindehülse **45** auf die Feder **30** entgegen deren Vorspannung wirkt und der Kupplungsanpresskraft entgegen gerichtet ist. Diese Kraft ist jedoch kleiner als die Vorspannkraft der Feder **30**, sodass die Kupplung gekuppelt bleibt und das volle Drehmoment überträgt. Infolge der Masse **54** weist die rotierende Gewindehülse **45** eine hohe kinetische Energie auf.

**[0092]** Fig. 12 zeigt die Kupplung **24** zu Beginn des Entkuppelns. Die Motorwelle **25** treibt den Kupplungsflansch **28** an und das Magnetfeld wird eingeschaltet, sodass sich die MRF **11** innerhalb von einigen wenigen Millisekunden verfestigt. Die Gewinde **51**, **52** der Gewindespindel **45** schrauben sich aus der verfestigten MRF **11** heraus, sodass die Gewindespindel **45** aus der Kammer **48** heraus axialverschoben wird. Die dabei erzeugte axiale Kraft ist größer als die Federvorspannung der Feder **30**, sodass die Kupplung **24** beginnt sich zu öffnen. Die Gewindehülse gelangt unmittelbar nach dem Ansprechen des Aktors **1** außer Eingriff mit den Lamellen, sodass von der Motorwelle **25** kein Drehmoment mehr auf sie übertragen wird. Um aber die Kupplung voll öffnen und entkoppeln zu können und die Lamellen **29** sauber voneinander zu trennen, ist es erforderlich, dass die Gewindehülse **45** solange weiter rotiert, bis sie vollständig gegen die Spannung der Feder **30** aus der Kammer **48** herausgeschraubt ist. Diese Rotationsenergie erhält die Gewindehülse **45** über die Masse **54** per Trägheit. Die Steigung der Gewinde **51**, **52** bestimmt die axiale Geschwindigkeit der Hülse **45** beim

Ausschrauben aus der Kammer. Unmittelbar nach Beginn des Entkuppelns, d.h. sobald die Hülse **45** die Lamellen **29** nicht mehr berührt, kann daher der Antrieb der Motorwelle **25** ausgeschaltet werden.

**[0093]** Fig. 13 zeigt die Kupplung **24** im vollständig entkuppelten Zustand. Die geöffnete Kupplung **24** lässt die Motorwelle **25** frei drehen. Solange wie erforderlich bleibt die MRF **11** unter dem Einfluss des Magnetfelds und im verfestigten Zustand, so dass die durch die Feder **30** gegen den Kupplungsflansch **28** ausgeübte Anpresskraft der Feder **30** ausgeglichen bleibt. Zum Einkuppeln der Kupplung **24** wird das Magnetfeld einfach ausgeschaltet. Dieser Vorgang ist in Fig. 14 dargestellt. Nach Ausschalten des Magnetfelds verflüssigt sich die MRF **11** innerhalb von Millisekunden und die von der MRF **11** auf die Gewindehülse **45** ausgeübte Axialkraft entfällt. Aufgrund der durch die Feder **30** auf die Gewindehülse **45** ausgeübten Vorspannkraft fährt die Gewindehülse **45** in das Gehäuse **47** ein. Das Prinzip der Kupplung der Fig. 9 bis Fig. 14 ist vorteilhaft, da die Kupplungsgeschwindigkeit sehr hoch sein kann und durch ein Steuern der Viskosität der MRF **11** verstellbar sein kann.

**[0094]** Dichtungskonzepte für die Aktoren und Kupplungen nach der Erfindung sind in den Fig. 18 und Fig. 19 im Detail dargestellt. Die polarisierbaren Partikel **15** in der MRF **11** erfordern angepasste Dichtungslösungen, wie beispielsweise Permanentmagnetabdichtungen. Das Prinzip der Permanentmagnetabdichtung liegt in einer Sperrung der polarisierbaren Partikel **15** infolge einer Verfestigung oder einer Kettenbildung in einem abzudichtenden Spalt **43**. Dazu wird mittels eines Permanentmagneten **41** im abzudichtenden Spalt **43** ein dauerhaftes Magnetfeld erzeugt, in dem die Partikel Ketten bilden und infolgedessen nicht aus dem Spalt **43** heraus gelangen können. Mittels eines Eisenrings **42** werden die Feldlinien des Permanentmagnetfeldes in der gewünschten Weise im Spalt **43** ausgerichtet. Für den Fall, dass eine solche Permanentmagnetabdichtung unzureichend ist, beispielsweise weil Trägerflüssigkeit weiter durch den Spalt **43** dringen kann, kann diese auch durch eine Radialwellendichtung **44** ergänzt werden. Die Radialwellendichtung **44** ist auf der von der MRF **11** abgewandten Seite der Permanentmagnetdichtung **41** angeordnet, um einen Kontakt mit verschleißenden Partikeln der MRF **11** zu vermeiden. Die in dem Magnetfeld eingefangenen Partikel sollten auf diese Weise die Dichtlippe nicht beschädigen können.

**[0095]** Die Aktoren **1** der Kupplungen haben deren Verschleiß Rechnung zu tragen. Eine diesbezügliche Darstellung ist in den Fig. 20a und Fig. 20b gezeigt. Fig. 20a zeigt den Aktor einer neuen Kupplung ohne Verschleiß. Das Gewinde **13** ist in axialer Richtung um einen Spalt der Breite  $S_n$  beabstandet. Mit Verschleiß der Kupplung **24** wird die Gewindehülse

**33** bzw. die Gewindespindel **8** in der Kammer immer weiter entgegen der Zustellrichtung verschoben, also fort vom Kupplungsflansch **28**. Der Abstand oder Spalt zwischen dem Gewinde **13** und dem Gehäuse **2** ist daher derart auszulegen, dass die Spindel **33**, **8** und das Gewinde **13** nie in eine Anlage an das Gehäuse **2** gelangt. Andernfalls würde die von der Tellerfeder **30** für ein korrektes Kuppeln auf die Lamellen **29** auszuübende Axialkraft nicht mehr auf die Lamellen **29** aufgebracht, sondern über das Gewinde **13** in das Gehäuse **2** geleitet, so dass die Kupplung **24** rutschen würde. Der Aktor **1** einer einem bestimmten Verschleiß unterlegenen Kupplung ist in **Fig. 20b** gezeigt. Dort besitzt der Spalt zwischen Gewinde **13** und Gehäuse **2** nur noch eine Breite von  $S_v$ .

**[0096]** Die **Fig. 16a** und **Fig. 16b** zeigen eine alternative Ausführungsform eines Aktors, der zur Betätigung der Kupplung **24** der **Fig. 9** bis **Fig. 17** verwendet werden kann, einmal in einem nicht mit einem Magnetfeld beaufschlagten Zustand (**Fig. 16a**) und einmal in einem mit einem Magnetfeld beaufschlagten Zustand (**Fig. 16b**). Die Kupplung **24** kann anstelle des mit Gewindehülse **45** mittels eines Aktors **1**, wie er in den **Fig. 16a** und **Fig. 16b** gezeigt ist, oder mehrerer solcher Aktoren **1** betätigt werden. Der Aktor **1** entspricht im Wesentlichen dem in den **Fig. 1** bis **Fig. 6** gezeigten Aktor **1**. In der dargestellten Ausführungsform besteht sein Gehäuse **2** sowie seine Gewindespindel **8** aus einer Aluminiumlegierung. Durch Verwendung eines solchen Aktors **1** kann die Kupplung **24** besonders klein ausgebildet werden.

**[0097]** In **Fig. 17** ist eine Ausführungsform einer Kupplung **24** gemäß den **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigt, die mit einem Tilger **55** und einem Dämpfer **56** versehen ist. Der Tilger **55** besteht im Wesentlichen aus einem Masseelement, das den Kupplungsflansch **28** in umfänglicher Richtung umgibt und unter Zwischenlage eines Elastomerelements **57** an diesem angeordnet ist. Mittels des Tilgers **55** können bestimmte im Antriebsstrang vorliegenden störende Frequenzen getilgt werden. Der Dämpfer **56** ist an der Riemenscheibe **26** angeordnet und dient einer Dämpfung von Frequenzen im Wesentlichen unabhängig von deren Wert.

**[0098]** Die **Fig. 21a** bis **Fig. 24b** zeigen verschiedene Ausführungsformen für Gewinde **13**, **51**, **52** der Gewindespindel **8** bzw. der Gewindehülse **33** oder **45**. Die **Fig. 21a** und **Fig. 21b** zeigen ein Gewinde, dessen Kerndurchmesser **58** kleiner ist als der Außendurchmesser **59** der Gewindespindel bzw. Gewindehülse. Die Außendurchmesser **59** müssen zur Wahrung eines hydraulischen Gleichgewichts im Aktor **1** beiderseits des Gewindes gleich sein. Mit dieser Variante kann eine schnelle Axialverschiebung Gewindespindel bzw. Gewindehülse und ein schneller Aufbau des Partikelpolsters **40** bewirkt werden, denn mit jeder Umdrehung des Gewindes wird ein relativ

großes Volumen (nämlich das eines Gewindegangs) in einen kleinen Spalt im Bereich des Außendurchmessers **59** gefördert. Die **Fig. 22a** und **Fig. 22b** zeigen ein Gewinde mit nicht linearer Gewindesteigung. Im Bereich einer steilen Gewindesteigung werden in den Gewindegängen befindliche Partikel rasch in axialer Richtung bewegt. Im Endbereich des Gewindes (nahe des Abschnitts **18**) ist dessen Steigung flacher, sodass das Gewinde mit einer möglichst flachen Auflage auf dem Partikelpolster **40** abgestützt sein kann. Die Ausführungsform der **Fig. 23a** und **Fig. 23b** besitzt ein zweigängiges Gewinde mit einem ersten Gang **61** und einem zweiten Gang **62**. Die Ausführungsform der **Fig. 24a** und **Fig. 24b** besitzt ein sechsgängiges Gewinde mit einem ersten Gang **61**, einem zweiten Gang **62**, einem dritten Gang **63**, einem vierten Gang **64**, einem fünften Gang **65** und einem sechsten Gang **66**. Mehrgängige Gewinde ermöglichen einen schnellen Aufbau des Partikelpolsters **40** infolge einer vervielfachten Gewindesteigung. Die maximale Axialverschiebung ist im Vergleich zu einem eingängigen Gewinde jedoch unverändert.

**[0099]** Die Ausführungsformen der **Fig. 21a** bis **Fig. 24b** können besonders gut miteinander kombiniert werden. Ein Beispiel für eine solche Kombination ist ein mehrgängiges Gewinde mit variierendem Spindelkerndurchmesser. Eine solche Kombination ist deshalb sinnvoll, da jeder Parameter (Ganganzahl und Kerndurchmesser) einen anderen Einfluss auf die mit dem Gewinde erzielbare Axialverschiebungs-Umdrehungs-Kurve besitzt. Durch gezielte Auswahl der Gewindeparameter ist es daher möglich, die Axialverschiebung, deren Geschwindigkeit und die davon abhängende Auskuppelzeit zu optimieren.

**[0100]** In **Fig. 25** sind verschiedenen Gewinde mit unterschiedlichen Gewindeparametern vergleichend in einem Axialverschiebungs-Umdrehungs-Diagramm dargestellt. In diesem sind auf der Abszisse die Umdrehungen  $U$  aufgetragen, die die Spindel **8** absolviert. Auf der Ordinate ist die dabei von der Spindel **8** infolge ihrer Wechselwirkung mit der MRF **11** zurückgelegte Axialverschiebung  $S$  aufgetragen. Das Diagramm zeigt vier verschiedene Axialverschiebungs-Umdrehungs-Kurven. Die Kurve **68** ist die einer Spindel **8** mit einfachem Gewinde **13**. Die Kurve **69** ist die einer Spindel **8** mit einem Gewinde **13** mit zwei Gewindegängen (Ausführungsform der **Fig. 23a** und **Fig. 23b**). Die Kurve **70** ist die einer Spindel **8** mit einem Gewinde **13**, wobei die Spindel entsprechend der Ausführungsform der **Fig. 21a** und **Fig. 21b** verschiedene Durchmesser aufweist. Die Kurve **71** ist die einer Spindel **8** mit einem Gewinde **13** mit zwei Gewindegängen (gemäß der Ausführungsform der **Fig. 23a** und **Fig. 23b**) kombiniert mit unterschiedlichen Spindeldurchmessern (Ausführungsform der **Fig. 21a** und **Fig. 21b**). Das Diagramm der **Fig. 25** zeigt deutlich, dass die Spindel der Kurve

**71** aufgrund ihres schnellen Ansprechverhaltens gegenüber den übrigen Spindeln zu bevorzugen ist.

Bezugszeichenliste

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| <b>1</b>   | Aktor                              |
| <b>2</b>   | Gehäuse                            |
| <b>3</b>   | Rohr                               |
| <b>4</b>   | rechter Deckel                     |
| <b>5</b>   | linker Deckel                      |
| <b>6</b>   | O-Dichtring                        |
| <b>7</b>   | Gleitlager                         |
| <b>8</b>   | Gewindespindel                     |
| <b>9</b>   | Längsachse                         |
| <b>10</b>  | Magnet                             |
| <b>11</b>  | magnetorheologische Flüssigkeit    |
| <b>12</b>  | Gewindekern                        |
| <b>12a</b> | Gewindekernabschnitt               |
| <b>12b</b> | Gewindekernabschnitt               |
| <b>13</b>  | Gewinde                            |
| <b>14</b>  | Trägerflüssigkeit                  |
| <b>15</b>  | Magnetisch polarisierbare Partikel |
| <b>16</b>  | zu betätigende Einheit             |
| <b>17</b>  | Feder                              |
| <b>18</b>  | Abschnitt (hinter Gewinde)         |
| <b>19</b>  | Abschnitt (vor Gewinde)            |
| <b>20</b>  | Stempel                            |
| <b>21</b>  | Sand                               |
| <b>22</b>  | Feldlinien                         |
| <b>23</b>  | Bohrung                            |
| <b>24</b>  | Kupplung                           |
| <b>25</b>  | Motorwelle                         |
| <b>26</b>  | Riemenscheibe                      |
| <b>27</b>  | Zentralschraube                    |
| <b>28</b>  | Kupplungsflansch                   |
| <b>29</b>  | Lamellen / Lamellenpaket           |
| <b>30</b>  | Tellerfeder                        |
| <b>31</b>  | Axialführung                       |
| <b>32</b>  | Gleitlager                         |
| <b>33</b>  | Gewindehülse                       |
| <b>34</b>  | Lager                              |
| <b>35</b>  | Eisenführung                       |
| <b>36</b>  | Spule                              |
| <b>37</b>  | Permanentmagnetdichtung            |
| <b>38</b>  | Radialwellendichtring              |
| <b>39</b>  | Kammer                             |
| <b>40</b>  | Polster                            |
| <b>41</b>  | Permanentmagnet                    |
| <b>42</b>  | Eisenring                          |
| <b>43</b>  | Spalt                              |
| <b>44</b>  | Radialwellendichtung               |
| <b>45</b>  | Gewindehülse                       |
| <b>46</b>  | Lager                              |
| <b>47</b>  | Gehäuse                            |
| <b>48</b>  | Kammer                             |
| <b>49</b>  | Hülsenabschnitt                    |
| <b>50</b>  | Kragen                             |
| <b>51</b>  | Innengewinde                       |
| <b>52</b>  | Außengewinde                       |
| <b>53</b>  | Spule                              |

|           |                                                                 |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>54</b> | Masse                                                           |
| <b>55</b> | Tilger                                                          |
| <b>56</b> | Dämpfer                                                         |
| <b>57</b> | Elastomerelement                                                |
| <b>58</b> | Kerndurchmesser                                                 |
| <b>59</b> | Außendurchmesser                                                |
| <b>60</b> | Dichtung                                                        |
| <b>61</b> | erster Gang                                                     |
| <b>62</b> | zweiter Gang                                                    |
| <b>63</b> | dritter Gang                                                    |
| <b>64</b> | vierter Gang                                                    |
| <b>65</b> | fünfter Gang                                                    |
| <b>66</b> | sechster Gang                                                   |
| <b>67</b> | Partikelketten                                                  |
| <b>68</b> | Kurve Einfachgewinde                                            |
| <b>69</b> | Kurve Doppelgewinde                                             |
| <b>70</b> | Kurve unterschiedliche Spindelkerndurchmesser                   |
| <b>71</b> | Kurve unterschiedliche Spindelkerndurchmesser und Doppelgewinde |
| <b>B</b>  | Magnetfeld                                                      |
| <b>Sn</b> | Spalt neu                                                       |
| <b>Sv</b> | Spalt verschlissen                                              |
| <b>S</b>  | Weg                                                             |
| <b>U</b>  | Umdrehung                                                       |

**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**

- EP 1438517 B1 [0003]
- EP 2060800 B1 [0004]
- WO 00/53936 A1 [0005]
- DE 19708399 A1 [0006]

**Patentansprüche**

1. Aktor (1) für eine Kraftfahrzeugkupplung (24) mit einem Raum (39), in dem eine magnetorheologische Flüssigkeit (11) mit in einer Trägerflüssigkeit (14) dispergierten magnetisch polarisierbaren Partikeln (15) enthalten ist, wobei der Raum (39) von einem Gehäuse (2) und in einer darin rotierenden Spindel (8, 33, 45), insbesondere Gewindespindel, gebildet ist, wobei zur Abdichtung eines zwischen dem Gehäuse (2) und der Spindel (8, 33, 45) vorliegenden Spalts (43) eine Permanentmagnetdichtung (37) mit einem Magnet (41), insbesondere Permanentmagnet, und einem Feldführungselement (42) aus einem magnetisierbaren Material genutzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Permanentmagnet (41) und der Feldführungsring (42) auf einer Seite des abzudichtenden Spalts (43) angeordnet sind.

2. Aktor für eine Kraftfahrzeugkupplung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl der Magnet (41) als auch das Feldführungselement (42) konzentrisch außerhalb des die magnetorheologische Flüssigkeit (11) enthaltenden Raums (39) angeordnet sind.

3. Aktor für eine Kraftfahrzeugkupplung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Permanentmagnetdichtung (37) durch eine Wellendichtung (44), insbesondere Wellendichtring, Lippendichtung, Radialwellendichtring oder Axialwellendichtringergänzt ist, die auf der von dem die magnetorheologische Flüssigkeit (11) enthaltenden Raum (39) abgewandten Seite der Permanentdichtung (37) angeordnet ist.

4. Kupplung mit einem Aktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

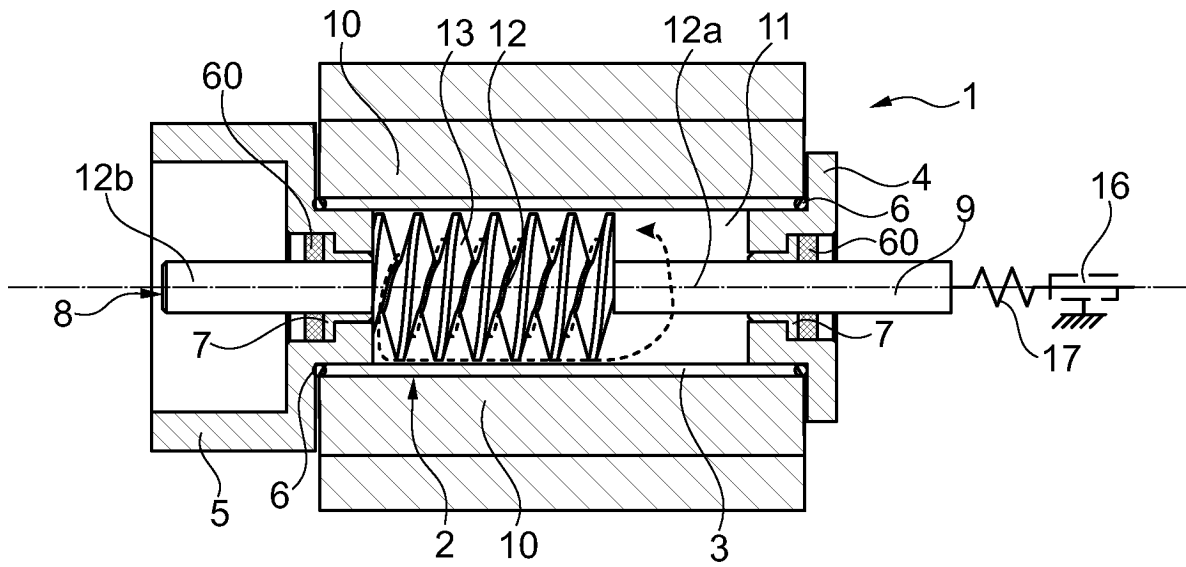


Fig. 1

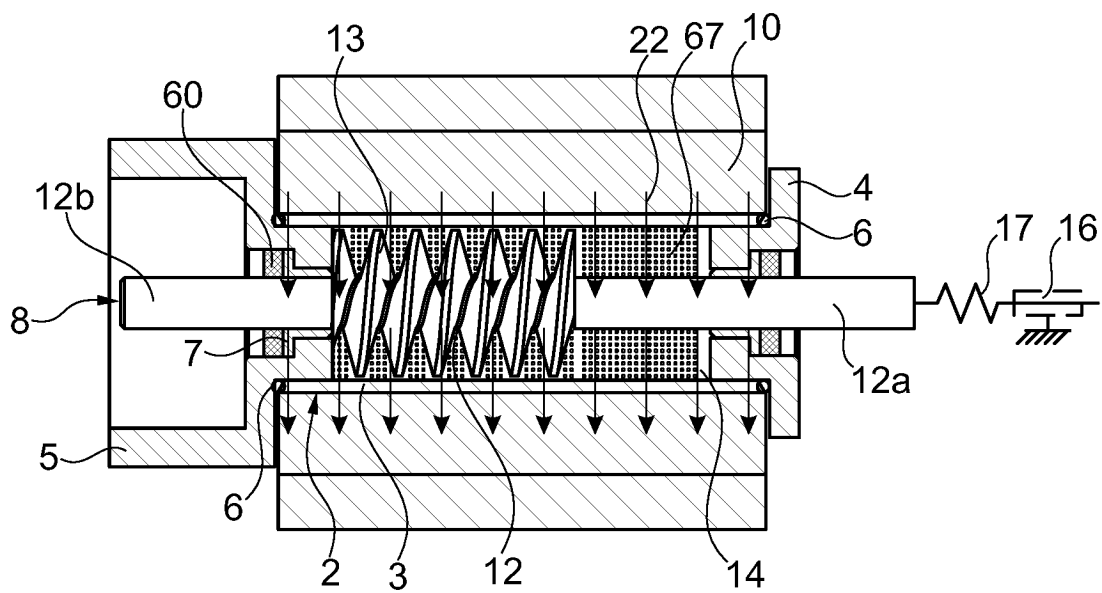


Fig. 2



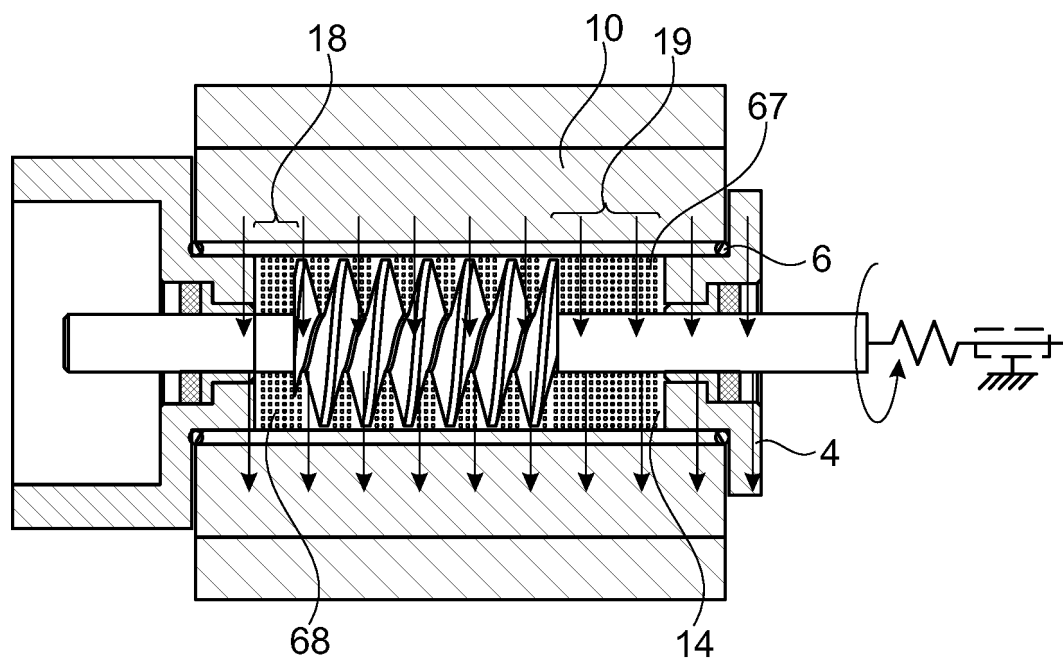


Fig. 3

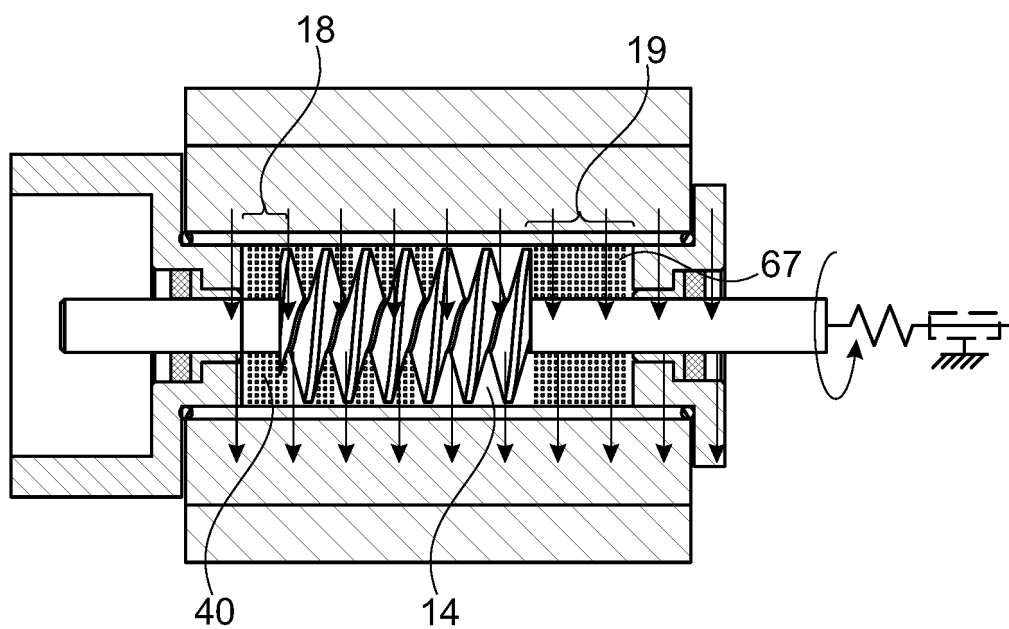


Fig. 4

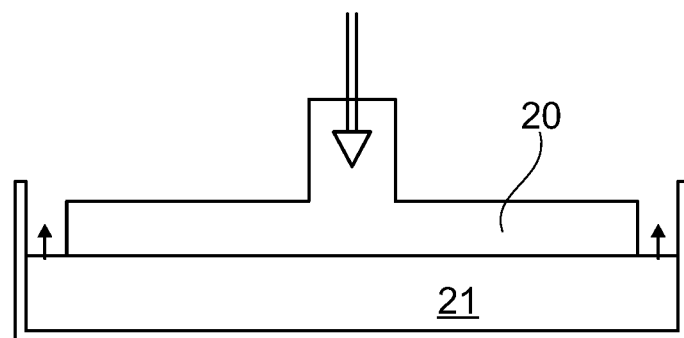


Fig. 5

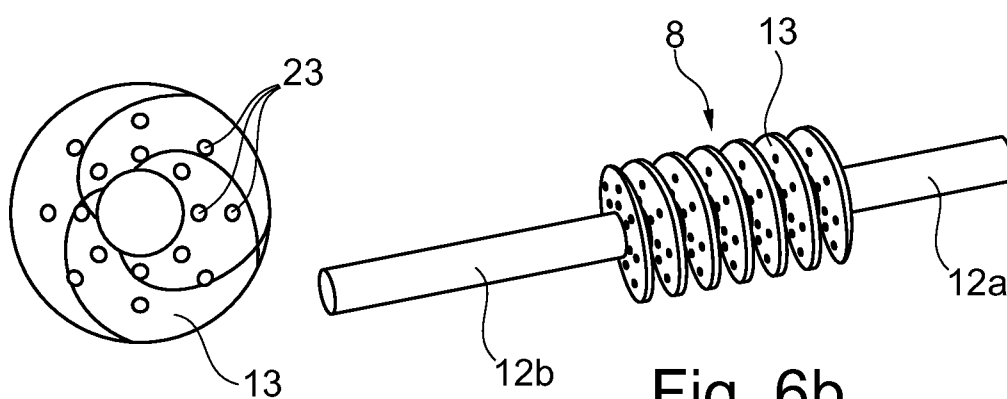


Fig. 6a

Fig. 6b

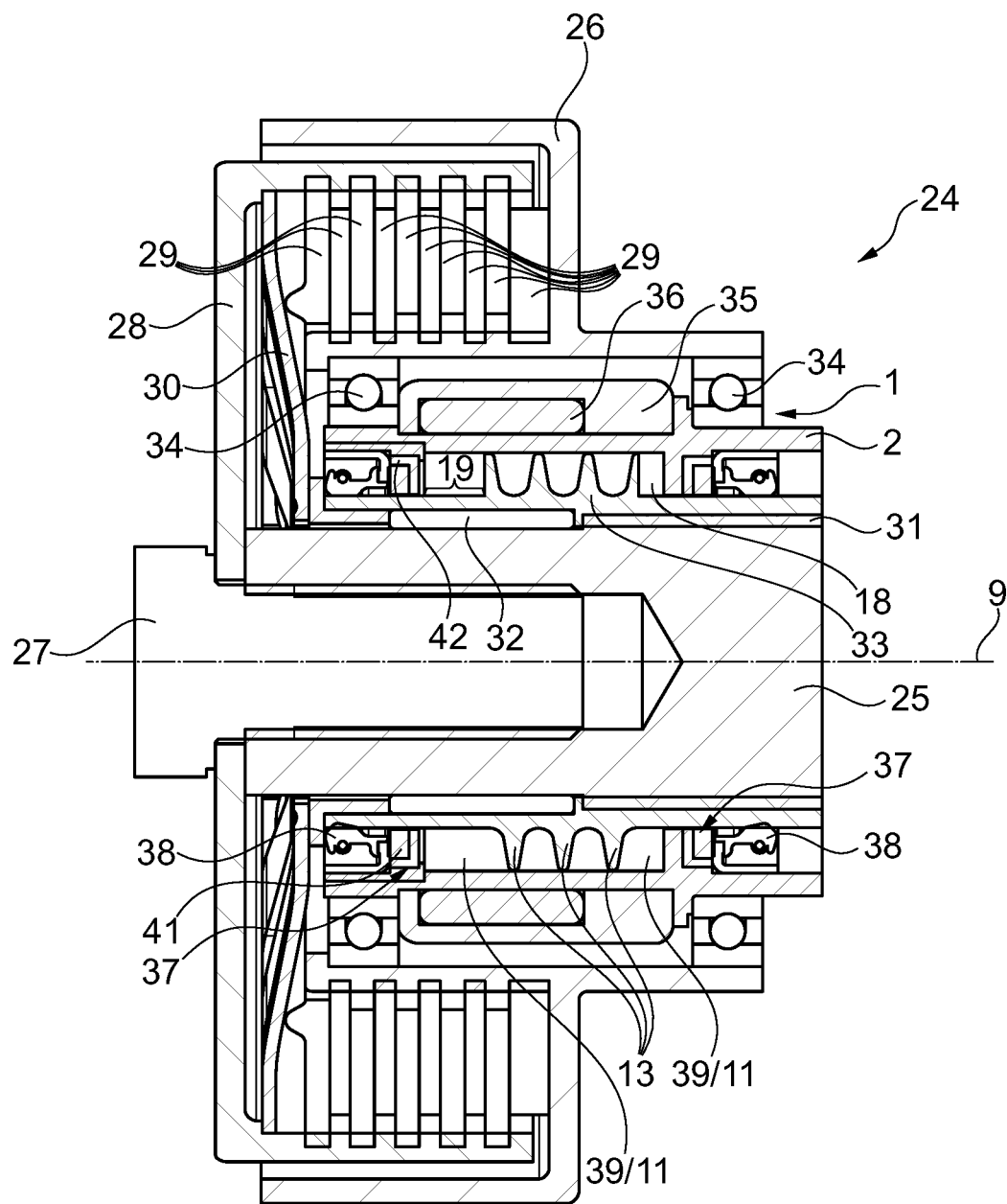


Fig. 7

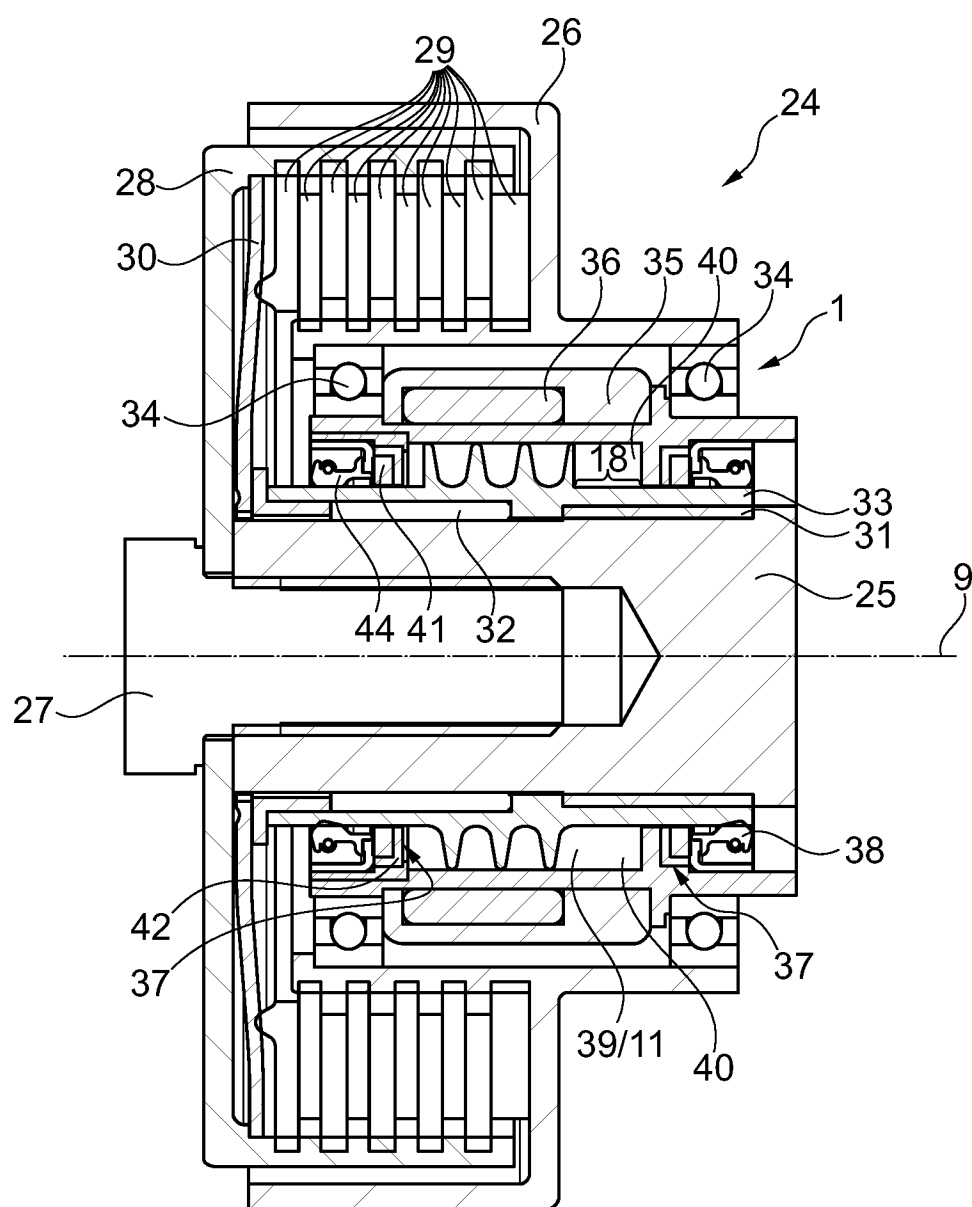


Fig. 8

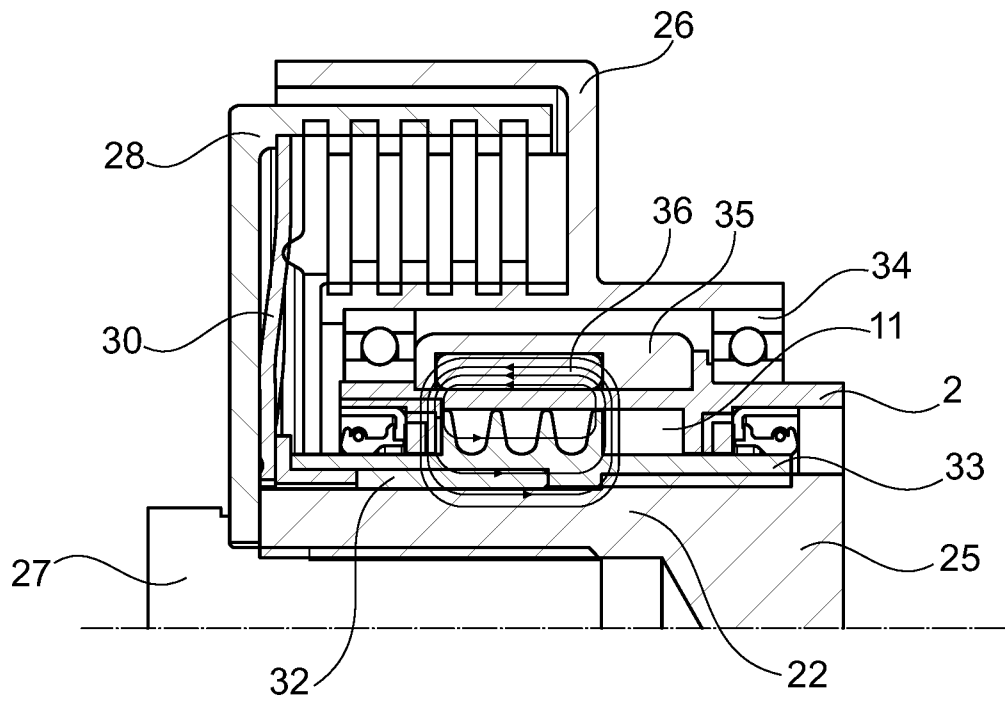


Fig. 8a

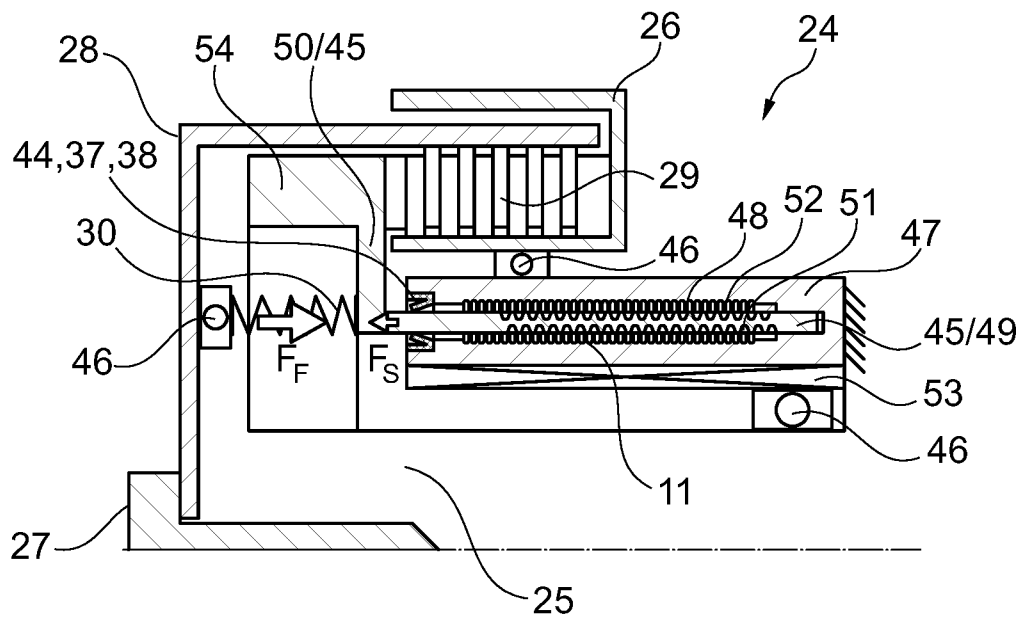


Fig. 9

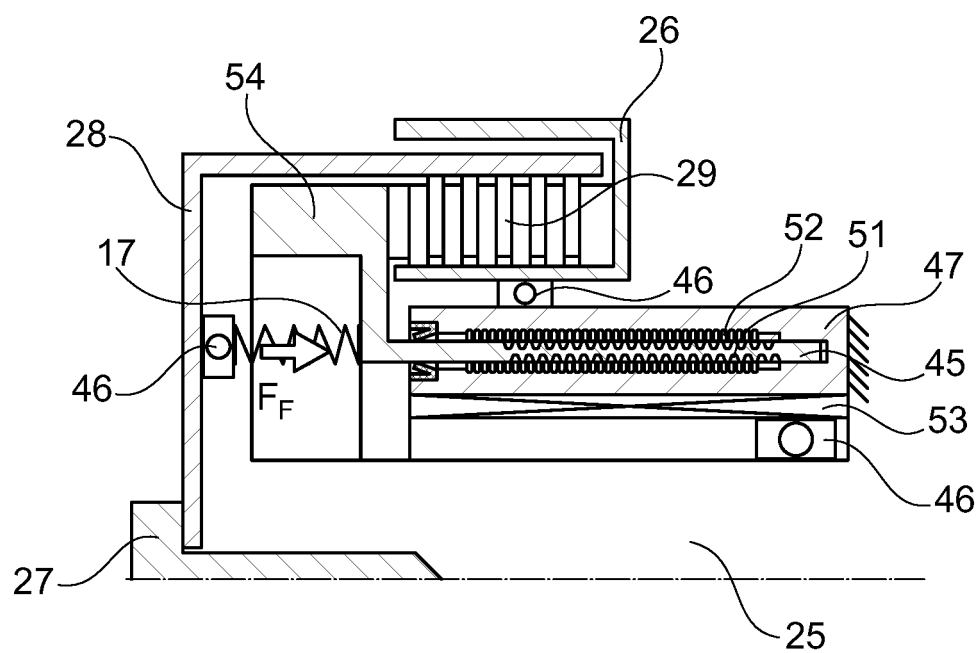


Fig. 10

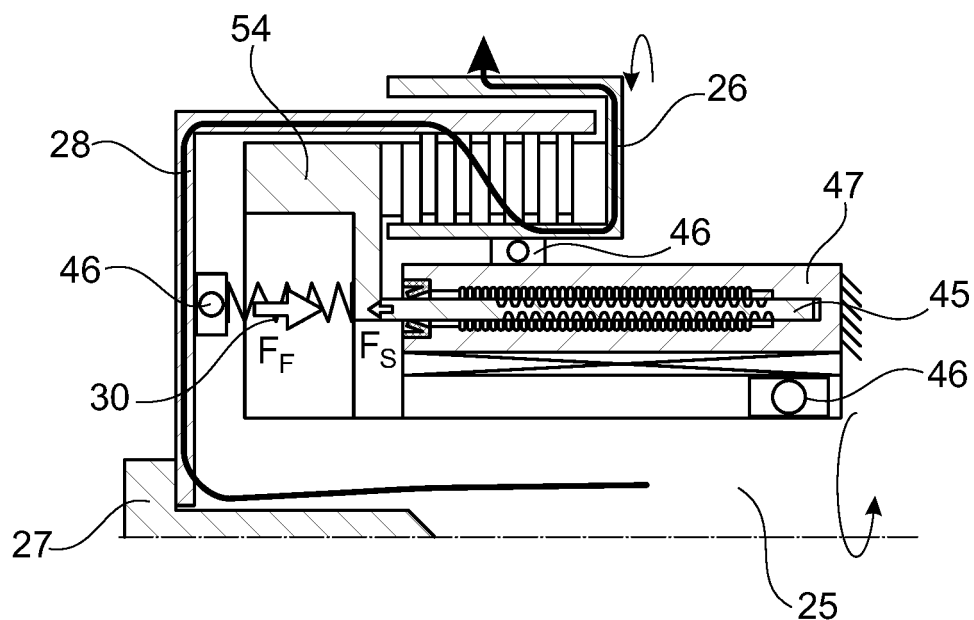


Fig. 11

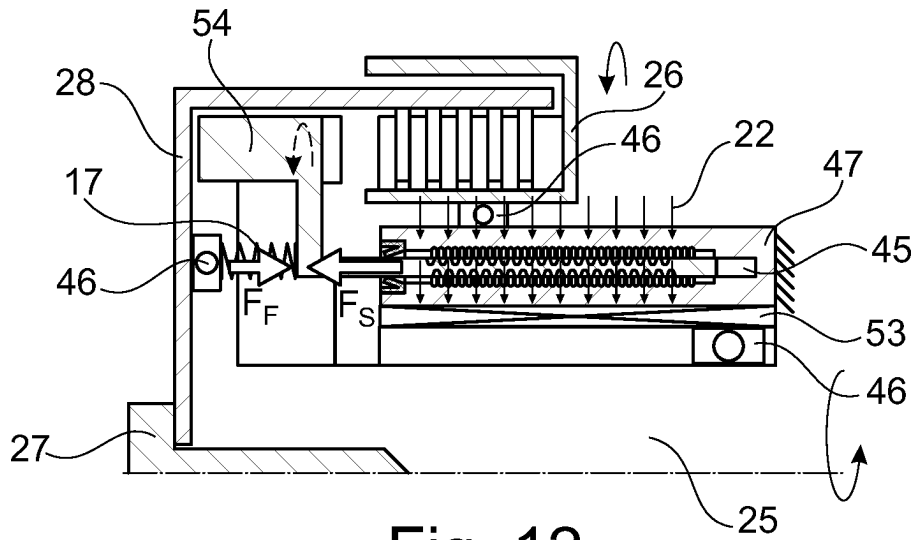


Fig. 12

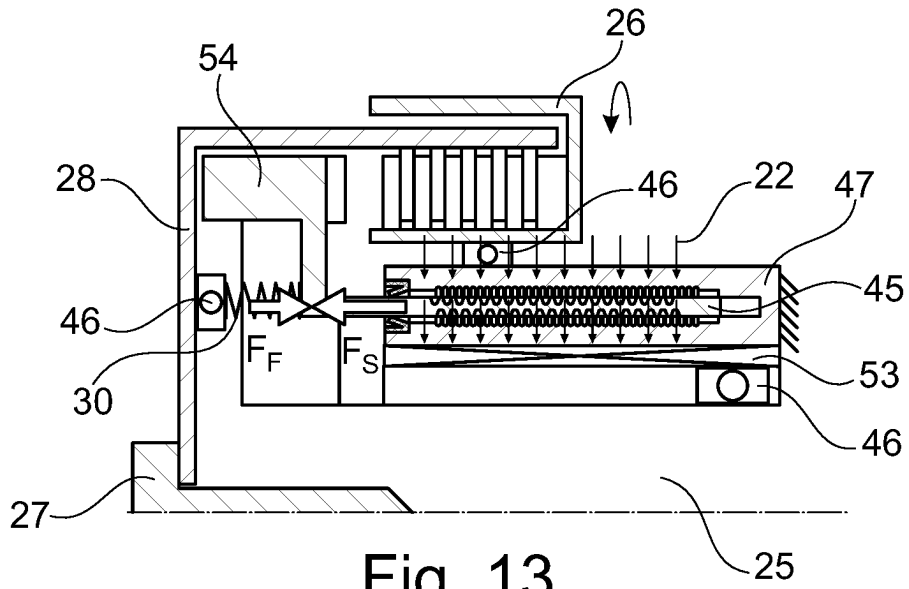


Fig. 13

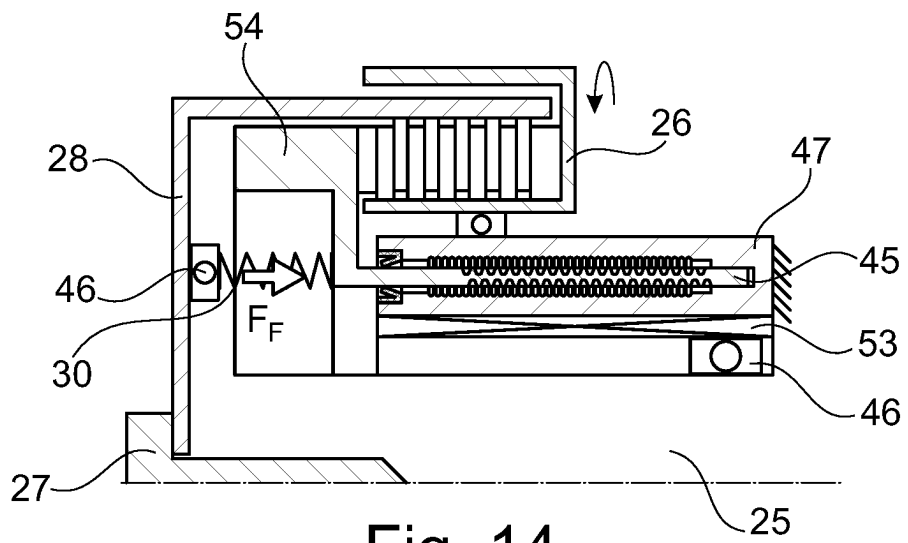


Fig. 14

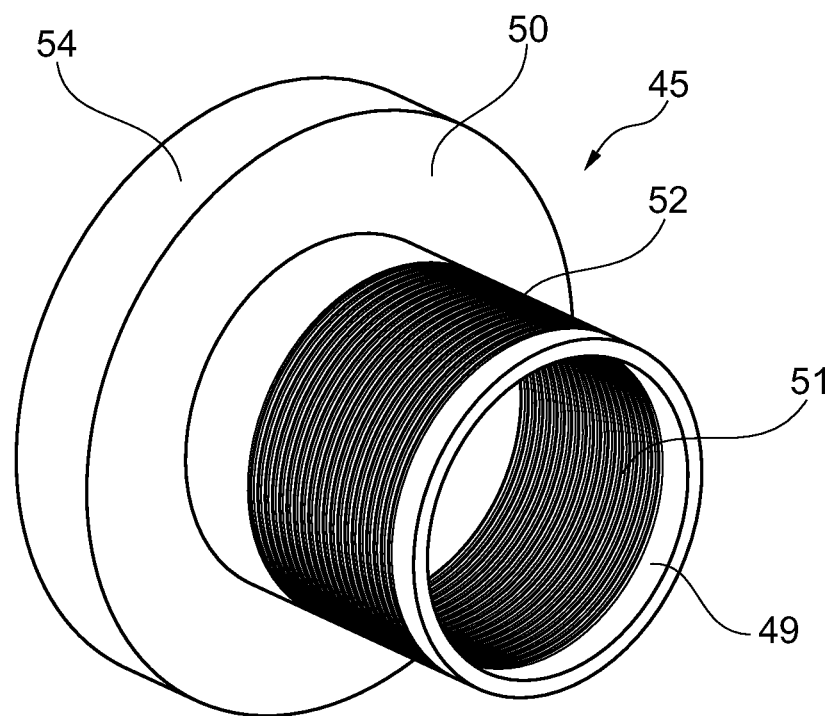


Fig. 15

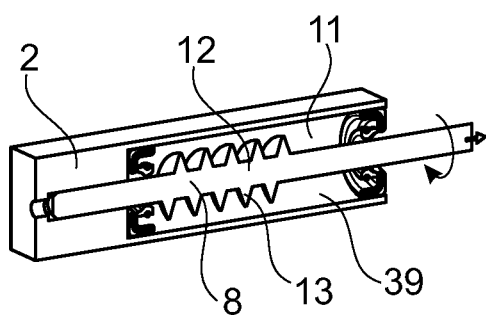


Fig. 16a

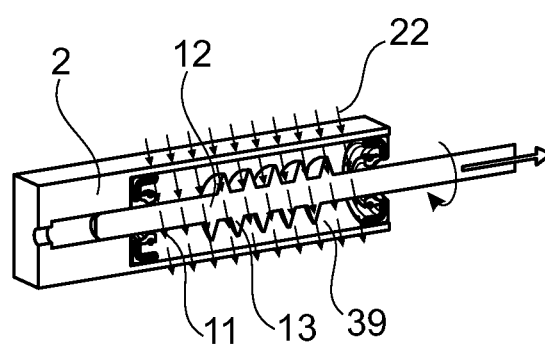


Fig. 16b



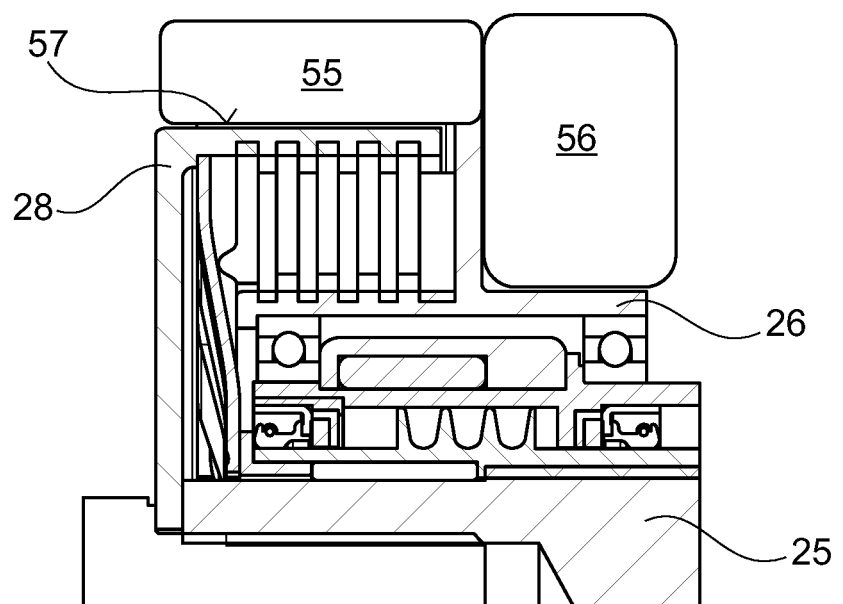


Fig. 17

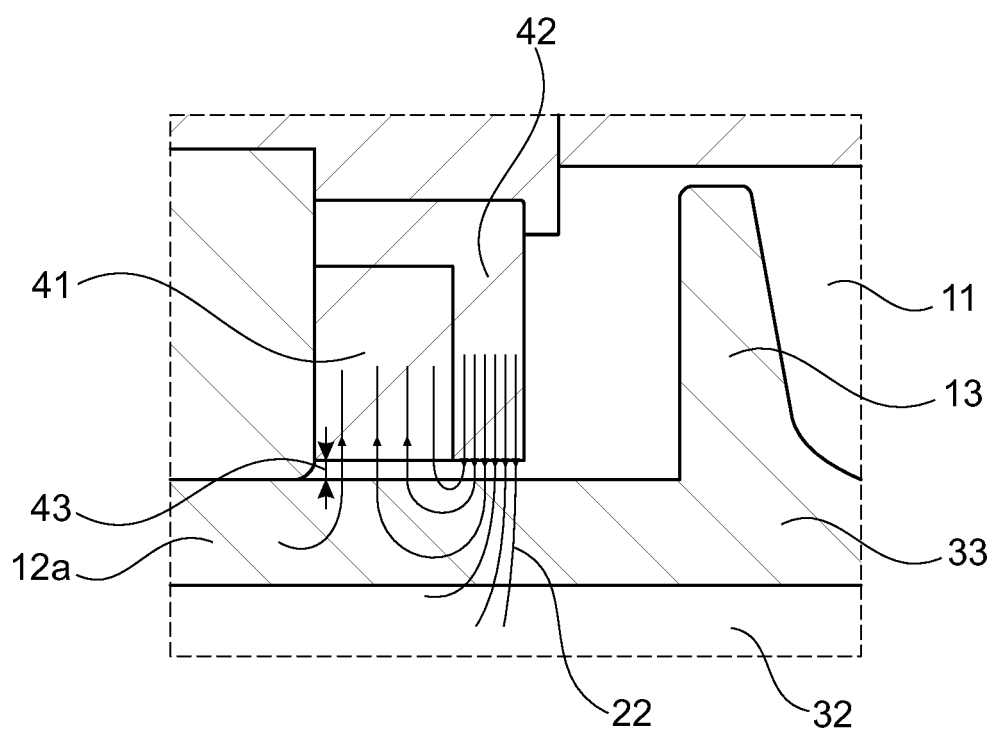


Fig. 18

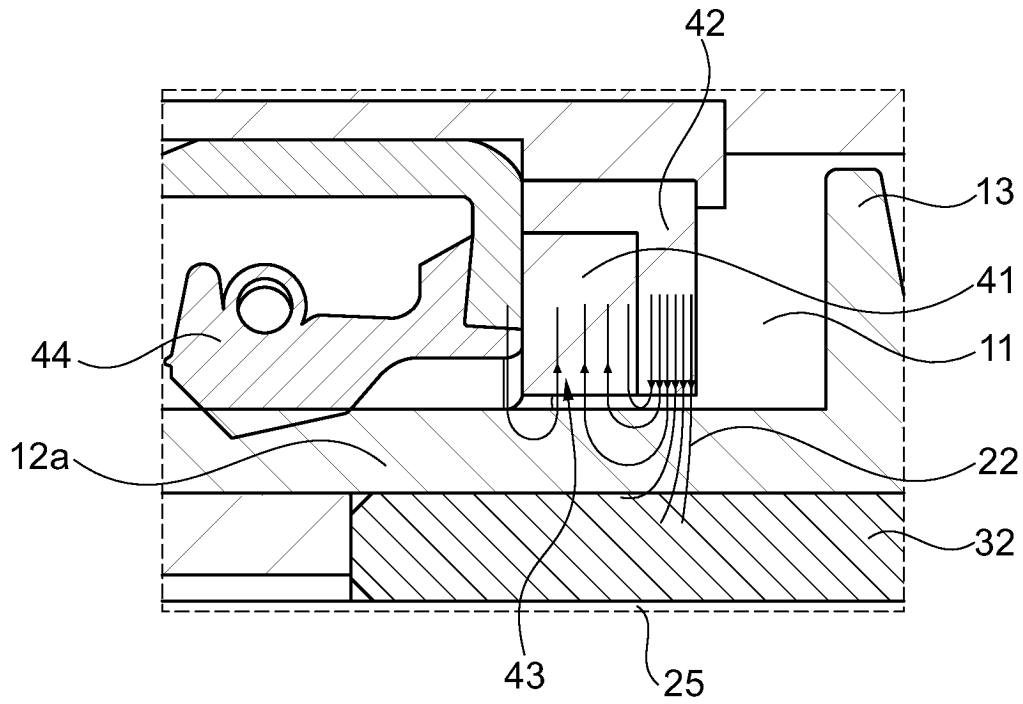


Fig. 19

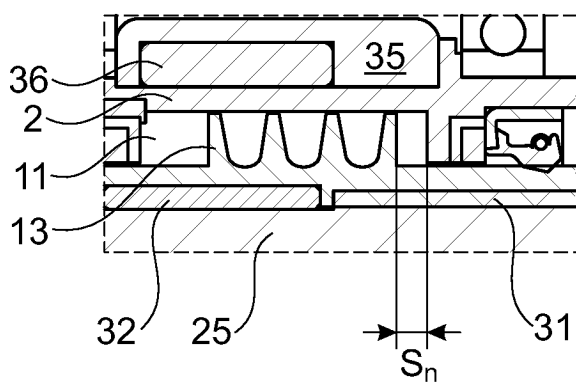


Fig. 20a

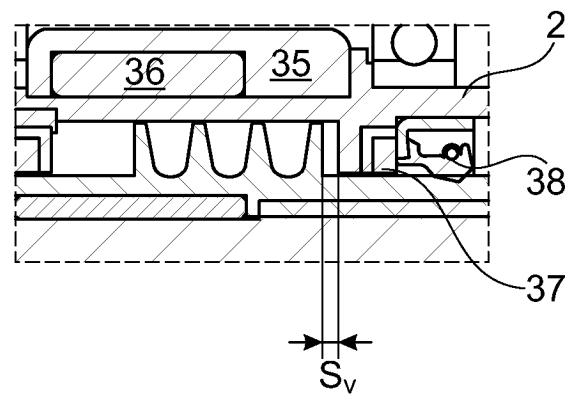


Fig. 20b

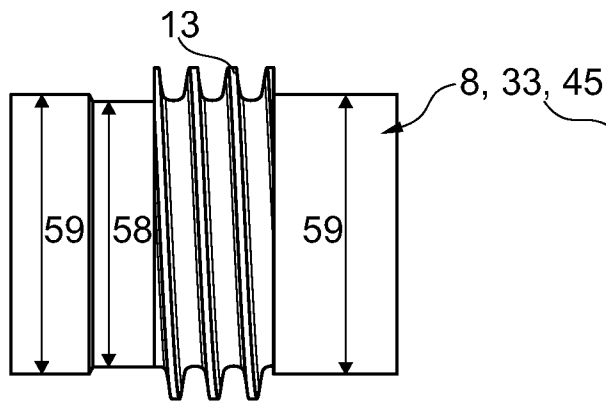


Fig. 21a

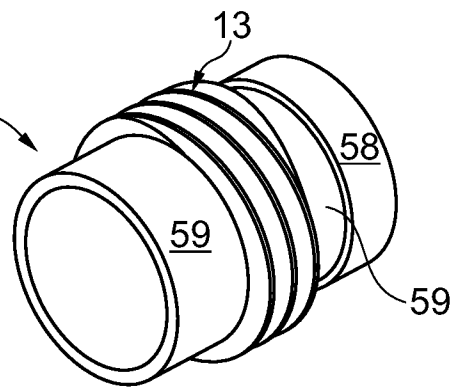


Fig. 21b

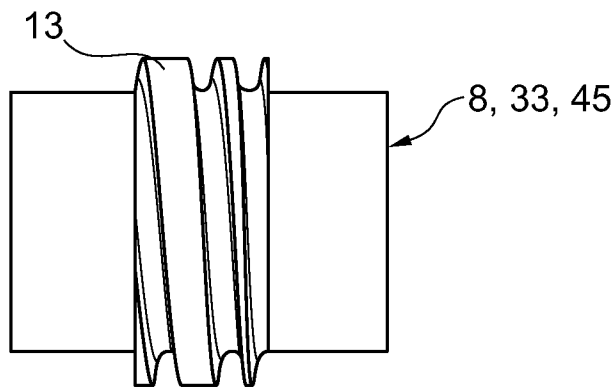


Fig. 22a

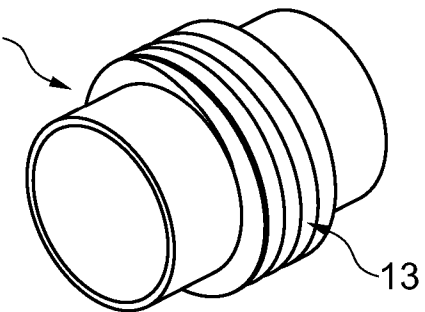


Fig. 22b

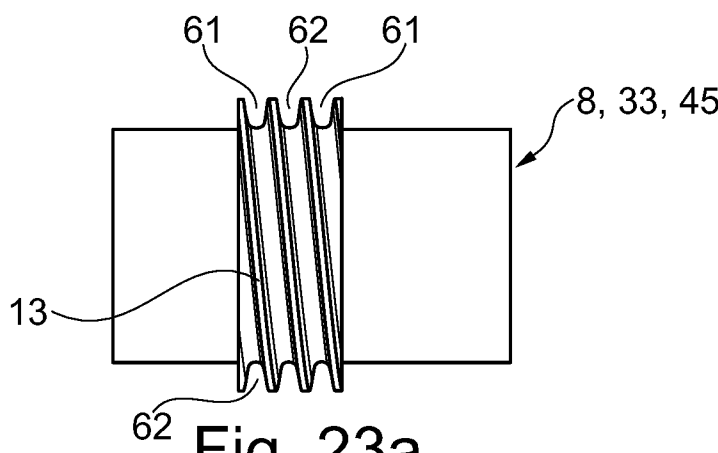


Fig. 23a

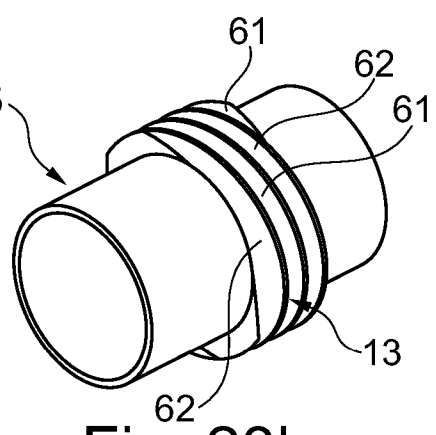


Fig. 23b

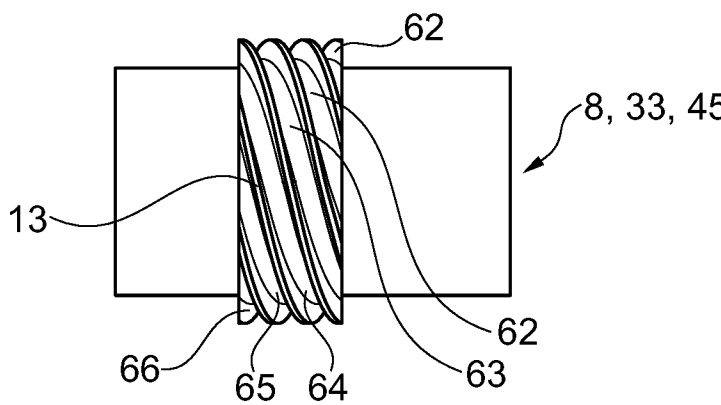


Fig. 24a

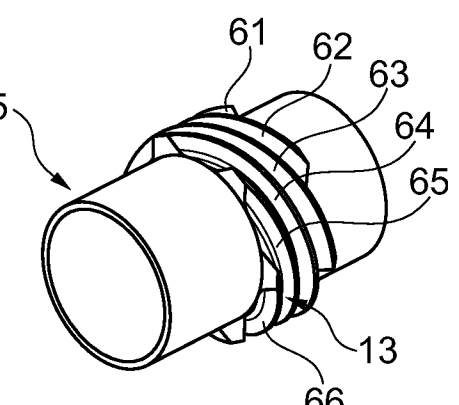


Fig. 24b

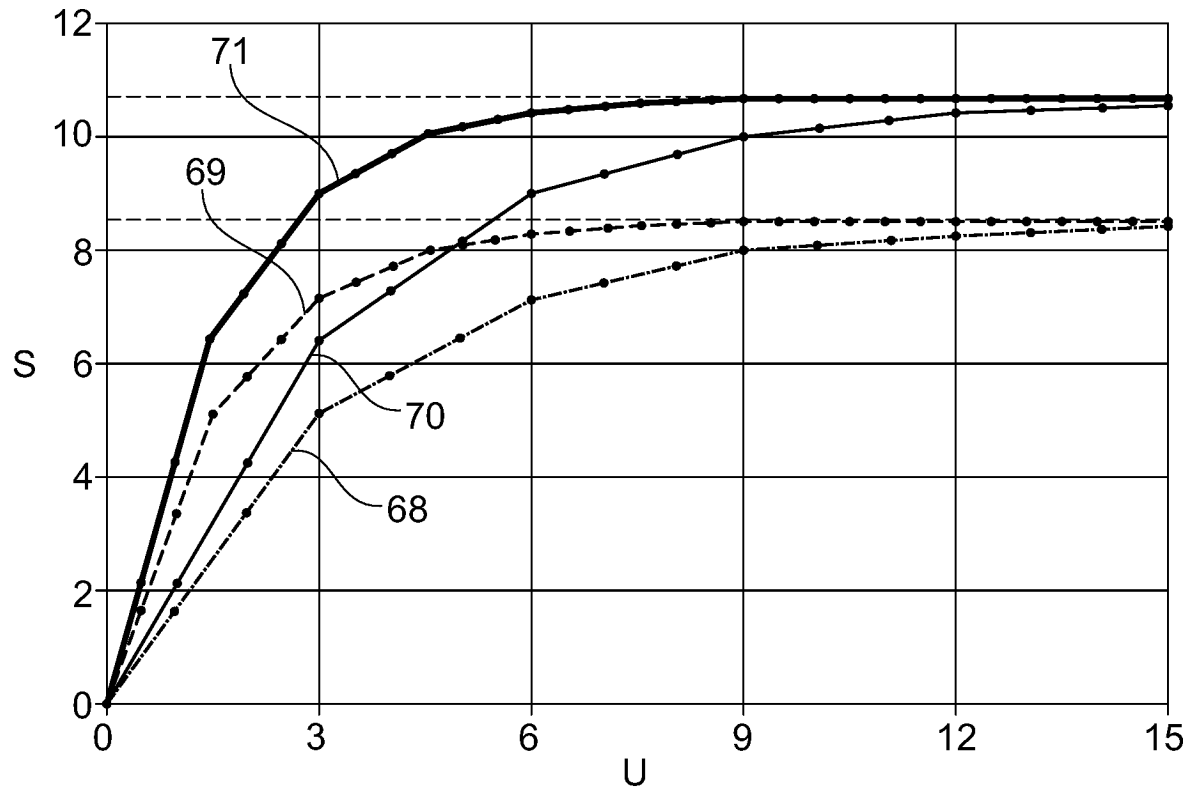


Fig. 25

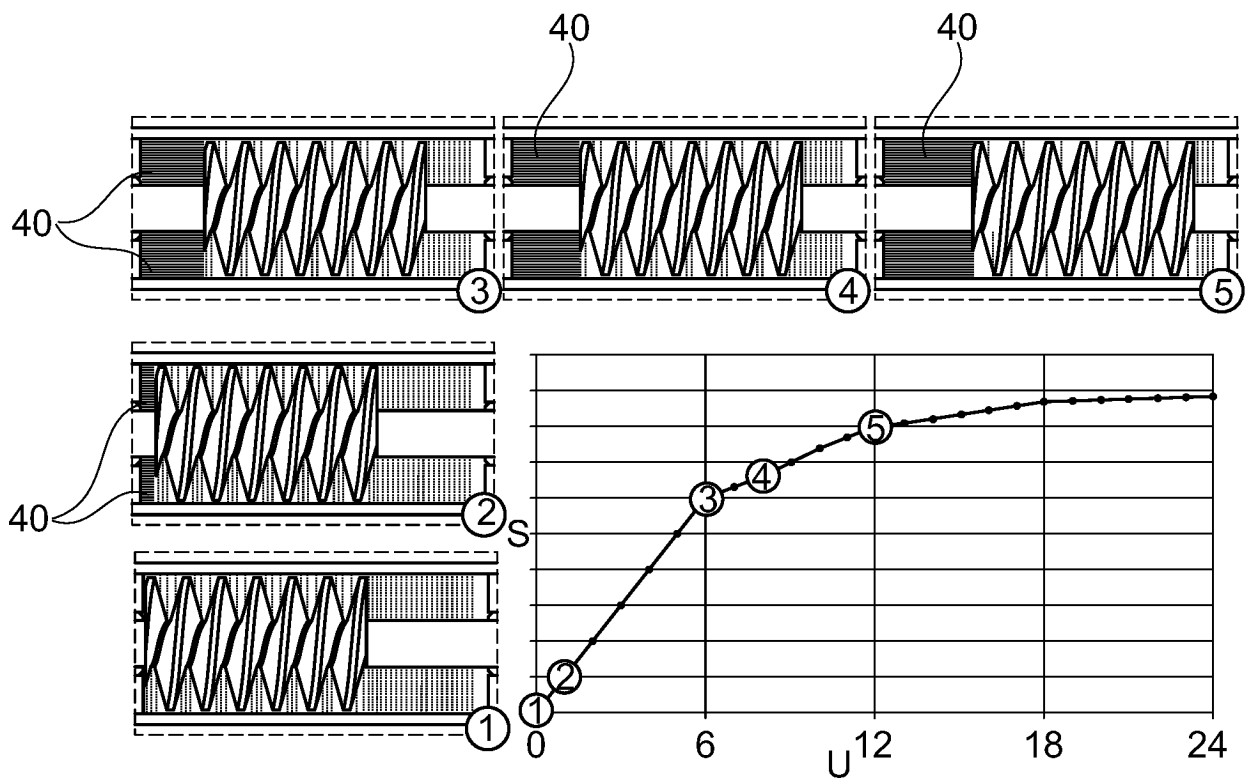


Fig. 26

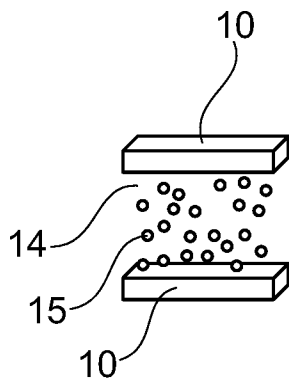


Fig. 27a

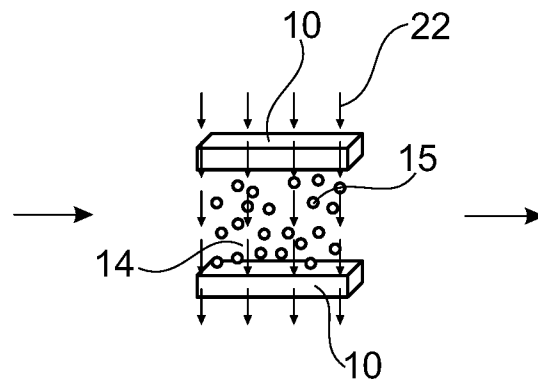


Fig. 27b

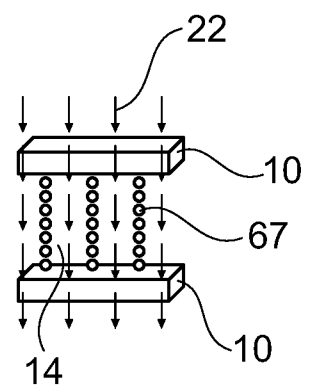


Fig. 27c

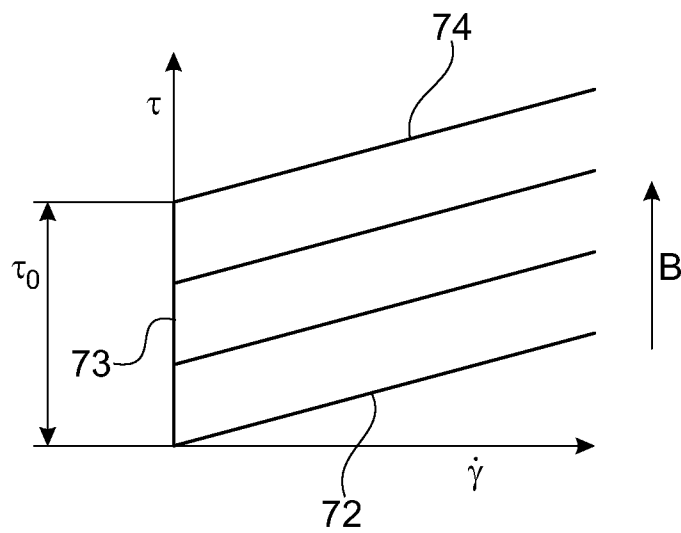


Fig. 27d

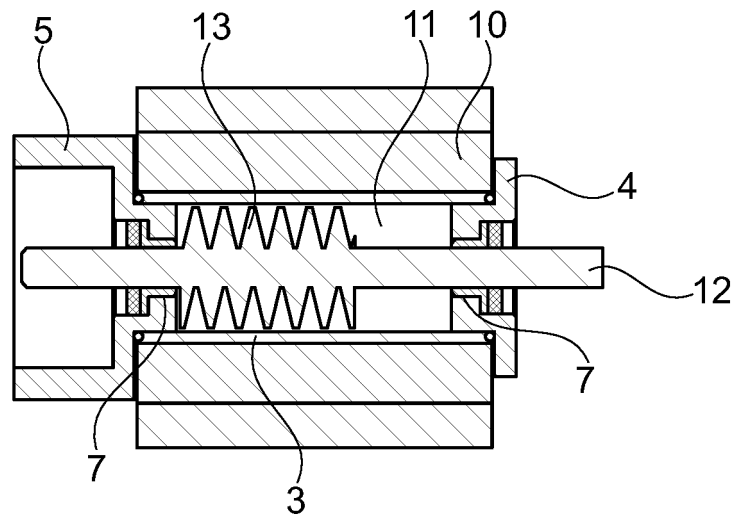


Fig. 28a

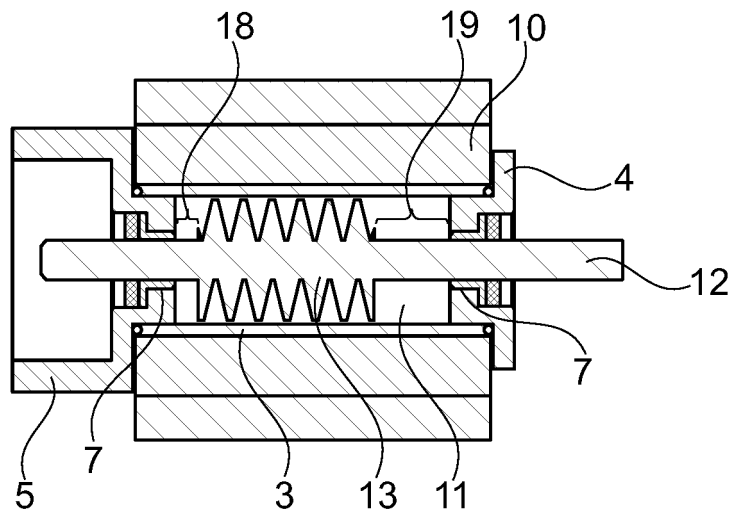


Fig. 28b

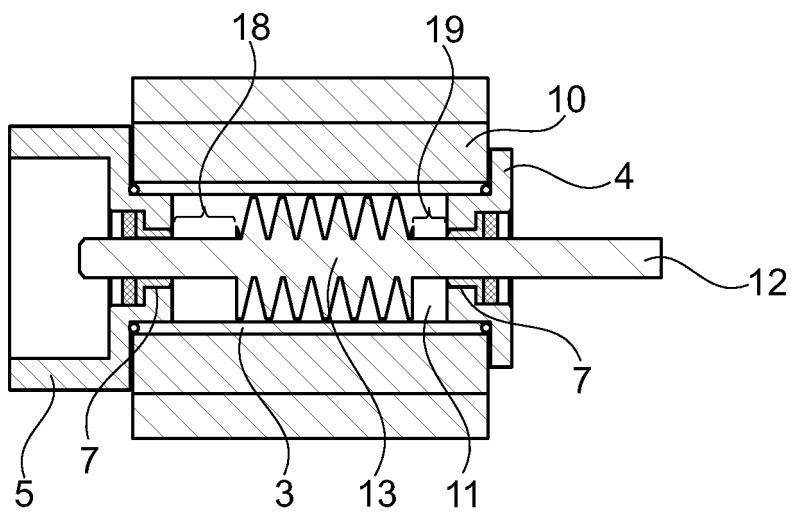


Fig. 28c