(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 031 981 B4** 2023.01.12

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2007 031 981.0**
(22) Anmeldetag: **10.07.2007**
(43) Offenlegungstag: **15.01.2009**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **12.01.2023**

(51) Int Cl.: ***F16K 31/06*** (2006.01)
B60T 8/36 (2006.01)

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

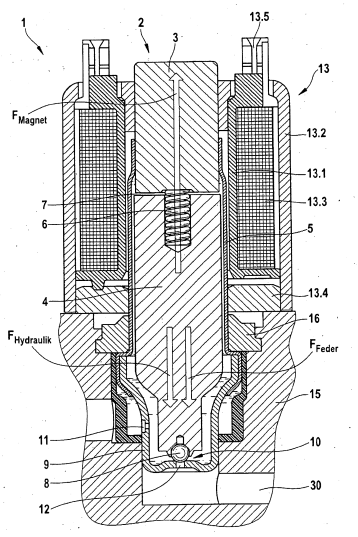
(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Steingass, Stephan, 55237 Bornheim, DE; Tischer, Michael, 74232 Abstatt, DE; Rietsche, Michael, 77975 Ringsheim, DE; Hilden, Michael, 74360 Ilsfeld, DE; Eisenlauer, Michael, 71563 Affalterbach, DE; Ambrosi, Massimiliano, 71672 Marbach, DE; Heyer, Klaus, 71691 Freiberg, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Magnetventil**

(57) Hauptanspruch: Betriebsverfahren für ein Magnetventil mit einer Magnetbaugruppe (13) und einer Ventilpatrone (22, 42), die einen Polkern (23, 43), einen mit dem Polkern (23, 43) verbundenen Ventileinsatz (25, 45), einen innerhalb des Ventileinsatzes (25, 45) zwischen einer Geschlossenposition und einer Offenposition axial beweglich geführten Anker (24, 44), der mit einem Schließelement (28, 48) gekoppelt ist, und einen mit dem Ventileinsatz (25, 45) verbundenen Ventilkörper (29, 49) mit einem Hauptventilsitz (30, 50) umfasst, der zwischen mindestens einer ersten Strömungsöffnung (31, 51) und einer zweiten Strömungsöffnung (32, 52) angeordnet ist, wobei der axial bewegliche Anker (24, 44) bei einer Bestromung der Magnetbaugruppe (13) durch eine erzeugte Magnetkraft (F_{Magnet}) innerhalb des Ventileinsatzes (25, 45) gegen eine Federkraft (F_{feder}) einer Rückstellfeder (26, 46) und gegen eine Fluidkraft ($F_{Hydraulik}$) in Richtung Polkern (23, 43) bewegt wird, um das Schlie-ßelement (28, 48) aus dem Hauptventilsitz (30, 50) zu heben und einen Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung (31, 51) und der zweiten Strömungsöffnung (32, 52) zu ermöglichen, und wobei der axial bewegliche Anker (24, 44) durch die Federkraft (F_{Feder}) der Rückstellfeder (26, 46) und durch die Fluidkraft ($F_{Hydraulik}$) innerhalb des Ventileinsatzes (25, 45) vom Polkern (23, 43) weg bewegt wird, um das Schließelement (28, 48) dichtend in den Hauptventilsitz (30, 50) zu drücken und den Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen, ersten Strömungsöffnung (31, 51) und der zweiten Strömungsöffnung (32, 52) zu unterbrechen, wobei der Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung (31, 51) und der zweiten Strömungsöffnung (32, 52) in hubschließender Richtung erfolgt und die Verläufe der Magnetkraft (F_{Magnet}), der Federkraft (F_{Feder}) und der Fluidkraft ($F_{Hydraulik}$) über den Hubverlauf des -Ankers (24, 44) und des Schließelements (28, 48) so kombiniert sind, dass zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition des Ankers (24, 44) und des Schließelements (28, 48) mindestens ein weiterer stabiler Arbeitspunkt einstellbar ist, der einen Kräftegleichgewichtspunkt mit einem negativen Gesamtkraftgradienten repräsentiert, wobei der Anker (24, 44) mit dem Schließelement (28, 48) durch Einstellen der Stromstärke zur Bestromung der Magnetbaugruppe, (13) um einen Teilhub bewegt wird, um das Schließelement (28, 48) aus dem Hauptventilsitz (30, 50) zu heben und das Magnetventil (1) in einem quasistationären teilweise geöffneten Zustand zu betreiben, wobei die Stromstärke durch Vorgabe eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses eingestellt wird.



(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 031 981 B4** 2023.01.12

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	**6 786 432**	**B1**
US	**7 036 788**	**B1**
WO	**01/ 36 243**	**A1**

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für ein Magnetventil.

[0002] Ein herkömmliches Magnetventil, insbesondere für ein Hydraulikaggregat, welches beispielsweise in einem Antiblockiersystem (ABS) oder einem Antriebsschlupfregelsystem (ASR-System) oder einem elektronischen Stabilitätsprogrammsystem (ESP-System) eingesetzt wird, ist in **Fig. 1** dargestellt. Wie aus **Fig. 1** ersichtlich ist, umfasst ein herkömmliches stromlos geschlossenes Magnetventil 1, das als Schaltventil ausgeführt ist, eine Ventilpatrone 2 und eine Magnetbaugruppe 13. Die Ventilpatrone 2 umfasst einen Polkern 3, einen mit dem Polkern 3 verbundenen Ventileinsatz 5, der als Hülse ausgeführt ist, einen innerhalb des Ventileinsatzes 5 zwischen einer Geschlossenposition und einer Offenposition axial beweglich geführten Anker 4, der mit einem Schließelement 8 gekoppelt ist, und einen mit dem Ventileinsatz 5 verbundenen Ventilkörper 9 mit einem Hauptventilsitz 10, der zwischen mindestens einer ersten Strömungsöffnung 11 und einer zweiten Strömungsöffnung 12 angeordnet ist. Der Ventilkörper 9 ist ebenfalls als Hülse ausgeführt. Die Magnetbaugruppe 13 umfasst einen Wicklungsträger 13.1, einen Gehäusemantel 13.2, eine Spulenwicklung 13.3 mit elektrischen Anschlüssen 13.5 und eine Abdeckscheibe 13.4. Der axial bewegliche Anker 4 wird bei einer Bestromung der Magnetbaugruppe 13, d.h. bei einem über die elektrischen Anschlüsse 13.5 an die Spulenwicklung angelegten Strom, durch eine erzeugte Magnetkraft F_{Magnet} innerhalb des Ventileinsatzes 5 gegen eine Federkraft F_{Feder} einer Rückstellfeder 6 und gegen eine Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ gegen den Polkern 3 bewegt, um das Schließelement 8 aus dem Hauptventilsitz 10 zu heben und einen Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung 11 und der zweiten Strömungsöffnung 12 zu ermöglichen. Der maximal mögliche Hub des Ankers 4 bzw. des Schließelements 8 wird durch den Luftspalt 7 zwischen dem Polkern 3 und dem Anker 4 vorgegeben. Um das Schließelement 8 dichtend in den Hauptventilsitz 10 zu drücken und den Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung 11 und der zweiten Strömungsöffnung 12 zu unterbrechen, wird der axial bewegliche Anker 4 mit dem Schließelement 8 durch die Federkraft F_{Feder} der Rückstellfeder 6 und durch die Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ innerhalb des Ventileinsatzes 5 vom Polkern 3 in Richtung Hauptventilsitz 10 weg bewegt. Der Polkern 3 ist beispielsweise durch eine Schweißnaht fluiddicht mit dem Ventileinsatz 5 verbunden. Zudem ist das dargestellte Magnetventil 1 über einen Verstemmflansch 16 mit einem Fluidaggregateblock 15 verstemmt. Die Wirkungsrichtungen der Federkraft F_{Feder}, der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ und der Magnetkraft F_{Magnet} sind in **Fig. 1** durch Pfeile dargestellt.

[0003] Auslassventile im ABS/ESP-System sind bisher als reine Schaltventile ausgeführt, welche quasistationär lediglich vollständig- geöffnet oder vollständig geschlossen betrieben werden können. Das Auslassventil wird als nicht kontinuierliches Schaltventil typischerweise in hubschließende Richtung durchströmt. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass hohe Raddrücke die Ventildichtheit unterstützen. Damit reichen geringe Federvorspannungen aus, was ein geringeres Gesamtkraftniveau und damit schnelle Ventilreaktionen erlaubt.

[0004] Aus der US 6,786,432 B1 ist ein Verfahren zum Einstellen eines Ventilhubs eines Einspritzventils bekannt. Das Einspritzventil umfasst einen Flachanker, der mit einem Polkern zusammenwirkt, der eine flache Polfläche aufweist.

[0005] Aus der US 7,036,788 B1 ist ein Druckbegrenzungsventil mit einem als Kegel ausgeführten Dichtelement und einem als,Hohlkegel ausgeführten Ventilsitz bekannt.

[0006] Aus der WO 01/36243 A1 ist ein Elektromagnetventil bekannt, welches ein Ventilgehäuse, in dem ein Ventilschließglied beweglich geführt ist, einen am Ventilschließglied angebrachten Magnetanker, der in Abhängigkeit von der elektromagnetischen Erregung. einer am Ventilgehäuse angebrachten Ventilspule eine Hubbewegung in Richtung eines im Ventilgehäuse angeordneten Magnetkerns vollzieht, und eine Feder umfasst, welche in der elektromagnetisch nicht erregten Ventilstellung den Magnetanker in einem definierten Axialabstand vom Magnetkern positioniert, so dass der Magnetanker vom Magnetkern durch einen Zwischenraum getrennt ist. Zusätzlich zur Feder wirkt ein Federelement auf den Magnetanker ein, welches einen nicht linearen, vorzugsweise progressiven Kennlinienverlauf aufweist, wobei das Federelement der Magnetkraft entgegenwirkt. Somit unterstützt die Kraft des Federelements die Kraft der Feder, so dass beide Federkräfte gegen die Magnetkraft und die auf das Ventilschließglied wirkende Hydraulikkraft wirken.

[0007] Stetigventile besitzen gegenüber Schaltventilen den Vorteil, dass durch Einstellung von Teilhüben zwischen der vollständig geschlossen und der vollständig geöffneten Stellung beliebig einstellbare Zwischen-

stellungen eingestellt werden können und damit beliebige Durchströmungsquerschnitte freigegeben bzw. beliebige Durchflussmengen durch das Ventil eingestellt werden können. Für die Ventile eines ABS/ESP-Systems bedeutet dies beispielsweise, dass die Auf- und Abbaugradienten eines Raddruckes variabel eingestellt werden können, wodurch die Dosierbarkeit des Raddruckes verbessert und die geräuscherzeugenden Druckschwingungen verringert werden können. Ein Stetigventil, das in öffnende Richtung durchströmt wird, benötigt jedoch eine hohe Federvorspannung zur Abdichtung eines erforderlichen Raddruckes, beispielsweise eines Blockierdruckniveaus. Dadurch wird jedoch auch das Gesamtkraftniveau sehr hoch, was bei der Bestromung der Magnetbaugruppe zu hohen Stromstärken führt und bezüglich der Ventilreaktionszeiten, der Stromstellgenauigkeit und dem thermischen Verhalten nachteilig ist.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Das erfindungsgemäße Betriebsverfahren für ein Magnetventil mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, dass die hubabhängigen Verläufe der Magnetkraft, der Federkraft und der Fluidkraft über einen Hubverlauf eines Ankers und eines Schließelements zwischen einer Geschlossenposition und einer Offenposition so kombiniert sind, dass zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition des Ankers und des Schließelements mindestens ein weiterer stabiler Arbeitspunkt einstellbar ist, der einen Kräftegleichgewichtspunkt mit einem negativen Gesamtkraftgradienten repräsentiert. Durch die besondere Auswahl der Kräfteverläufe der Federkraft, der. Magnetkraft und der Fluidkraft in Abhängigkeit vom Ventilhub gelingt es, in einem als Schaltventil ausgelegten Magnetventil, welches in schließende Richtung durchströmt wird, stabile Arbeitspunkte einzustellen und es damit als Stetigventil zu betreiben. Damit besitzt das mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebene Magnetventil die Vorzüge von Stetigventilen bei gleichzeitiger Wahrung der Vorteile, wie Dichtheit bei beliebigen hohen Drücken, schnelle Ventilreaktionen und geringes Gesamtkraftniveau, eines in schließender Richtung durchströmten Schaltventils. Um mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren für ein Magnetventil beliebige Druckabbaurampen einstellen zu können, kann der elektrische Strom zur Bestromung der Magnetbaugruppe, beispielsweise in Abhängigkeit eines Drucksensorsignals, mit einem Ventilstromregler geregelt werden. Zudem kann die Stromstärke zur Bestromung der Magnetbaugruppe auch ohne Drucksensor eingestellt werden. So wird der Anker mit dem Schließelement durch Einstellen der Stromstärke zur Bestromung der Magnetbaugruppe um einen Teilhub bewegt, um das Schließelement aus dem Hauptventilsitz zu heben und das Magnetventil in einem quasistationären teilweise geöffneten Zustand zu betreiben. Die Stromstärke wird, beispielsweise für eine kurze Impulszeit, durch Vorgabe eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses (PWM-Verhältnisses) eingestellt. Somit kann das mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebene Magnetventil im Gegensatz zu einem Schaltventil nicht vollständig, sondern nur bis zu einem gewissen Teilhub geöffnet werden, der durch die eingestellte Stromstärke variierbar ist. Damit sind feiner dosierbare Druckabbaustufen als bei einem reinen Schaltventil möglich, wodurch auch das Geräuschverhalten verbessert werden kann.

[0009] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen und Weiterbildungen sind vorteilhafte Verbesserungen des im unabhängigen Patentanspruch 1 angegebenen Betriebsverfahrens für ein Magnetventil möglich.

[0010] Besonders vorteilhaft ist, dass der durch eine Bestromung einer Magnetbaugruppe des Magnetventils bewirkte Verlauf der Magnetkraft über den Hubverlauf des Ankers und des Schließelements zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition durch Vorgabe von Geometrien des Ankers und des Polkerns möglichst flach eingestellt ist.

[0011] In Ausgestaltung des mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventils ist der Anker beispielsweise als Tauchanker ausgeführt, der mit einem korrespondierend ausgeführten Polkern eine einstufige oder mehrstufige Tauchstufe bildet. Alternativ kann der Anker als Flachanker ausgeführt werden, der mit einem Polkern zusammenwirkt, der eine flache Polfläche aufweist. Die korrespondierende Magnetkraft weist bei dieser Ausführungsform jedoch erst ab einer vorgegebenen Breite eines Luftspalts zwischen dem Anker und dem Polkern einen flachen Verlauf auf.

[0012] In weiterer Ausgestaltung des mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventils weist die Rückstellfeder zur Bereitstellung der Federkraft eine große Federkonstante auf. Die Rückstellfeder weist beispielsweise eine linear ausgelegte Federkennlinie mit einer konstanten Federrate auf.

[0013] Da mit steigendem Hub und kleiner werdendem Luftspalt die Magnetkraft und insbesondere auch der Gradient der Magnetkraft über dem Hub ansteigt, was den einstellbaren Bereich auf kleinere Hübe begrenzt, kann die Rückstellfeder alternativ so ausgeführt werden, dass die von der Rückstellfeder bereitgestellte

Federkraft über den Hubverlauf des Ankers und des Schließelements einen progressiven Verlauf aufweist. Das bedeutet, dass die Federrate der Rückstellfeder in Abhängigkeit vom Hub des Ankers und des Schließelements zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition verändert wird. Durch den progressiven Verlauf der Federkraft kann das Stabilitätsverhalten des Ankers mit dem Schließelement verbessert und der stabile Arbeitsbereich ausgeweitet werden, wobei der progressive Verlauf der Federkraft den mit dem Hub steigenden Magnetkraftgradienten überkompensiert. Der progressive Federkraftverlauf der Rückstellfeder erzeugt in vorteilhafter Weise über einen vergrößerten Hubbereich den negativen Gesamtkraftgradienten. Zudem ermöglichen die bei kleinen Hüben geringeren Federraten eine höhere Toleranz der Bauteile, was eine Serienfertigung erleichtert.

[0014] In weiterer Ausgestaltung des mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventils wird der durch die Fluidströmung zwischen der ersten Strömungsöffnung und der zweiten Strömungsöffnung bewirkte Verlauf der Fluidkraft über den Hubverlauf des Ankers und des Schließelements zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition durch Vorgabe von Strömungsgeometrien des Schließelements und des Hauptventilsitzes möglichst flach eingestellt. Der flache Verlauf der Fluidkraft über den Hubverlauf des Ankers und des Schließelements kann beispielsweise durch einen kleinen Öffnungswinkel zwischen dem Schließelement und dem Hauptventilsitz vorgegeben werden. Zu diesem Zweck kann ein Dichtbereich des Schließelements beispielsweise als Kugel oder als Kegel ausgeführt werden, während ein Dichtbereich des Hauptventilsitzes als Hohlkegel ausgeführt wird.

[0015] Vorteilhafte, nachfolgend beschriebene Ausführungsformen der Erfindung sowie die zu deren besserem Verständnis oben erläuterten, herkömmlichen Ausführungsbeispiele sind in den Zeichnungen dargestellt. In den Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen Komponenten bzw. Elemente, die gleiche bzw. analoge Funktionen ausführen.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines herkömmlichen stromlos geschlossenen Magnetventils.

Fig. 2a bis **Fig. 2c** zeigen schematische Schnittdarstellungen eines ersten Ausführungsbeispiels einer Ventilpatrone eines mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen stromlos geschlossenen Magnetventils.

Fig. 3a bis **Fig. 3c** zeigen schematische Schnittdarstellungen eines zweiten.Ausführungsbeispiels einer Ventilpatrone eines mit dem erfindüngsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen stromlos geschlossenen Magnetventils.

Fig. 4 zeigt mehrere Diagramme von beeinflussbaren Kraftverläufen von herkömmlichen Magnetventilen und von mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventilen.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Verlauf einer über einen Hub veränderbaren Federrate einer Rückstellfeder für ein mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenes Magnetventil.

Ausführungsformen der Erfindung

[0016] Wie aus den Diagrammen gemäß **Fig. 4** ersichtlich ist, weist ein als in hubschließende Richtung durchströmtes Schaltventil ausgeführtes herkömmliches Magnetventil Ventil 1 die in Spalte 1 dargestellten schematischen Verläufe der Magnetkraft F_{Magnet}, der Federkraft F_{Feder} und der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ auf. Ein als in huböffnende Richtung durchströmtes Stetigventil ausgeführtes herkömmliches Magnetventil Ventil 2 weist die in Spalte 2 dargestellten schematischen Verläufe der Magnetkraft F_{Magnet}, der Federkraft F_{Feder} und der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ auf. Ein mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenes als in hubschließende Richtung durchströmtes Stetigventil ausgeführtes Magnetventil Ventil 3 weist die in Spalte 3 dargestellten schematischen Verläufe der Magnetkraft $F_{Mag\text{-}net}$, der Federkraft F_{feder} und der Fluidkraft $F_{Hydrauiik}$ auf. Wie aus Spalte 3 ersichtlich ist, sollte der Kraftverlauf der Magnetkraft F_{Magnet} über dem Hub möglichst flach sein. Die Rückstellfeder sollte möglichst steif ausgeführt sein, d.h. die Rückstellfeder 26 sollte eine hohe Federsteifigkeit besitzen. Der Kraftverlauf der Fluidkraft $F_{Hydrauiik}$ über dem Hub sollte ebenfalls möglichst flach sein. Die dargestellten vom Hubverlauf eines Ankers und eines Schließelements abhängigen schematischen Verläufe der Magnetkraft $F_{Magtnet}$, der Federkraft F_{Feder} und der Fluidkraft $F_{Hydrauiik}$ werden erfindungsgemäß so kombiniert, dass zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition des Ankers und des Schließelements mindestens ein weiterer stabiler Arbeitspunkt einstellbar ist, der einen Kräftegleich-

gewichtspunkt mit einem negativen Gesamtkraftgradienten repräsentiert. Der Gesamtkraftgradient für das erfindungsgemäße Magnetventil ergibt sich aus Gleichung (1).

$$\frac{\partial F_{gesamt}}{\partial h} = \frac{\partial \sum F_{öffnend}}{\partial h} - \frac{\partial \sum F_{schließend}}{\partial h} - \left(\frac{\partial F_{Feder}}{\partial h} + \frac{\partial F_{Hydraulik}}{\partial h} \right) \qquad (1)$$

[0017] Wie aus **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** ersichtlich ist, umfasst ein erstes Ausführungsbeispiel einer Ventilpatrone 22 für ein mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenes Magnetventil analog zu dem in **Fig. 1** dargestellten herkömmlichen Magnetventil 1 einen Polkern 23, einen mit dem Polkern 23 verbundenen Ventileinsatz 25, einen innerhalb des Ventileinsatzes 25 zwischen einer Geschlossenposition und einer Offenposition axial beweglich geführten Anker 24, der mit einem Schließelement 28 gekoppelt ist, und einen mit dem Ventileinsatz 25 verbundenen Ventilkörper 29 mit einem Hauptventilsitz 30, der zwischen mindestens einer ersten Strömungsöffnung 31 und einer zweiten Strömungsöffnung 32 angeordnet ist. Zur Erzeugung der Magnetkraft F_{Magnet}, die den axial bewegliche Anker 24 mit dem Schließelement 28 innerhalb des Ventileinsatzes 25 gegen die Federkraft F_{Feder} einer Rückstellfeder 26 und gegen die Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ in Richtung Polkern 23 bewegt, kann die in **Fig. 1**. dargestellte Magnetbaugruppe verwendet werden. Durch die bei einer Bestromung der Magnetbaugruppe erzeugte Magnetkraft F_{Magnet} wird der Anker 24 in Richtung Polkern 23 bewegt und das Schließelement 28 aus dem Hauptventilsitz 30 gehoben, so dass ein Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung 31 und der zweiten Strömungsöffnung 32 eingestellt werden kann. Durch die Federkraft F_{Feder} der Rückstellfeder 26 und die Fluidkraft $F_{Hydrauiik}$, die durch von der Fluidströmung zwischen der ersten Strömungsöffnung 31 und der zweiten Strömungsöffnung 32 am Anker 24 und Schließelement 28 bewirkten Druckverteilungen hervorgerufen wird, kann der Anker 24 innerhalb des Ventileinsatzes 25 vom Polkern 23 weg bewegt werden, um das Schließelement 28 dichtend in den Hauptventilsitz 30 zu drücken und den Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung 31 und der zweiten Strömungsöffnung 32 zu unterbrechen. Die hubabhängigen Verläufe der Magnetkraft F_{Magnet}, der Federkraft F_{Feder} und der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ werden durch Geometrievorgaben für den Anker 24 und den Polkern 23, die Ausführung der Rückstellfeder 26 und durch Geometrievorgaben für den Strömungsweg zwischen der ersten Strömungsöffnung 31 und der zweiten Strömungsöffnung 32 erzeugt.

[0018] Wie aus der Detaildarstellung gemäß **Fig. 2b** ersichtlich ist, ist der Anker als Tauchanker 24 ausgeführt, der mit einem korrespondierend ausgeführten Polkern 23 eine zweistufige Tauchstufe 22.1 bildet. Wie aus **Fig. 2b** weiter ersichtlich ist, weist der Tauchanker 24 zwei Ankerstufen 24.1 auf, und der Polkern 23 weist zwei korrespondierende Polkernstufen 23.1 auf, die in die Ankerstufen 24.1 eintauchen. Durch die Ausführung als zweistufige Tauchstufe 22.1 wird der durch die Bestromung der Magnetbaugruppe 13 bewirkte Verlauf der Magnetkraft F_{Magnet} über den Hubverlauf des Ankers 24 und des Schließelements 28 wie gewünscht möglichst flach eingestellt. Bei einer alternativen nicht dargestellten Ausführungsform ist der Anker als Flachanker ausgeführt, der mit einem Polkern zusammenwirkt, der eine flache Polfläche aufweist. Bei dieser alternativen Ausführung weist die korrespondierende Magnetkraft jedoch erst ab einer vorgegebenen Breite eines Luftspalts zwischen dem Anker und dem Polkern einen flachen Verlauf auf.

[0019] Wie aus der Detaildarstellung gemäß **Fig. 2c** ersichtlich ist, ist ein Dichtbereich 28.1 des Schließelements 28 als Kugel und ein Dichtbereich 30.1 des Hauptventilsitzes 30 als Hohlkegel ausgeführt. Durch diese Ausführung kann in diesem Ausführungsbeispiel zwischen dem Schließelement 28 und dem Hauptventilsitz 30 ein kleiner Öffnungswinkel vorgegeben werden, der hier beispielhaft den gewünschten flachen Verlauf der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ über den Hubverlauf des Ankers 24 und des Schließelements 28 zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition ermöglicht.

[0020] Wie aus **Fig. 3a** bis **Fig. 3c** ersichtlich ist, umfasst ein zweites Ausführungsbeispiel einer Ventilpatrone 42 für ein mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenes Magnetventil analog zu dem in **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** dargestellten ersten'Ausführungsbeispiel der Ventilpatrone 22 für ein mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenes Magnetventil einen Polkern 43, einen mit dem Polkern 43 verbundenen Ventileinsatz 45, einen innerhalb des Ventileinsatzes 45 zwischen einer Geschlossenposition und einer Offenposition axial beweglich geführten Anker 44, der mit einem Schließelement 48 gekoppelt ist, und einen mit dem Ventileinsatz 45 verbundenen Ventilkörper 49 mit einem Hauptventilsitz 50, der zwischen mindestens einer ersten Strömungsöffnung 51 und einer zweiten Strömungsöffnung 52 angeordnet ist. Zur Erzeugung der Magnetkraft F_{Magnet} kann ebenfalls die in **Fig. 1** dargestellte Magnetbaugruppe verwendet werden. Analog zum ersten Ausführungsbeispiel werden die hubabhängigen Verläufe der Magnetkraft F_{Magnet},der Federkraft F_{Feder} und der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ durch Geometrievorgaben für den Anker 44 und den Polkern 43, die Ausführung der Rückstellfeder 46 und durch Geometrievorgaben für den Strömungsweg zwischen der ersten Strömungsöffnung 51 und der zweiten Strömungsöffnung 52 erzeugt.

[0021] Wie aus der Detaildarstellung gemäß **Fig. 3b** ersichtlich ist, ist auch der Anker des zweiten Ausführungsbeispiels als Tauchanker 44 ausgeführt, der mit einem korrespondierend ausgeführten Polkern 43 eine zweistufige Tauchstufe 42.1 bildet. Wie aus **Fig. 3b** weiter ersichtlich ist, weist der Tauchanker 44 ebenfalls zwei Ankerstufen 44.1 auf, und der Polkern weist zwei korrespondierende Polkernstufen 43.1 auf, die in die Ankerstufen 44.1 eintauchen. Durch die Ausführung als zweistufige Tauchstufe 42.1 wird der durch die Bestromung der Magnetbaugruppe 13 bewirkte Verlauf der Magnetkraft F_{Magnet} über den Hubverlauf des Ankers 44 und des Schließelements 48 wie gewünscht möglichst flach eingestellt.

[0022] Wie aus der Detaildarstellung gemäß **Fig. 3c** ersichtlich ist, ist ein Dichtbereich 48.1 des Schließelements 48 als Kegel und ein Dichtbereich 50.1 des Hauptventilsitzes 50 als Hohlkegel ausgeführt. Durch diese Ausführung kann zwischen dem Schließelement 48 und dem Hauptventilsitz 50, ähnlich zum ersten Ausführungsbeispiel, ein kleiner Öffnungswinkel vorgegeben werden, der hier wieder beispielhaft den gewünschten flachen Verlauf der Fluidkraft $F_{Hydraulik}$ über den Hubverlauf des Ankers 44 und des Schließelements 48 zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition ermöglicht.

[0023] Für beide Ausführungsbeispiele des mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventils gilt, dass die Rückstellfeder 26, 46 zur Bereitstellung der Federkraft F_{Feder} eine große Federrate und damit eine hohe Steifigkeit aufweist. Ein besonderer Vorteil ergibt sich, wenn die von der Rückstellfeder 26, 46 bereitgestellte Federkraft F_{Feder} über den Hubverlauf des Ankers 24, 44 und des Schließelements 28, 48 einen progressiven Verlauf aufweist.

[0024] Durch die Auswahl einer Rückstellfeder 26, 46 mit einem progressiven Verlauf der Federkraft F_{Feder} kann das Stabilitätsverhalten des mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventils verbessert und der stabile Arbeitsbereich mit einem negativen Gesamtkraftgradienten ausgeweitet werden. Hierbei wird der mit dem Hub steigende Magnetkraftgradient durch den progressiven Verlauf der Federkraft F_{Feder} überkompensiert. Zusätzlich erlauben die bei kleinen Hüben geringeren Federraten eine höhere Toleranz der Bauteile, was eine Serienfertigung in vorteilhafter Weise erleichtert.

[0025] Wie aus **Fig. 5** ersichtlich ist, sollte ein konkretes Verhalten der Federrate $C_{(h)}$ in Abhängigkeit des Hubs h zwischen einem minimalen erlaubten Verlauf der Federrate $C_{(h)}min$ und einem maximalen erlaubten Verlauf der Federrate $C_{(h)}max$ liegen. Zusätzlich zeigt das Diagramm gemäß **Fig. 5** einen optimalen Verlauf der Federrate $Q_{(h)}opt$. Wie aus **Fig. 5** weiter ersichtlich ist, ist der optimale Verlauf der Federrate $C_{(h)}opt$ vorzugsweise bei kleinen Hüben sehr progressiv und sichert die Existenz von stabilen Arbeitspunkten für das korrespondierende mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventil.

[0026] Insgesamt lassen sich mit dem mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventil durch dessen stetiges Verhalten über einen weiten Strombereich gezielte und gut dosierbare Druckstufen einstellen. Durch den stetig einstellbaren Hubbereich des mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebenen Magnetventils ergibt sich im Vergleich zu einem herkömmlichen Schaltventil ein deutlich kleinerer Druckabbau. Auch die auftretenden lokalen Druckschwingungen, welche die auftretenden Geräusche stark beeinflussen, sind deutlich reduziert. Mit einem Ventilstromregler, der beispielsweise ein Drucksensorsignal auswertet, kann der Stromverlauf zur Erzeugung der Magnetkraft F_{Magnet} vorgegeben werden, so dass gewünschte Sollrampen für den Druckabbau in einer Radbremse ohne große Abweichungen abgefahren werden können und somit sanfte Raddruckregelungen möglich sind. Zudem kann die Stromstärke zur Bestromung der Magnetbaugruppe auch ohne Drucksensor eingestellt werden. So kann die Magnetbaugruppe des korrespondierenden Magnetventils beispielsweise für eine kurze Impulszeit mit veränderbaren Stromstärken, die beispielsweise durch Vorgabe eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses (PWM-Verhältnisses) einstellbar sind, bestromt werden. Im Gegensatz zu einem Schaltventil öffnet das mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebene Magnetventil nicht vollständig, sondern nur bis zu einem gewissen Teilhub, der durch die eingestellte Stromstärke variierbar ist. Damit sind feiner dosierbare Druckabbaustufen als bei einem reinen Schaltventil möglich, wodurch auch das Geräuschverhalten verbessert werden kann.

[0027] Das mit dem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betriebene in hubschließende Richtung durchströmte Magnetventil weist in vorteilhafter Weise sowohl die Vorzüge von Stetigventilen bei gleichzeitiger Wahrung der Vorteile, wie Dichtheit bei beliebigen hohen Drücken, schnelle Ventilreaktion und geringes Gesamtkraftniveau, eines in schließender Richtung durchströmten Schaltventils auf.

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für ein Magnetventil mit einer Magnetbaugruppe (13) und einer Ventilpatrone (22, 42), die einen Polkern (23, 43), einen mit dem Polkern (23, 43) verbundenen Ventileinsatz (25, 45), einen innerhalb des Ventileinsatzes (25, 45) zwischen einer Geschlossenposition und einer Offenposition axial beweglich geführten Anker (24, 44), der mit einem Schließelement (28, 48) gekoppelt ist, und einen mit dem Ventileinsatz (25, 45) verbundenen Ventilkörper (29, 49) mit einem Hauptventilsitz (30, 50) umfasst, der zwischen mindestens einer ersten Strömungsöffnung (31, 51) und einer zweiten Strömungsöffnung (32, 52) angeordnet ist, wobei der axial bewegliche Anker (24, 44) bei einer Bestromung der Magnetbaugruppe (13) durch eine erzeugte Magnetkraft (F_{Magnet}) innerhalb des Ventileinsatzes (25, 45) gegen eine Federkraft (F_{feder}) einer Rückstellfeder (26, 46) und gegen eine Fluidkraft ($F_{Hydraulik}$) in Richtung Polkern (23, 43) bewegt wird, um das Schlie-ßelement (28, 48) aus dem Hauptventilsitz (30, 50) zu heben und einen Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung (31, 51) und der zweiten Strömungsöffnung (32, 52) zu ermöglichen, und wobei der axial bewegliche Anker (24, 44) durch die Federkraft (F_{Feder}) der Rückstellfeder (26, 46) und durch die Fluidkraft ($F_{Hydraulik}$) innerhalb des Ventileinsatzes (25, 45) vom Polkern (23, 43) weg bewegt wird, um das Schließelement (28, 48) dichtend in den Hauptventilsitz (30, 50) zu drücken und den Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen, ersten Strömungsöffnung (31, 51) und der zweiten Strömungsöffnung (32, 52) zu unterbrechen, wobei der Fluiddurchfluss zwischen der mindestens einen ersten Strömungsöffnung (31, 51) und der zweiten Strömungsöffnung (32, 52) in hubschließender Richtung erfolgt und die Verläufe der Magnetkraft (F_{Magnet}), der Federkraft (F_{Feder}) und der Fluidkraft ($F_{Hydraulik}$) über den Hubverlauf des -Ankers (24, 44) und des Schließelements (28, 48) so kombiniert sind, dass zwischen der Geschlossenposition und der Offenposition des Ankers (24, 44) und des Schließelements (28, 48) mindestens ein weiterer stabiler Arbeitspunkt einstellbar ist, der einen Kräftegleichgewichtspunkt mit einem negativen Gesamtkraftgradienten repräsentiert, wobei der Anker (24, 44) mit dem Schließelement (28, 48) durch Einstellen der Stromstärke zur Bestromung der Magnetbaugruppe, (13) um einen Teilhub bewegt wird, um das Schließelement (28, 48) aus dem Hauptventilsitz (30, 50) zu heben und das Magnetventil (1) in einem quasistationären teilweise geöffneten Zustand zu betreiben, wobei die Stromstärke durch Vorgabe eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses eingestellt wird.

2. Betriebsverfahren nach 4 Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die von der Rückstellfeder (26, 46) bereitgestellte Federkraft (F_{Feder}) über den Hubverlauf des Ankers (24, 44) und des Schließelements (28, 48) einen progressiven Verlauf aufweist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

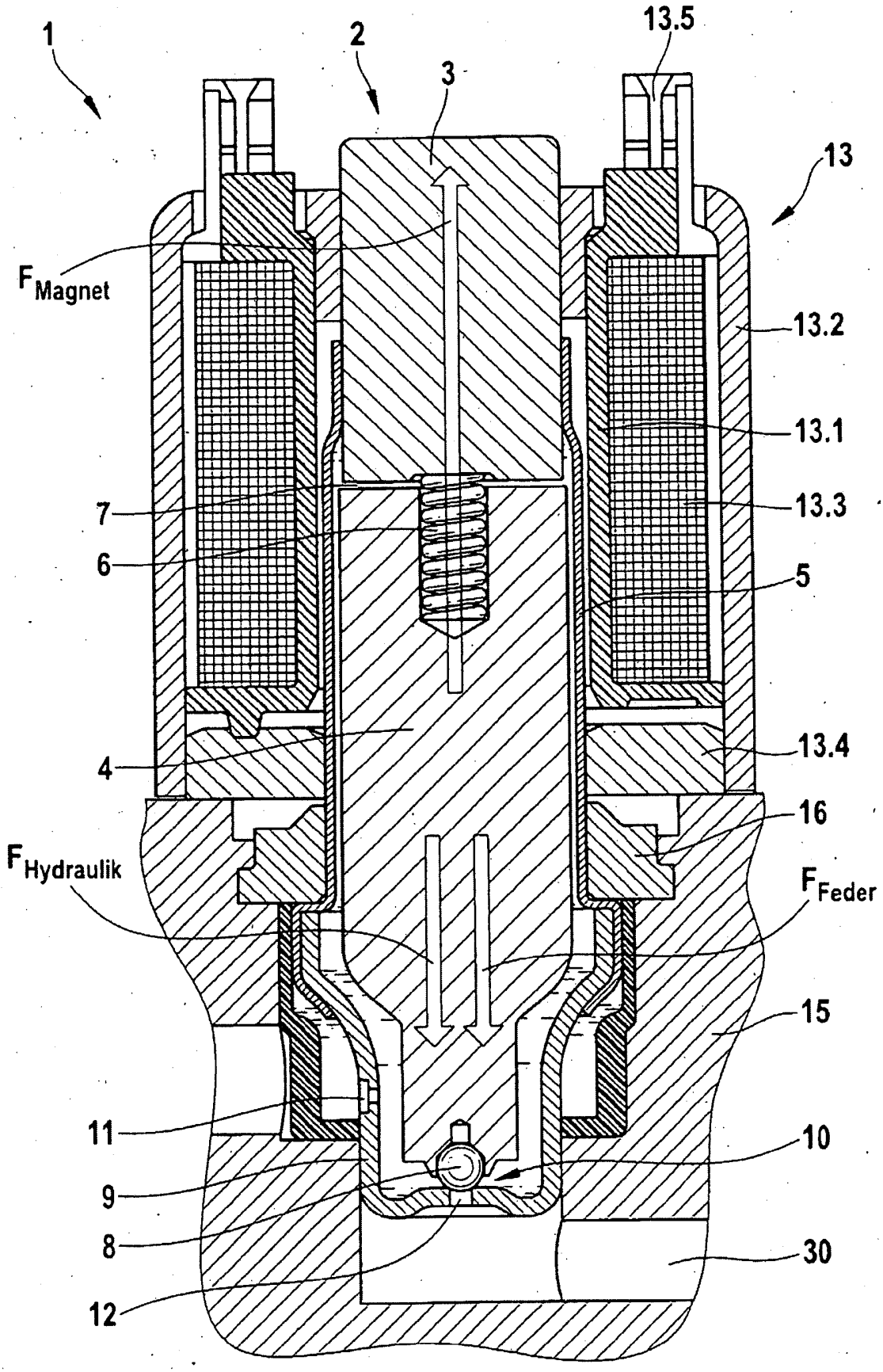


Fig. 1 (Stand der Technik)

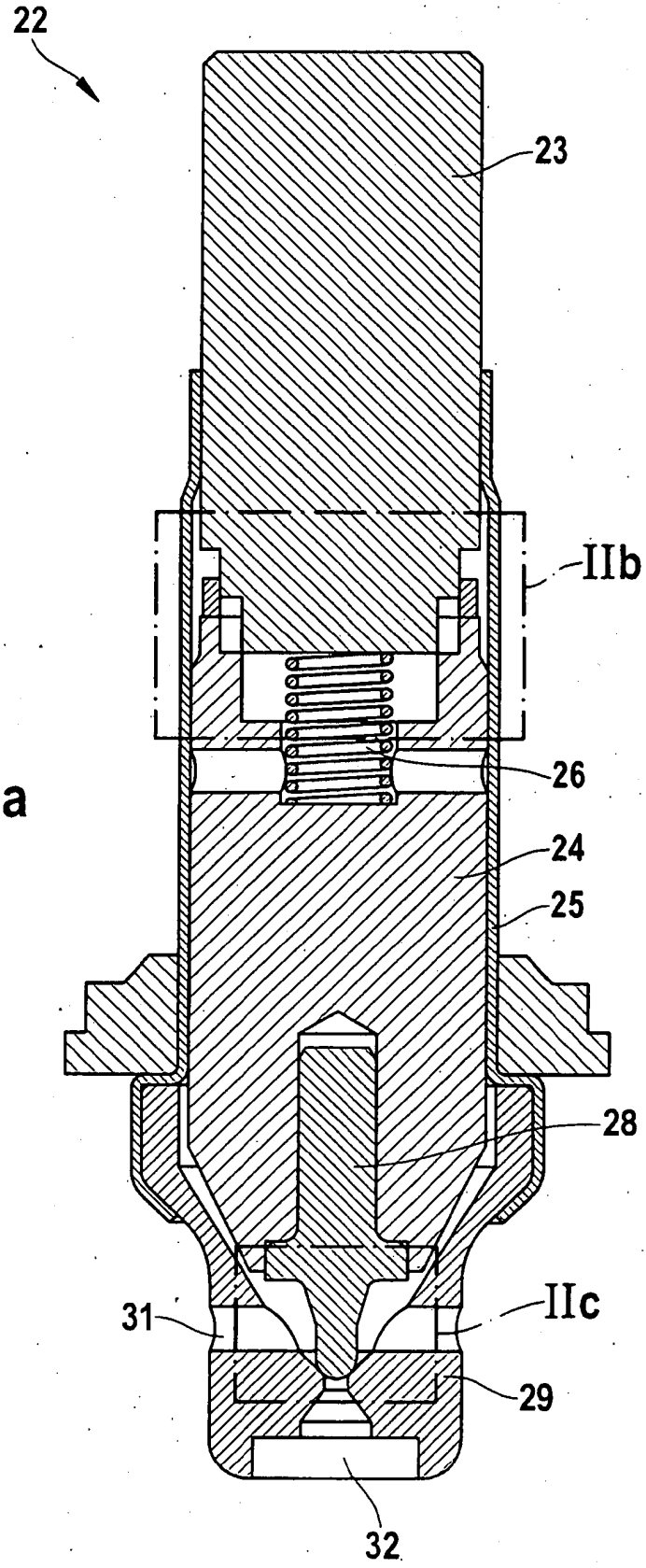


Fig. 2a

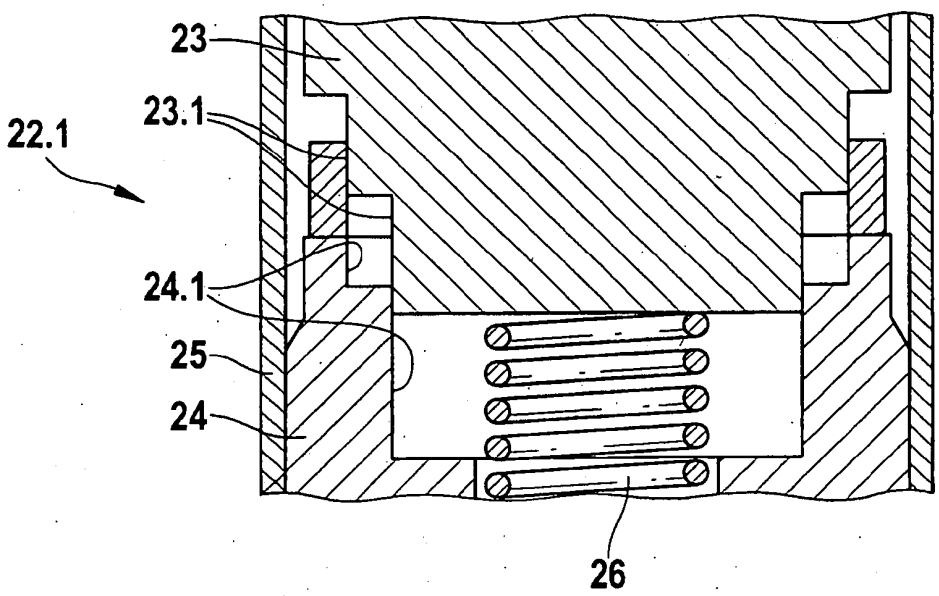


Fig. 2b

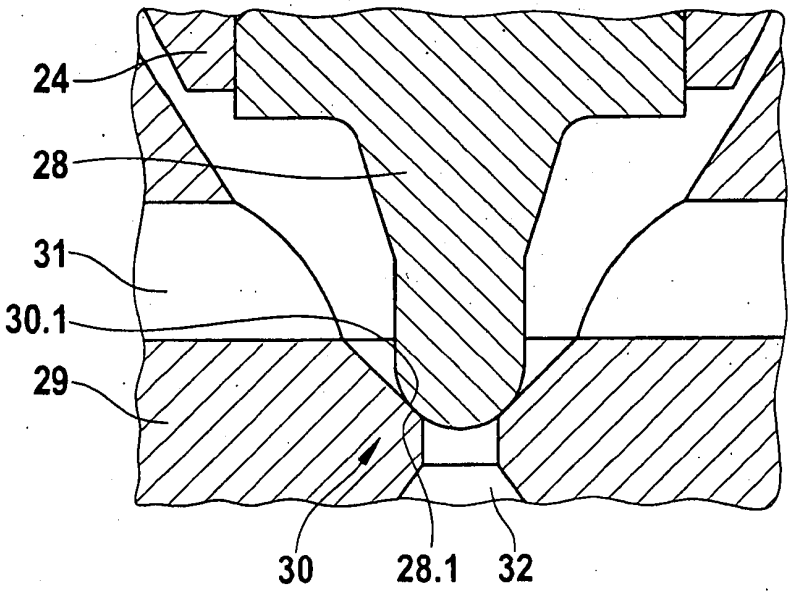


Fig. 2c

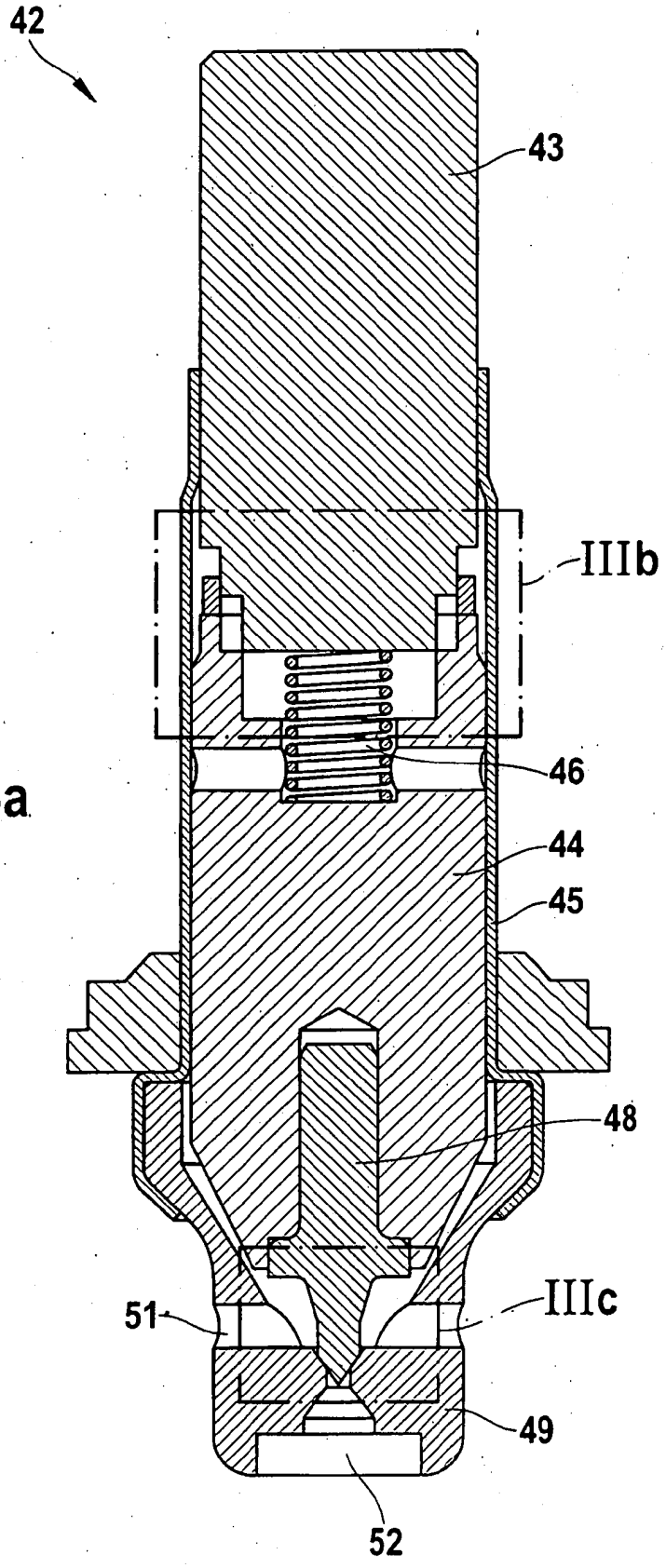


Fig. 3a

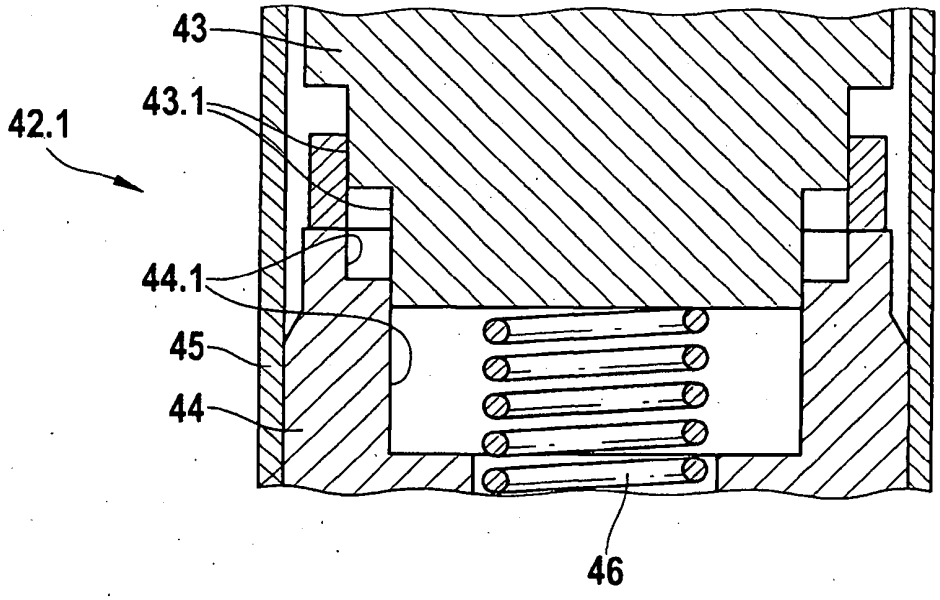


Fig. 3b

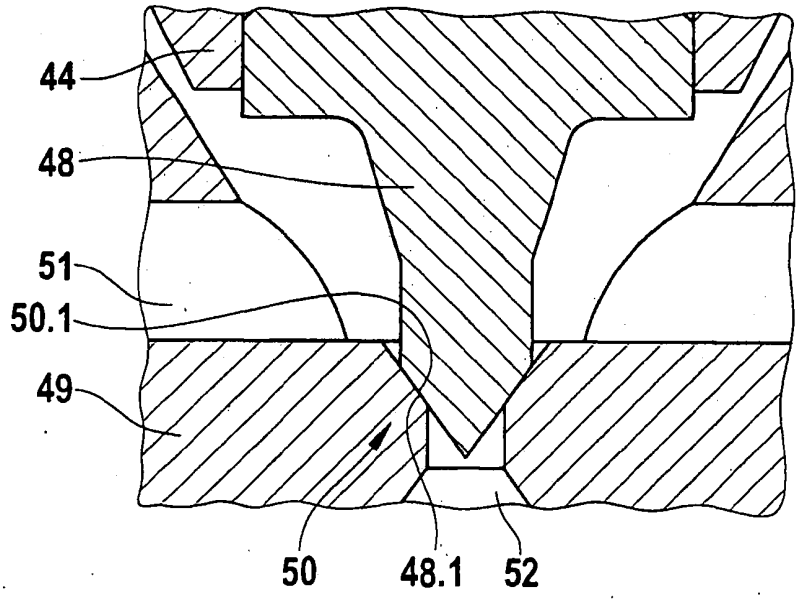


Fig. 3c

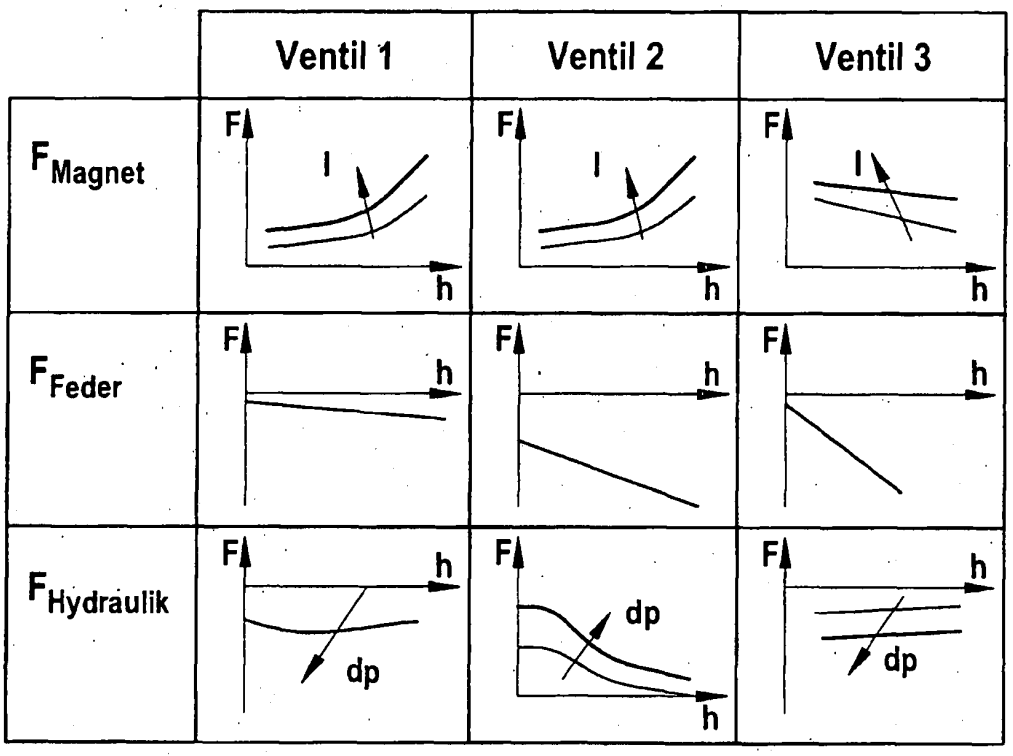


Fig. 4

20705810.05 EC

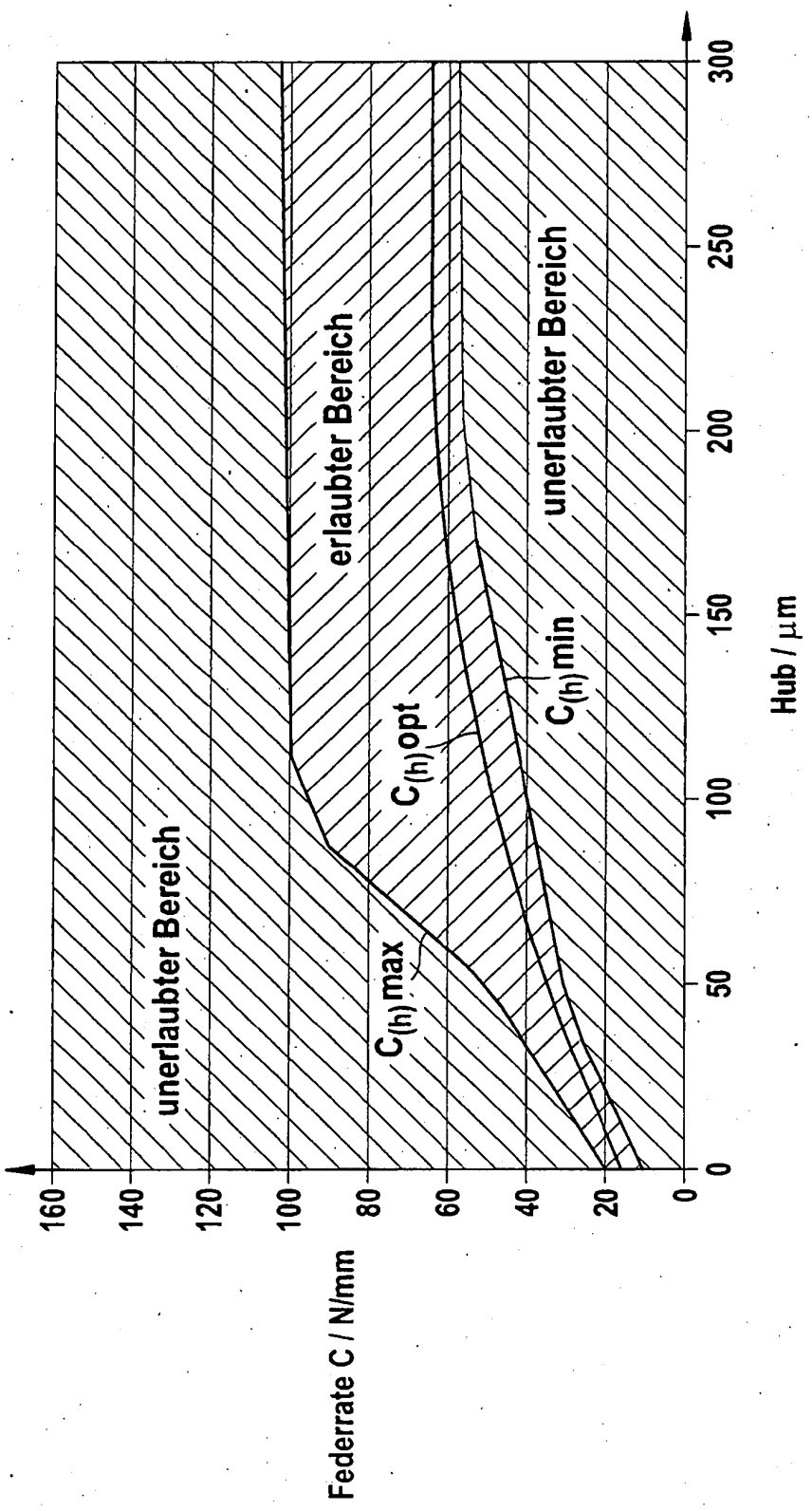

unerlaubter Bereich
erlaubter Bereich
unerlaubter Bereich
$C_{(h)}$max
$C_{(h)}$opt
$C_{(h)}$min
Federrate C / N/mm
Hub / µm
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
50
100
150
200
250
300

Fig. 5