

(19)



(11)

EP 1 953 773 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
06.08.2008 Patentblatt 2008/32

(51) Int Cl.:
H01F 7/08 (2006.01) **F16K 31/08** (2006.01)
H01F 7/13 (2006.01) **H01F 7/16** (2006.01)
H01F 7/13 (2006.01) **H01F 7/16** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08001443.4**

(22) Anmeldetag: **25.01.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(72) Erfinder: **Gamble, Jonathan Bruce**
Naperville, Illinois 60540 (US)

(74) Vertreter: **Pfister, Stefan Helmut Ulrich et al**
Pfister & Pfister
Patent- & Rechtsanwälte
Hallhof 6-7
87700 Memmingen (DE)

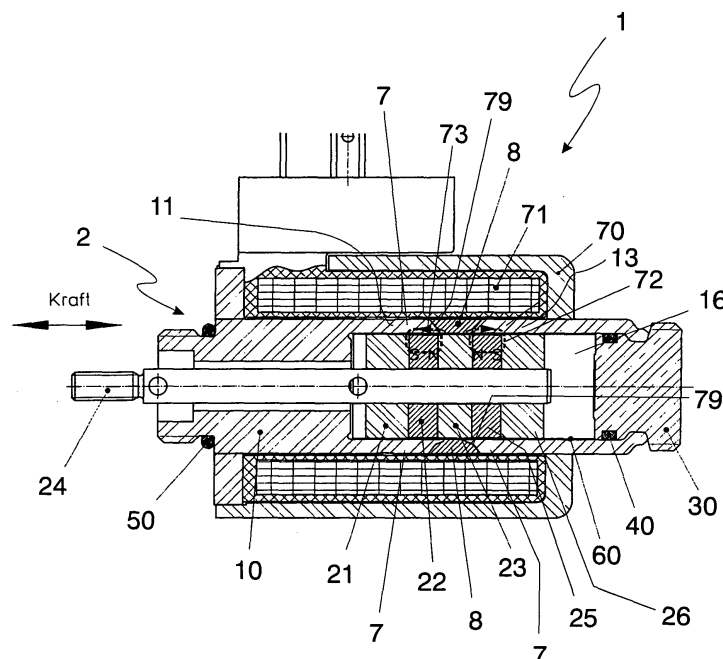
(30) Priorität: **30.01.2007 DE 102007005434**

(71) Anmelder: **SVM Schultz Verwaltungs-GmbH & Co.
KG**
87700 Memmingen (DE)

(54) Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor

(57) Die Erfindung bezieht sich auf einen doppeltwirkenden elektromagnetischen Aktor (1), insbesondere für Hydraulik- und Pneumatikanwendungen, mit einer Spule (71), einem in der Spule angeordneten Anker (2) mit mindestens zwei in axialer Richtung magnetisierten Permanentmagneten (22,25) und einer Zentralscheibe (23) zwischen den Permanentmagneten, wobei zwischen Anker

und Spule in axialer Richtung stärker beziehungsweise leicht magnetisierbare Bereiche (7) und zwischen diesen ein schwach- beziehungsweise nichtmagnetisierbarer Bereich (8) ausgebildet ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der Anker in einem Polrohr (10) angeordnet, insbesondere gelagert ist, das in der Spule vorgesehen ist.

**Fig. 1****EP 1 953 773 A2**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen doppeltwirkenden elektromagnetischen Aktor, insbesondere für Hydraulik- und Pneumatikanwendungen, mit einer Spule, einem in der Spule angeordneten Anker mit mindestens zwei in axialer Richtung magnetisierten Permanentmagneten und einer Zentralscheibe zwischen den Permanentmagneten, wobei zwischen Anker und Spule in axialer Richtung stärker beziehungsweise leicht magnetisierbare Bereiche vorgesehen sind und zwischen diesen ein schwach- beziehungsweise nichtmagnetisierbarer Bereich ausgebildet ist.

[0002] Doppeltwirkende elektromagnetische Aktoren in Hydraulik- und Pneumatikanwendungen sind bekannt. Sie können, wenn sie mit einem Ventil verbunden sind, das Ventil in drei Zustände schalten.

[0003] Gleichstrommagnete zur Betätigung von Hydraulikventilen sind seit vielen Jahren üblich. Solche Gleichstrommagnete haben jedoch mindestens zwei beschränkende Eigenschaften. Die Kraft wird nur in eine Richtung erzeugt. Doppeltwirkende Magnete mit zwei Magnetkörpern auf einem Tubus sind relativ lang und anfällig für Beschädigungen. Außerdem ist die Induktivität einer Spule relativ hoch, was die Magnete langsam macht. Des Weiteren ist die Induktivität vom Hub abhängig. Diese variable Induktivität kann zu Stabilitätsproblemen in Regelkreis-Anwendungen führen. Es sind deshalb bidirektionale elektromagnetische Aktoren mit doppeltwirkender Kraft entwickelt worden. Der Vorteil bei diesen besteht darin, dass im Notfall, bei Stromausfall, das Ventil in eine ausfallsichere Stelle zurückfällt.

[0004] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen doppeltwirkenden elektromagnetischen Aktor in der eingangs genannten Art zu schaffen, der einfach und kostengünstig aufgebaut ist und zuverlässig arbeitet.

[0005] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass der Anker in einem Polrohr angeordnet, insbesondere gelagert ist, das in der Spule vorgesehen ist. Das Polrohr schafft einen Bewegungsraum, in dem der Anker zuverlässig arbeiten kann. Das Polrohr hat die Aufgabe, den Anker beziehungsweise die Ankerstange aufzunehmen. Es bildet damit auch eine Anschlußmöglichkeit des erfindungsgemäßen Aktors an das zu beeinflussende Element, zum Beispiel eine Stellanordnung, ein Ventil oder dergleichen. Es ist auch grundsätzlich möglich, hier einen entsprechend dichten Anschluß zu realisieren, wobei das bevorzugt einstückig ausgebildete Polrohr die empfindliche Elektronik, nämlich insbesondere den Spulenkörper und die Wicklung, schützt, da das Medium gegebenenfalls in den Polraum gelangen kann, der aber gegenüber der Spule dicht ist. Der Polraum hat des Weiteren die Aufgabe gegebenenfalls eine Lagerung des Ankers zur Verfügung zu stellen. Da der Anker auf der Ankerstange angeordnet ist, erfolgt eine Lagerung des Ankers gegebenenfalls auch mittelbar (ebenfalls erfindungsgemäß) über die Ankerstange, die in entsprechenden Lagern im Polraum gelagert ist. Es ist aber auch

möglich, eine eigene Lagerung der Ankerstange, zum Beispiel durch eine entsprechende Gleitlagerung, zu realisieren. Hierdurch wird ein zuverlässiger Betrieb des Aktors sichergestellt, wobei bei der Ausgestaltung des Aktors bevorzugt auf Bauteile, wie sie zum Beispiel im Bereich der Elektromagnetfertigung bekannt sind, zurückgegriffen werden kann, wodurch sich auch eine kostengünstige Realisierung der Erfindung ergibt.

[0006] In einer bevorzugten Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß das Polrohr druckdicht ausgeführt ist. In diesem Fall ist es möglich, daß der Polraum, welcher den Anker aufnimmt, auch Teil des Medienkreislaufes sein kann, der durch den Aktor zu beeinflussen ist. Durch die druckdichte Ausgestaltung wird erreicht, daß natürlich auch unter Druck kein Mediumverlust im Aktor erfolgt und zum anderen wird auch sichergestellt, daß kein unter Umständen aggressives Medium die stromleitenden Bereiche oder andere Bereiche des Aktors angreifen kann.

[0007] Im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen doppeltwirkenden Aktor beziehungsweise elektromagnetischen Aktor ist zu bemerken, daß die Funktionsweise des Aktors von der Ausgestaltung des schwachbeziehungsweise nichtmagnetischen Bereiches im Verhältnis zu dem stärker beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereich abhängt. Im weiteren Verlauf wird daher der grundsätzlich stärker magnetisierbare Bereich als "magnetisierbarer Bereich" beschrieben und der schwach- beziehungsweise nichtmagnetische Bereich grundsätzlich als "nichtmagnetischer Bereich", ohne dabei die Erfindung auf genau diesen speziellen Anwendungsfall, insbesondere des nichtmagnetischen Bereiches, reduzieren zu wollen. Es ist klar, daß es gemäß der Erfindung darauf ankommt, daß die Magnetisierung im schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Bereich in jedem Fall geringer ist, wie in dem stärker beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereich, um erfindungsgemäß zu wirken.

[0008] Das Polrohr führt zudem zu einer Verstärkung des von der Spule erzeugten Magnetfelds, wenn das Polrohr vorzugsweise aus einem magnetisierbaren Werkstoff hergestellt ist. Die erzeugte Magnetfeldkraft ist ungefähr proportional zum Eingangsstrom.

[0009] In einer bevorzugten Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß das Polrohr die stärker beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereiche und den schwachbeziehungsweise nichtmagnetischen Bereich aufweist. Geschickterweise werden die verschiedenen Funktionen des Gerätes in den zur Verfügung stehenden Bauteilen integriert, um die Anzahl der Bauteile zu reduzieren. Neben der Aufgabe des Polrohres, eine Aufnahme für den Anker zu bilden, umfaßt das Polrohr somit auch die Aufgabe, den magnetisierbaren beziehungsweise nichtmagnetischen Bereich zur Verfügung zu stellen. Dabei ist natürlich zu beachten, daß die Erfindung auch Lösungen umfaßt, bei welchen das Polrohr die magnetischen Eigenschaften des Gerätes nicht beeinflusst und der magnetisierbare Bereich beziehungsweise nichtmagnetische Bereich durch zusätzliche Elemente, zum Bei-

spiel eine Hülse oder einem Rohr, die innerhalb oder außerhalb des Polrohrs angeordnet sein mag, realisiert werden.

[0010] Erfindungsgemäß wird ein bezüglich einer Mittelebene der Spule symmetrischer Aufbau des Ankers vorgeschlagen. Als Mittelebene der Spule wird dabei eine zur Spulenachse senkrechte Ebene angesehen, die als Symmetrieebene der Spule dient. Durch eine solche Ausgestaltung wird erreicht, daß die Wirkweise des Aktors in beide Richtungen im Wesentlichen gleich ist.

[0011] Ähnliches wird dadurch erreicht, daß eine bezüglich einer Mittelebene der Spule symmetrische Anordnung des starken beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereiches und des schwachbeziehungsweise nichtmagnetisierbaren Bereiches vorgesehen wird.

[0012] Neben dieser grundsätzlich symmetrischen Ausgestaltung der Erfindung ist es aber auch möglich, ein bezüglich der Mittelebene der Spule asymmetrischen Aufbau des Ankers beziehungsweise Anordnung des stark beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereiches beziehungsweise schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Bereiches vorzusehen. In diesem Fall ist dann das Kennlinienverhalten und die beiden Hubrichtungen unterschiedlich, das Verhalten ist aber auch durch die spezielle Gestaltung der Begrenzungsflächen zwischen dem magnetisierbaren Bereich beziehungsweise nichtmagnetischen Bereich beeinflussbar und daher auch korrigierbar. Es ist daher zum Beispiel auch erreichbar, einen asymmetrischen Aktor in seiner Ausgestaltung bezüglich der Begrenzungsfläche so zu beeinflussen, daß er einen symmetrischen Kennlinienverlauf beziehungsweise den Verlauf der Kennlinien wie bei einem symmetrisch gestalteten Aktor besitzt.

[0013] Um den Anker mit angeordneten Permanentmagneten zu einem Polraum des Polrohrs in einer Mittelstellung als ausfallsichere Stellung zu halten beziehungsweise überführen zu können, ist zu diesem Polraum der schwach- beziehungsweise nichtmagnetische Bereich zentriert ausgebildet.

[0014] In einer Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß der nichtmagnetische Bereich als Luftspalt ausgebildet ist. Zum Beispiel ist das Polrohr aus zwei Teilrohren gebildet, die entsprechend beabstandet sind, um den Luftspalt zu schaffen. Es ist aber auch möglich, ein separates Element, zum Beispiel eine entsprechende Hülse oder ein Rohr, welche/s den magnetisierbaren Bereich bildet, in zwei Teilelemente aufzuteilen und zu beabstanden, um, bei durchgehendem Polrohr, ebenfalls einen Luftspalt zu Bildung des nichtmagnetischen Bereichs zur Verfügung zu stellen.

[0015] Günstig ist es aber, daß der nichtmagnetische Bereich aus Vollmaterial besteht, wodurch das Polrohr eine entsprechende mechanische Stabilität besitzt und auch einfacher zu montieren ist, da dieses dann in einem Bearbeitungsschritt entsprechend bearbeitet und ausgerichtet ist und eine separate Ausrichtung der beiden Teilrohre nicht notwendig ist. Der nichtmagnetische Bereich kann beispielsweise aus einem nichtmagnetisierbaren

Metallwerkstoff hergestellt sein. Dies ist insbesondere von Vorteil, um den daran anknüpfenden, in axialer Richtung beidseitig angeordneten hülsen-beziehungsweise ring- oder rohrförmigen magnetischen Bereich beziehungsweise stärker magnetischen Bereich besser stoffschlüssig miteinander zu verbinden.

[0016] Bei besonders leichten Anwendungen oder bestimmten Anwendungen, bei denen beispielsweise der magnetische Bereich aus einem Kunststoffverbund hergestellt ist, kann der schwach- beziehungsweise nichtmagnetische Bereich aus einem nichtmagnetisierbaren Kunststoff beziehungsweise Kunststoffverbund hergestellt sein.

[0017] Um einen besonders einfachen Aufbau des doppelwirkenden elektromagnetischen Aktors bereitzustellen, ist das Polrohr mit dem schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Bereich bereits ausgebildet.

[0018] Um besondere Magnetkraftkennlinien und magnetische Eigenschaften bei möglichst geringem Energieverbrauch an der Spule zu erzeugen, erstreckt sich der Polraum, in dem sich die Permanentmagneten befinden, lediglich über eine Hälfte der Spule hinaus. Die andere Hälfte ist vorzugsweise magnetisierbares Vollmaterial, das die magnetische Wirkung der Spule verstärkt.

[0019] Dabei erstreckt sich gegebenenfalls der Polraum zu der zur Ankerstange abliegenden Seite über die Spule hinaus und wird dort durch einen Verschlußstopfen entsprechend verschlossen. Hieraus resultiert ein asymmetrischer Aufbau des Aktors. Es ist aber auch möglich, einen entsprechend symmetrischen Aufbau zu realisieren, bei welchem sich dann die Höhe des Polraumes nur ungefähr über die Hälfte der Höhe der Spule erstreckt und die ganze Anordnung bezüglich der Mittelebene symmetrisch ausgerichtet ist.

[0020] Aufgrund einer derartigen Anordnung ist der nichtmagnetische Bereich im Polrohr in der Ruhestellung des Ankers in axialer Richtung ungefähr gegenüberliegend zur Zentralscheibe angeordnet. Eine solche Ausgestaltung führt dazu, daß auch bei einem stromlosen Zustand des Aktors (zum Beispiel bei Stromausfall) die Position des Ankers vorbestimmt ist und zum Beispiel für entsprechend sicherheitsrelevante Anwendungen das erfindungsgemäße Gerät verwendbar ist.

[0021] Die Permanentmagneten, die in axialer Richtung magnetisiert sind, sind auf dem Anker derart angeordnet, daß Polung bezüglich der Zentralscheibe symmetrisch ist. Somit wird eine doppelwirkende Hubbewegung des Ankers erreicht, wobei der Anker sich, je nach Stromflußrichtung, in der Spule in die eine oder andere Richtung bewegt.

[0022] In einer bevorzugten Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß an den Stirnseiten der Permanentmagneten anschließend jeweils eine Scheibe angeordnet ist. Der Aufbau des Ankers nach der Erfindung ist von der herkömmlichen Ankergestaltung abgeleitet. Es folgt daher, daß der Permanentmagnet geschickterweise symmetrisch auf der bekannten Ausgestaltung eines An-

kers eingebettet wird und sich auf der der Zentralscheibe abgewandten Seite des Permanentmagneten eine weitere Scheibe anschließt. Für ein möglichst symmetrisches Kennlinienverhalten ist es dabei günstig, daß natürlich auch der Anker einen entsprechend symmetrischen Aufbau aufweist, das heißt, daß die Dicken der außenliegenden Scheiben gleich sind. Auch die Dicken der beiden Permanentmagneten sind geschickterweise gleich. Die Dicke der Permanentmagneten kann aber natürlich unterschiedlich sein von der Dicke der außenliegenden Scheiben.

[0023] Um die magnetischen Eigenschaften zu verbessern, so daß insbesondere kleinere Magneten eingesetzt werden können und der Aufbau insgesamt kostengünstiger ausfällt, ist die an die Permanentmagneten anschließende Scheibe mindestens eine ferromagnetische Polscheibe.

[0024] Die Zentralscheibe zwischen den Permanentmagneten kann aus einem nichtmagnetischen beziehungsweise schwachmagnetischen Werkstoff oder bevorzugt, wie oben dargestellt, zur Verbesserung der magnetischen Eigenschaften aus einem ferromagnetischen Werkstoff hergestellt sein.

[0025] Um die Kraftkennlinie des Gerätes für bestimmte Anwendungen vorteilhaft zu modifizieren, also zu verändern, kann die Zentralscheibe einen größeren Durchmesser als die Polscheiben und die Permanentmagneten aufweisen. Für den kleineren Durchmesser des (abgestuften) Ankers ist der Innendurchmesser des Polrohrs an beiden Enden reduziert, in dem Standard-Lagerbuchsen, die aus ferromagnetischem Werkstoff hergestellt und mit einer entsprechenden Gleitbeschichtung ausgeführt sind, in den Polraum des Polrohrs eingeschoben sind. Die Permanentmagneten und die Polscheiben sind also jeweils in Lagerbuchsen geführt. Vorteilhafterweise ist die Zentralscheibe ungefähr so breit ausgebildet wie der nichtmagnetische Bereich.

[0026] Für einen einfachen und preiswerten Aufbau und Zusammenbau sowie eines verstärkten magnetischen Kraftfeldes, weist der Anker eine Ankerstange auf, auf der die Polscheiben, die Permanentmagneten und die Zentralscheibe angeordnet sind.

[0027] Da der doppelt wirkende elektromagnetische Aktor insbesondere für pneumatische oder hydraulische Anwendungen geschaffen wird, bei denen das Polrohr mit dem Fluid in Kontakt steht und das Polrohr insbesondere druckdicht ausgeführt ist, weist die Ankerstange zum Druckausgleich eine Durchgangsbohrung auf.

[0028] In einer bevorzugten Variante der Erfindung ist vorgesehen, daß der magnetisierbare Bereich an einer Begrenzungsflächen an den nichtmagnetischen Bereich anschließt und sich die Dicke des magnetisierbaren Bereiches im Bereich der Begrenzungsfläche bezogen auf den (innenliegenden) Anker entweder von innen beginnend nach außen oder von außen beginnend nach innen verringert. Die hier beschriebenen Varianten sind insbesondere in Fig. 9 und Fig. 10 gezeigt. Gerade die Ausgestaltung des Endbereiches des magnetisierbaren Be-

reiches hin zum nichtmagnetischen Bereich (auch als Polkern beschrieben), beeinflusst in entscheidender Weise die Kennliniengestaltung des erfindungsgemäßen Aktors. So ist es möglich, im Querschnitt der Seitenansicht gesehen, schräge, zum äußeren Umfang zunehmende oder abnehmende, insbesondere zur Spulenchse konkave oder auch bevorzugt nicht gerade und nicht glatte Begrenzungsflächen vorzusehen. Der Verlauf der Begrenzungsfläche ist dabei gegebenenfalls abgewinkelt und durch diesen Verlauf die Kraftkennlinie entsprechend zu beeinflussen oder zu modifizieren. Der Einfluß des magnetisierbaren Bereiches hängt dabei natürlich davon ab, wie dieser mit den Permanentmagneten des Ankers zusammenwirkt. So ist zum Beispiel in einer erfindungsgemäßen Variante zunächst vorgesehen, daß sich der magnetisierbare Bereich im Hinblick auf den Anker von außen beginnend nach innen verringert, das bedeutet, daß, wie in Fig. 9 gezeigt, an der dem Anker zugewandten inneren Seite noch der magnetisierbare Bereich (in radialer Richtung bezüglich der Ankerstange beziehungsweise des Ankers gesehen), im äußeren Bereich bereits der nichtmagnetische Bereich ist. Der Verlauf der Begrenzungsfläche ist aber auch umdrehbar, wie das in Fig. 10 gezeigt ist, bei welchen innen beginnend der magnetisierbare Bereich in seiner Dicke verringert wird.

[0029] Bei einer besonderen alternativen Ausführungsform sind der schwach- beziehungsweise nichtmagnetische Bereich zwei in axialer Richtung, hintereinander angeordnete, schwach- nichtmagnetische Teilbereiche. In diesem Fall wirken sich nur die Außenkanten beziehungsweise Begrenzungsflächen dieser Bereiche auf die Kraftkennlinie aus und sind deshalb wiederum schräg und nicht glatt. Die Innenkanten beziehungsweise Innenbegrenzungsflächen der nichtmagnetischen Teilbereiche zum magnetischen Bereich können einfache, bevorzugt 45°, besonders bevorzugt gerade Winkelflächen haben.

[0030] Um eine Kraftkennlinie in beiden Hubrichtungen möglichst gleichförmig zu erzielen, sind die schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Teilbereiche gleichförmig, bevorzugt im Wesentlichen spiegelbildlich identisch, ausgebildet. Eine vollständig asymmetrische Kraftkennlinie wird natürlich bevorzugt bei einem symmetrischen Aufbau des erfindungsgemäßen Aktors in einfacher Weise erreicht. Bei dem oftmals eingesetzten asymmetrischen Aufbau des Aktors wird trotzdem ein symmetrischer Kraftkennlinienverlauf beziehungsweise ein annähernd symmetrischer Kraftkennlinienverlauf erreicht, indem in geeigneter Weise durch die Anordnung beziehungsweise Ausgestaltung der Begrenzungsfläche Einfluß genommen wird. Gemäß der Erfindung ist es dabei gleichbedeutend, ob die Ausgestaltung der Begrenzungsfläche bezüglich einer Symmetrieebene symmetrisch ist oder hiervon abweichend. Die einzelnen Begrenzungsflächen können dabei auch unterschiedlich gestaltet sein, um entsprechende Kennlinienverläufe zu realisieren. Letztendlich bildet die Ausgestal-

tung der Begrenzungsfläche, ihre Orientierung und abschnittsweise Steigung einen weiteren Parameter, der in geeigneter Weise beeinflusst werden kann, um entsprechende Eigenschaften des Gerätes nach der Erfindung zu erreichen.

[0031] An dieser Stelle wird natürlich darauf hingewiesen, daß im Bereich der Begrenzungsfläche nicht nur von dem magnetisierbaren Material auf das nichtmagnetische Material gewechselt wird, gleiches kann aber auch dadurch erreicht werden, daß zum Beispiel in einer Verbundbauweise zunächst von einem magnetisierbaren Material auf ein zunächst weniger magnetisierbares Material gewechselt wird, was zum Beispiel einer Verringerung der Dicke des magnetisierbaren Materials entspricht, an dem sich dann der nichtmagnetische Bereich, wie beschrieben, anschließt. Bei der Erfindung kann also auch mit der Wahl des Materiales in diesem Bereich entsprechend gearbeitet werden, um die Eigenschaften des Gerätes einzustellen.

[0032] Bevorzugt ist der druckdichte Polraum, dessen eine Seite zum Einsetzen des Ankers dient, durch einen Verschußstopfen abgedichtet. Dieser Verschußstopfen kann aus einem nichtmagnetisierbarem Werkstoff hergestellt sein. Bevorzugt ist jedoch der Verschußstopfen aus einem ferromagnetischem Werkstoff hergestellt, um das Magnetfeld positiv und verstärkend zu beeinflussen.

[0033] Natürlich kann der Verschußstopfen auch verlängert hergestellt sein, um das magnetische Kraftfeld zu verändern.

[0034] Bei einer bevorzugten weiteren Ausführungsform ist zumindest eine Polscheibe zum Verschußstopfen hin verlängert ausgebildet und erstreckt sich insbesondere aus dem Körper der Spule heraus.

[0035] Bei einer bevorzugten Ausführungsform, für hochleistungsfähige Magnete/Aktoren, bei denen magnetische Verluste auf ein Minimum reduziert sein müssen, sind Spule und Polrohr nicht separat sondern integriert ausgebildet.

[0036] Bei einer bevorzugten alternativen Ausführungsform kann das Polrohr und der Verschußstopfen jeweils Lager zur Führung der Ankerstange aufweisen. Somit ist sichergestellt, daß keine Reibung der Permanentmagneten oder Polscheiben beziehungsweise Zentralscheibe im zylinderförmigen Polraum auftritt.

[0037] Ein erfindungsgemäßer doppelwirkender Aktor weist eine druckdichte Gestaltung auf, die einen Arbeitshub, ähnlich wie bei herkömmlichen, einstufigen Magnetventilen hat. Existierende Magnetfertungsverfahren können genutzt werden, wodurch eine kostengünstige Realisierung möglich ist. Der Anker gelangt in eine ausfallsichere Mittelstellung, wenn der Aktor nicht mit Strom beaufschlagt wird. Die Richtung der Kraft ist von der Richtung des Spulenstroms abhängig und über einen begrenzten Hub relativ unabhängig von der Position des Ankers. Der Aktor kann für alle elektromagnetischen Aktor-Anwendungen eingesetzt werden, die eine bidirektionale Kraft brauchen.

[0038] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten

und nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweiligen angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen denkbar sind.

[0039] Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen, unter Bezugnahme auf dazugehörige Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt einer Seitenansicht eines erfindungsgemäßen doppelwirkenden Aktors,

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt einer Seitenansicht eines doppelwirkenden Aktors mit abgestuften Anker,

Fig. 3 einen schematischen Querschnitt einer Seitenansicht eines erfindungsgemäßen doppelwirkenden Aktors mit einer in Lagern geführten Ankerstange,

Fig. 4 einen schematischen Querschnitt einer Seitenansicht des erfindungsgemäßen doppelwirkenden Aktors mit zwei nichtmagnetischen Teilbereichen,

Fig. 5 ein Kraftkennliniendiagramm eines elektromagnetischen Aktors gemäß Fig. 1 und 3,

Fig. 6 ein Kraftkennliniendiagramm eines elektromagnetischen Aktors gemäß Fig. 4,

Fig. 7 ein Kraftkennliniendiagramm eines elektromagnetischen Aktors gemäß Fig. 2,

Fig. 8 einen schematischen Querschnitt einer Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Aktors in symmetrischem Aufbau und

Fig. 9, 10 jeweils in einer Vergrößerung ein Detail des erfindungsgemäßen Aktors.

[0040] Die Fig. 1 zeigt einen elektromagnetischen Aktor 1 im Querschnitt einer Seitenansicht. In einem zylindrischen Polrohr 10 ist ein Anker 2 angeordnet. Das Polrohr 10 weist einen Polraum 16 auf, der durch einen Verschußstopfen 30 und mit einer Runddichtung 40 zu einer Seite druckdicht verschlossen ist. An dem zum Verschußstopfen 30 gegenüber liegenden, stirnseitigen Ende des Polrohrs 10 befindet sich eine weitere Runddichtung 50 zum Abdichten gegenüber einem nicht dargestellten befestigbaren Ventilkörper. Der Ventilkörper wird von dem Anker 2 betätigt.

[0041] Der Anker 2 umfaßt eine Ankerstange 24, auf der im Bereich des Polrohrraums 16 zwei Permanentmagneten 22, 25 angeordnet sind. Zwischen den Permanentmagneten 22, 25 ist eine Zentralscheibe 23, bevorzugt aus ferromagnetischem Material angeordnet. Stirnseitig in axialer Richtung zu den Permanentmagne-

ten ist jeweils eine aus ferromagnetischem Werkstoff hergestellte Polscheibe 21 beziehungsweise 26 angeordnet.

[0042] Damit die Polscheiben 21, 26, die Permanentmagneten 22, 25 und die Zentralscheibe 23 möglichst reibungsfrei in dem zylinderförmigen Polrohr 16 gleiten können und die Ankerstange 24 des Ankers 2 führen können, sind die Innenflächen des Polrohrs mit einer Folie, insbesondere einer PTFE (Polytetrafluorethylen)-Folie als Lager 60 überzogen. Um das Polrohr 10 befindet sich ein Magnetkörper 70 mit einer elektromagnetischen Spule 71. Der Polraum 16 erstreckt sich von der einen Stirnseite der Spule 71 bis etwa über die Hälfte der Spule 71.

[0043] Um den Anker 2 innerhalb des Polraums 16 zu zentrieren, ist in der äußeren Umfangs- beziehungsweise Mantelfläche des ferromagnetischen Polrohrs 10 ein schwach- beziehungsweise nichtmagnetischer Bereich 8 vorgesehen. In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel besitzt das Polrohr 10 neben dem nichtmagnetischen Bereich 8 auch den magnetisierbaren Bereich 7. Zwischen dem magnetisierbaren Bereich 7 und dem nichtmagnetischen Bereich 8 ist eine Begrenzungsfläche 79 vorgesehen. Die Begrenzungsfläche 79 ist im Querschnitt der Seitenansicht gesehen schräg, zum äußeren Umfang radial nach außen zunehmend, insbesondere zu einer Parallelen der Bewegungsrichtung des Ankers 2 oder Spulenchse der Spule 71 konkav, nicht gerade und gegebenenfalls auch nicht glatt ausgebildet. Diese nicht geraden Begrenzungsflächen 79 beziehungsweise dieser nicht gerade Übergang führt zu einer Kraftkennlinie die nicht direkt vom Hub abhängt. Im Gegensatz zu einer Kraftkennlinie, deren Übergänge senkrecht, das heißt radial ausgebildet sind. Kanten dieser Übergänge wirken wie Polkerne. Der nichtmagnetische Bereich 8 teilt das Polrohr 10 somit in zwei Polkerne 11, 13. Die Permanentmagneten 22, 25 bilden somit jeweils ein geschlossenes Magnetfeld 72 und 73 mit jeweils einem Polkern 11, 13 des Polrohrs 10 für sich aus, das zum nichtmagnetischen Bereich 8 spiegelbildlich ist. Es versteht sich, daß das Magnetfeld 72 und 73 jeweils ringförmig zur Ankerachse angeordnet ist, wenn die Spule 21 nicht mit Strom beaufschlagt ist.

[0044] Im Rahmen der Definition dieser Anmeldung wird unter einem magnetisierbaren Bereich 7 gemäß dem Anspruch ein stärker beziehungsweise leicht magnetisierbarer Bereich verstanden, dessen Magnetisierung in der Regel größer ist wie die Magnetisierung des nichtmagnetischen Bereiches 8, der gegebenenfalls schwach- beziehungsweise eben nichtmagnetisch ist.

[0045] Zum Druckausgleich weist die Ankerstange 24 eine Durchgangsbohrung 28 auf. Der Anker könnte alternativ auch durchgebohrt sein.

[0046] Die Fig. 2 zeigt im schematischen Querschnitt eine Seitenansicht eine besondere Ausführungsform des erfindungsgemäßen doppeltwirkenden Aktors 1. Dieser unterscheidet sich gegenüber der Ausführungsform gemäß der Fig. 1 dadurch, daß die Zentralscheibe 23 einen

größeren Durchmesser aufweist als die Permanentmagneten 22, 25 und die Polscheiben 21, 26. Die Polscheiben 21, 26 und die Permanentmagneten 22, 25 sind abgestuft in, insbesondere magnetischen, Hülsen beziehungsweise hülsenförmigen Lagerbuchsen 62 geführt. Auch die Lagerbuchsen 62 weisen in ihren Innenflächen eine Folie, vorzugsweise aus PTFE zur verbesserten Gleitfähigkeit auf.

[0047] Die Fig. 2 zeigt außerdem das magnetische Kraftflußfeld 74 in gestrichelter Linie für eine Bewegung der Ankerstange 24 aus dem Polrohr 1. Der Anker wird bei einem positiven Strom in der eingezeichneten Pfeilrichtung aus dem Polrohr 10 gezogen. Der magnetische Fluß des einen Dauermagneten 25 wird durch die Spule 71 verstärkt und der magnetische Fluß des anderen Dauermagneten 22 wird vermindert. Die unterschiedlichen Magnetflüsse durch die zwei Polkerne 11, 13 verursachen eine Nettokraft, die den Anker 2 in eine positive Richtung aus dem Polrohr 10 hinauszieht.

[0048] Die Fig. 3 zeigt dagegen den Stromfluß in der Spule in umgekehrter Richtung. Hieraus resultiert ein Kraftflußfeld 76, das dem nach Fig. 2 gerade entgegengerichtet ist. Die Kraftfeldlinien des Kraftflußfeldes 76 laufen entgegen der Uhrzeigerrichtung. Hier wird der Stromfluß des Permanentmagnetens 22 verstärkt und der magnetische Fluß des Permanentmagnetens 25 vermindert. Dadurch erfolgt eine Hubbewegung des Ankers 2 in das Polrohr 10. Es erfolgt somit eine Bewegung in negativer Richtung. Der doppelt wirkende Aktor gemäß der Fig. 3 zeichnet sich zudem dadurch aus, daß die Ankerstange 24 mittels zwei Lagern 92 und 94 geführt ist. Dies kann vorteilhafterweise die Reibung minimieren. Das eine Lager 92 ist coaxial im Polrohr 10 angeordnet, während das zweite Lager 94 im Verschlußstopfen 30 eingesetzt ist. Wahlweise ist es möglich, nur ein Lager 92, 94 vorzusehen.

[0049] Die Fig. 4 zeigt den elektromagnetischen doppeltwirkenden Aktor 1 in einer weiteren Ausführungsform mit zwei nicht oder schwach magnetischen Teilbereichen 82, 84. Der nicht- beziehungsweise schwachmagnetische Bereich 82, 84 ist somit aufgesplittet und wirkt vergrößerd. Dementsprechend ist die Zentralscheibe 23 deutlich breiter ausgebildet. Bei einer derartigen Ausgestaltung wirken nur die äußeren Begrenzungsflächen beziehungsweise Übergangsbereiche von den Stirnseiten des Polrohrs 10 sich auf die Eigenschaften der Kraftkennlinie des Aktors 1 aus. Die Innenkanten beziehungsweise Innenbegrenzungsflächen oder Übergänge vom nichtmagnetischen Bereich 82, 84 zum magnetischen Mantel des Polrohrs 10 können einfache Winkel, insbesondere 45°-Winkel und bevorzugt gerade Flächen aufweisen. Die Ausgestaltung ist aber auch variabel, wie zum Beispiel in Fig. 9 und 10 gezeigt, bezüglich Ausführung und Neigung der Begrenzungsflächen realisierbar. Die Kanten beziehungsweise Begrenzungsflächen dieser Übergangsbereiche wirken wie Polkerne.

[0050] Der nichtmagnetische Bereich 8, 82, 84 kann mittels verschiedenen Fertigungsverfahren produziert

werden. Der Verschlußstopfen kann entweder aus ferromagnetischem oder nichtmagnetischem Stoff hergestellt sein. Die Permanentmagneten 22, 25 sind in der axialen Richtung magnetisiert und sind so angeordnet, daß jeweils gleiche Pole zu den Stirnseiten gerichtet sind und gleiche Pole zu gegenüberliegenden Flächen gerichtet sind. Im vorliegenden Beispiel sind die S-Pole zu den äußeren Stirnseiten des Ankers 2 gerichtet.

[0051] Die Fig. 5 zeigt ein Kraftkennliniendiagramm gemäß der Ausführungsform, die in der Fig. 1 und 3 gezeigt ist. Die Form des Polkerns beeinflusst dabei die gewünschte Kraftkennlinie. Die Fig. 5 zeigt eine typische Kraftkennlinie, wenn die Polkerne 11, 13 mit einfachen Winkeln verbaut sind.

[0052] Die Fig. 6 zeigt ein Kraftkennliniendiagramm mit einer flacheren Kraftkennlinie. Dies kann erreicht werden, wenn die Polkerne 11, 13 (beziehungsweise unterschiedlich ausgebildete Begrenzungsflächen 79) zwei oder mehrere unterschiedliche Winkel beinhalten.

[0053] Die Fig. 7 zeigt eine Kraftkennlinie mit einem abgestuften Anker, gemäß der Ausführungsform, wie sie in der Fig. 2 dargestellt ist. Hier ist jedoch, da die Permanentmagneten kleiner ausgebildet sind und weiter von der Spule entfernt liegen, die Nennkraft ungefähr 15% niedriger als diejenige, die von einem zylindrischen, in der Fig. 1 und 3 gezeigten Anker erreicht werden kann.

[0054] Mit dem elektromagnetischen doppelwirkenden Aktor 1 kann somit eine flache Kennlinie mit einem Arbeitshub, ähnlich wie bei Standardmagneten, erzielt werden. Die Kraftkennlinie kann durch Polkerne (beziehungsweise Begrenzungsflächen 79) mit Mehrfachwinkeln optimiert werden. Dabei ist das druckdichte Polrohr 10 ähnlich wie bei Standardelektromagneten ausgebildet, so daß vorhandene Standardmagnetkörper eingesetzt werden können. Außerdem ist der elektromagnetische doppelwirkende Aktor 1 für alle möglichen anderen Baugrößen anpassungsfähig.

[0055] Im Gegensatz zu der erfindungsgemäßen Variante nach Fig. 1 zeigt Fig. 8 eine weitestgehend symmetrische Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Aktors. Als Symmetrieebene wird dabei eine Mittelebene der Spule 71 angesehen, die rechtwinklig zur Bewegungsrichtung des Ankers 2 beziehungsweise Spulenachse der Spule 71 orientiert ist. In der Ruhestellung, also der nicht strombeaufschlagten Stellung, ist der Anker 2 zentrisch bezüglich des nichtmagnetischen Bereiches 7 positioniert, da sich hier ein entsprechendes Kräftegleichgewicht der verschiedenen gegengerichteten magnetischen Kräfte ergibt. Aufgrund des symmetrischen Aufbaus schließt sich an den verhältnismäßig langgestreckten Anker 2 links und rechts jeweils kleine Luftspalte 17 beziehungsweise 17' an, die den Hub des Ankers nach links beziehungsweise rechts begrenzen. Auf der linken Seite befindet sich der Luftspalt 17', der zwischen dem Boden 14 des Polrohres 10 und der linken Scheibe 21 ist.

[0056] Das Polrohr 10 ist, ähnlich wie bei Fig. 1, aus einem Vollmaterial geschaffen, welches an seiner Au-

ßenkontur im Wesentlichen zylinderförmig ist und innen-seitig zur Aufnahme des Ankers 2 eine Ausnehmung oder Bohrung aufweist.

[0057] Auf der rechten Seite wird der Luftspalt 17 begrenzt von der Anlagefläche 32 des Verschlußstopfens 30, der an das rechte, offene Ende des Polrohres 10 eingesetzt ist und durch eine Verstemmung 31 oder Gewinde oder dergleichen druckfest gehalten ist. Zur Verbesserung der Dichtheit ist eine Dichtung 40 vorgesehen.

[0058] Durch die spezielle Ausgestaltung der Polkerne 11, 13 ist die Kraftkennlinie entsprechend einstellbar. Die Polkerne 11, 13 sind die Bereiche des magnetisierbaren Bereiches 7, die sich an den nichtmagnetisierbaren Bereich 8 anschließen und insbesondere die Begrenzungsfläche 79 aufweisen. Gerade auf die Ausgestaltung der Polkerne 11, 13 im Bereich der Begrenzungsfläche 79 kommt es an, um die Kraftkennlinie entsprechend zu beeinflussen. Diese Situation ist vergrößert in Fig. 9, 10 nochmals dargestellt.

[0059] In Bezug auf die weitere Definition ist im Sinne der Anmeldung vorgesehen, daß sich die Ankerstange 24 innen befindet, da alle Elemente, die radial weiter von der Ankerstange 24 entfernt sind, entsprechend außen liegen.

[0060] In dem in Fig. 9 Gezeigten verringert sich die Dicke des magnetisierbaren Bereiches 7 beginnend von außen nach innen.

[0061] Das bedeutet, daß in Längsrichtung des Poles zuerst an der Außenseite der magnetisierbare Bereich geschwächt wird, wohingegen der innere, dem Anker 2 zugewandte Bereich nach wie vor vorhanden ist. Es ergibt sich dadurch eine umlaufende Nut in dem Polrohr 10 mit schräg verlaufenden Begrenzungsflächen 79'. In dem hier ausgeführten Beispiel sind auch die Begrenzungsflächen nicht in sich eben, sondern abgewinkelt. Bezüglich der Ausgestaltung dieser Begrenzungsfläche 79' ist die Erfindung in keinsten Weise festgelegt, sie kann entsprechend der gewünschten Kraftkennlinie gebogen, sphärisch geformt, abgestuft, eben, konisch und so weiter sein.

[0062] Hier entgegen zeigt Fig. 10 einen anderen Anwendungsfall, bei welchem die Dicke des magnetisierbaren Bereiches 7 innen beginnend nach außen verringert wird. Hieraus resultiert eine ringförmige Ausnehmung in dem zylinderartigen Polrohr 10, welches im Bereich des magnetisierbaren Materials 7 eine Hinterschneidung aufweist, wie dies mit den Begrenzungsflächen 79'' angedeutet ist. Auch hier ist die Erfindung wiederum nicht festgelegt, wie die konkrete Form dieser Begrenzungsflächen 79'' gebildet ist.

[0063] Insbesondere wird auf die zeichnerischen Darstellungen für die Erfindung als wesentlich verwiesen.

[0064] Die jetzt mit der Anmeldung und später eingereichten Ansprüche sind Versuche zur Formulierung ohne Präjudiz für die Erzielung weitergehenden Schutzes.

[0065] Sollte sich hier bei näherer Prüfung, insbesondere auch des einschlägigen Standes der Technik, er-

geben, daß das eine oder andere Merkmal für das Ziel der Erfindung zwar günstig, nicht aber entscheidend wichtig ist, so wird selbstverständlich schon jetzt eine Formulierung angestrebt, die ein solches Merkmal, insbesondere im Hauptanspruch, nicht mehr aufweist.

[0066] Es ist weiter zu beachten, daß die in den verschiedenen Ausführungsformen beschriebenen und in den Figuren gezeigten Ausgestaltungen und Varianten der Erfindung beliebig untereinander kombinierbar sind. Dabei sind einzelne oder mehrere Merkmale beliebig gegeneinander austauschbar. Diese Merkmalskombinationen sind ebenso mit offenbart.

[0067] Die in den abhängigen Ansprüchen angeführten Rückbeziehungen weisen auf die weitere Ausbildung des Gegenstandes des Hauptanspruches durch die Merkmale des jeweiligen Unteranspruches hin. Jedoch sind diese nicht als ein Verzicht auf die Erzielung eines selbständigen, gegenständlichen Schutzes für die Merkmale der rückbezogenen Unteransprüche zu verstehen.

[0068] Merkmale, die bislang nur in der Beschreibung offenbart wurden, können im Laufe des Verfahrens als von erfindungswesentlicher Bedeutung, zum Beispiel zur Abgrenzung vom Stand der Technik beansprucht werden.

[0069] Merkmale, die nur in der Beschreibung offenbart wurden, oder auch Einzelmerkmale aus Ansprüchen, die eine Mehrzahl von Merkmalen umfassen, können jederzeit zur Abgrenzung vom Stande der Technik in den ersten Anspruch übernommen werden, und zwar auch dann, wenn solche Merkmale im Zusammenhang mit anderen Merkmalen erwähnt wurden beziehungsweise im Zusammenhang mit anderen Merkmalen besonders günstige Ergebnisse erreichen.

Patentansprüche

1. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor (1), insbesondere für Hydraulik- und Pneumatik-Anwendungen, mit einer Spule (71), einem in der Spule (71) angeordneten Anker (2) mit mindestens zwei in axialer Richtung magnetisierten Permanentmagneten (22, 25), und einer Zentralscheibe (23) zwischen den Permanentmagneten (22, 25), wobei zwischen Anker (2) und Spule (71) in axialer Richtung stärker beziehungsweise leicht magnetisierbare Bereiche (7) vorgesehen sind und zwischen diesen ein schwach- beziehungsweise nichtmagnetischer Bereich (8) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (2) in einem Polrohr (10) gelagert ist, das in der Spule (71) angeordnet ist.
2. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polrohr (10) druckdicht ausgeführt ist.
3. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder beiden der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass das Polrohr (10) aus einem magnetisierbaren Werkstoff hergestellt ist und/oder das Polrohr (10) die stärker beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereiche (7) und den schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Bereich (8) aufweist.

4. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen bezüglich einer Mittelebene der Spule (71) symmetrischen Aufbau des Ankers (2) und/oder einen bezüglich einer Mittelebene der Spule (71) asymmetrischen Aufbau des Ankers (2).
5. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine bezüglich einer Mittelebene der Spule (71) symmetrischen Anordnung des starken beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereichs (7) und des schwachbeziehungsweise nichtmagnetischen Bereichs (8) und/oder eine bezüglich einer Mittelebene der Spule (71) asymmetrischen Anordnung des starken beziehungsweise leicht magnetisierbaren Bereichs (7) und des schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Bereichs (8).
6. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der schwach magnetische beziehungsweise nichtmagnetische Bereich (8) zentriert zu einem Polraum (16) ausgebildet ist und/oder der nichtmagnetische Bereich (8) ein Luftspalt ist und/oder der nichtmagnetische Bereich (8) aus Vollmaterial hergestellt ist.
7. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der nichtmagnetische Bereich (8) aus nichtmagnetisierbarem Metallwerkstoff hergestellt ist und/oder der nichtmagnetische Bereich (8) aus nichtmagnetisierbarem Kunststoff beziehungsweise einem Kunststoffverbund hergestellt ist und/oder das Polrohr (10) mit dem schwach- beziehungsweise nichtmagnetischen Bereich (8) ausgebildet ist.
8. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Polraum (16) vorgesehen ist, der über eine Hälfte der Spule (71) hinausragt und/oder der nichtmagnetische Bereich (8) im Polrohr (10) in Ruhestellung des Ankers in axialer Richtung ungefähr gegenüberliegend zur Zentralscheibe (23) angeordnet ist.
9. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach

einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Polung der Permanentmagneten (22, 25) bezüglich der Zentralscheibe (23) symmetrisch ist und/oder sich an dem Permanentmagnet (22, 25) eine Scheibe (21, 26) anschließt.

10. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an den Stirnseiten der Permanentmagnete (22, 25) anschließend jeweils eine Scheibe (21, 26) angeordnet ist und/oder die an die Permanentmagneten (21) anschließende Scheibe (21, 26) mindestens eine ferromagnetische Polscheibe ist und/oder eine Zentralscheibe (23) zwischen den Permanentmagneten (21) aus einem ferromagnetischen Werkstoff hergestellt ist.
11. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (2) eine Ankerstange (24) aufweist, auf der die Scheiben (21, 26), die Permanentmagneten (22, 25) und die Zentralscheibe (23) angeordnet sind und/oder die Ankerstange (24) eine Durchgangsbohrung (28) zum Druckausgleich aufweist und/oder ein Bewegungshub der Permanentmagneten (22, 25) innerhalb der Spule (71) liegt.
12. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der schwachbeziehungsweise nichtmagnetische Bereich (8) zwei in axialer Richtung, hintereinander angeordnete, schwachbeziehungsweise nichtmagnetische Teilbereiche (82, 84) sind und/oder die schwachbeziehungsweise nichtmagnetischen Teilbereiche (82, 84) gleichförmig, bevorzugt im Wesentlichen identisch ausgebildet sind.
13. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der magnetisierbare Bereich (7) an einer Begrenzungsfläche (79) an dem nichtmagnetischen Bereich (8) anschließt und sich die Dicke des magnetisierbaren Bereiches (7) im Bereich der Begrenzungsfläche (79) auf dem Anker entweder von innen beginnend nach außen oder von außen beginnend nach innen verringert.
14. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zentralscheibe (23) einen größeren Durchmesser als die Polscheiben (21, 26) und die Permanentmagneten (22) aufweist und/oder die Zentralscheibe (23) im

Wesentlichen die Breite des nichtmagnetischen Bereichs (8) aufweist oder die Zentralscheibe (23) dicker ist als der nichtmagnetische Bereich (4) und/oder die Permanentmagneten (22) und die Polscheiben (21, 26) jeweils in Lagerbuchsen (62) geführt sind.

15. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der druckdichte Polrohrraum (16) durch einen Verschlussstopfen (30) abgedichtet ist und/oder der Verschlussstopfen (30) aus ferromagnetischem Werkstoff hergestellt ist und/oder der Verschlussstopfen (30) verlängert ausgebildet ist und/oder der Verschlussstopfen (30) aus nichtmagnetisierbarem Werkstoff hergestellt ist.
16. Doppeltwirkender elektromagnetischer Aktor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polrohr (10) und der Verschlussstopfen (30) Lager (9) zur Führung der Ankerstange (24) aufweisen und/oder die Polscheibe (26) zum Verschlussstopfen (30) hin verlängert, insbesondere außerhalb des Körpers der Spule (71) erstreckend, ausgebildet ist und/oder die Spule (71) und das Polrohr (10) integriert ausgebildet sind.

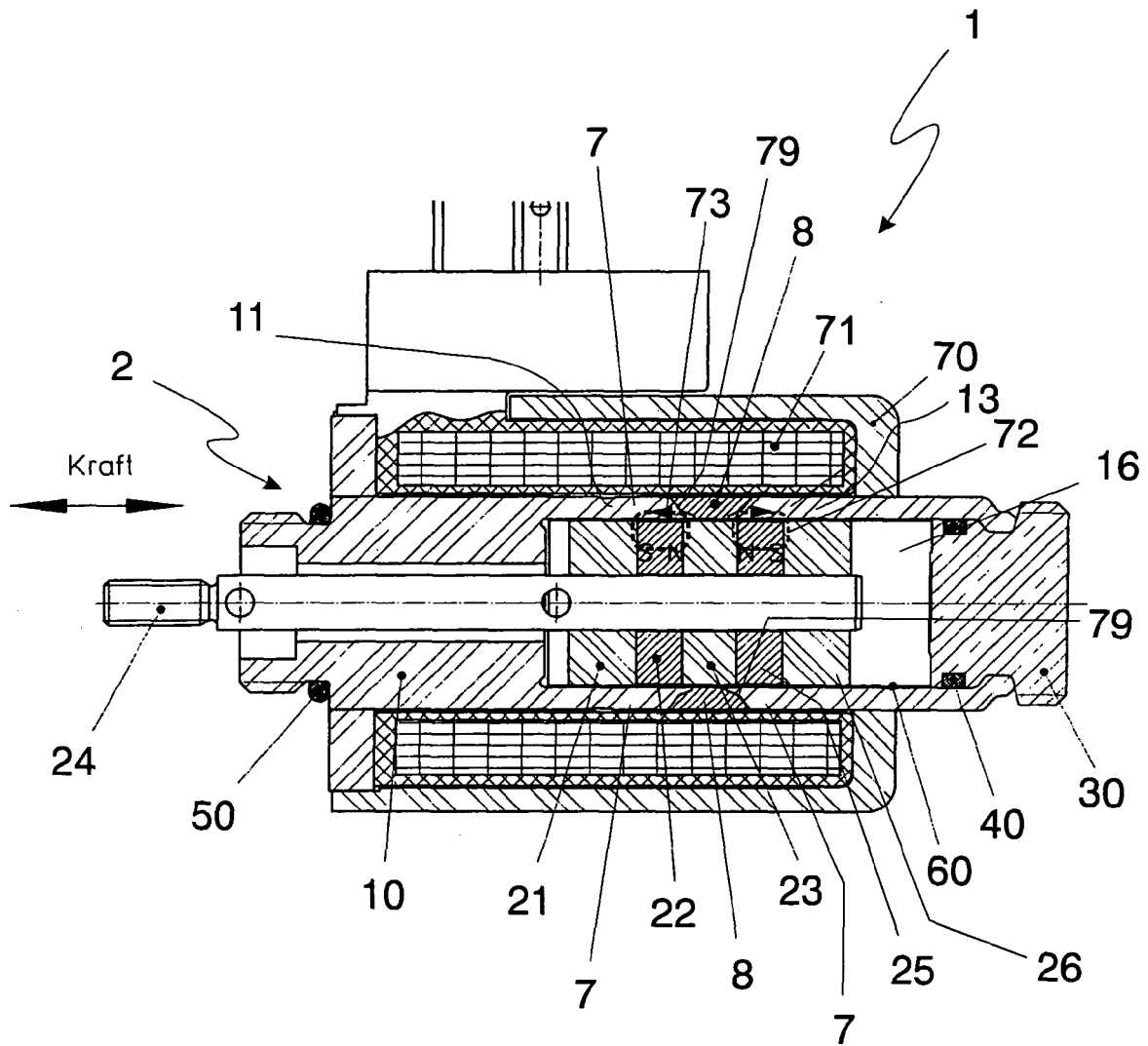
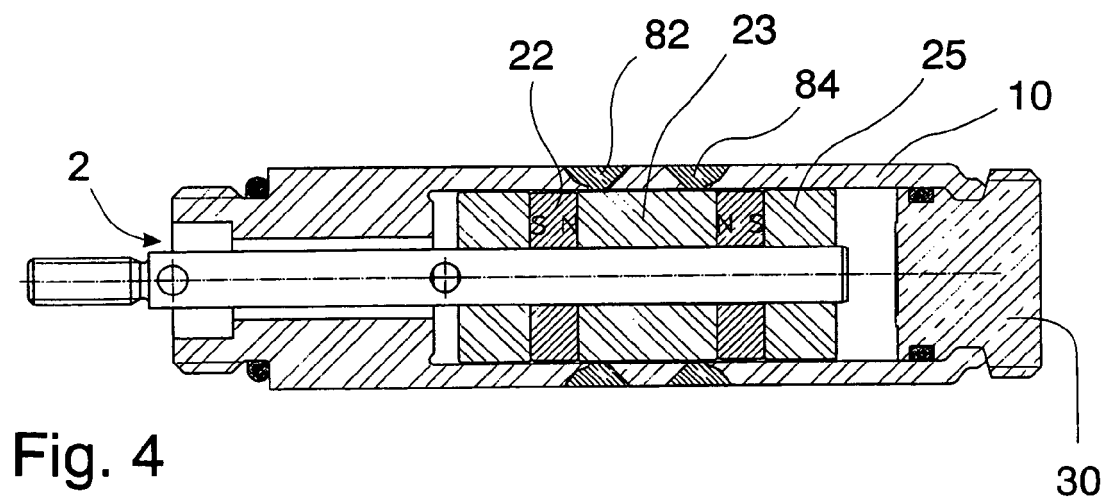
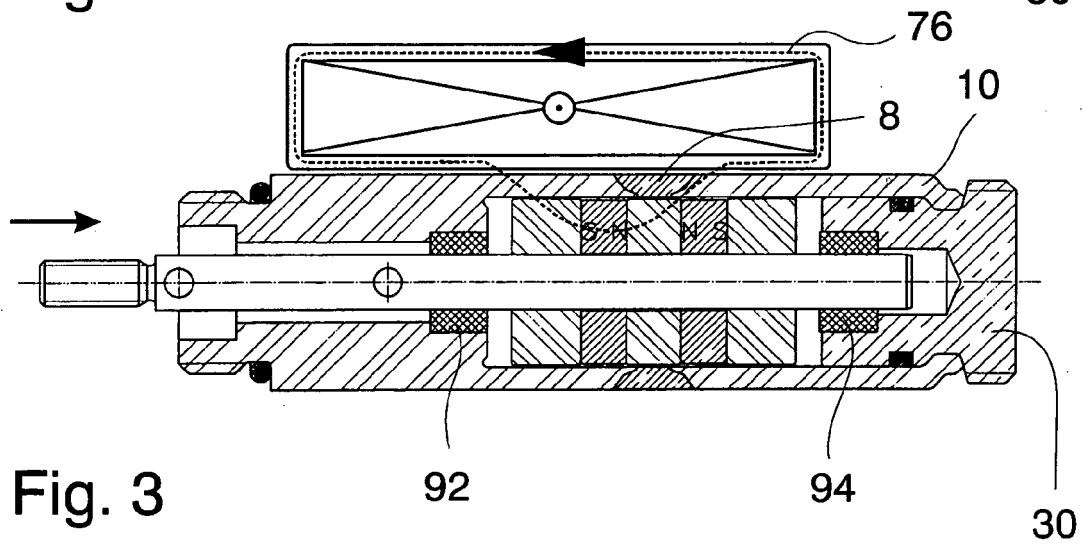
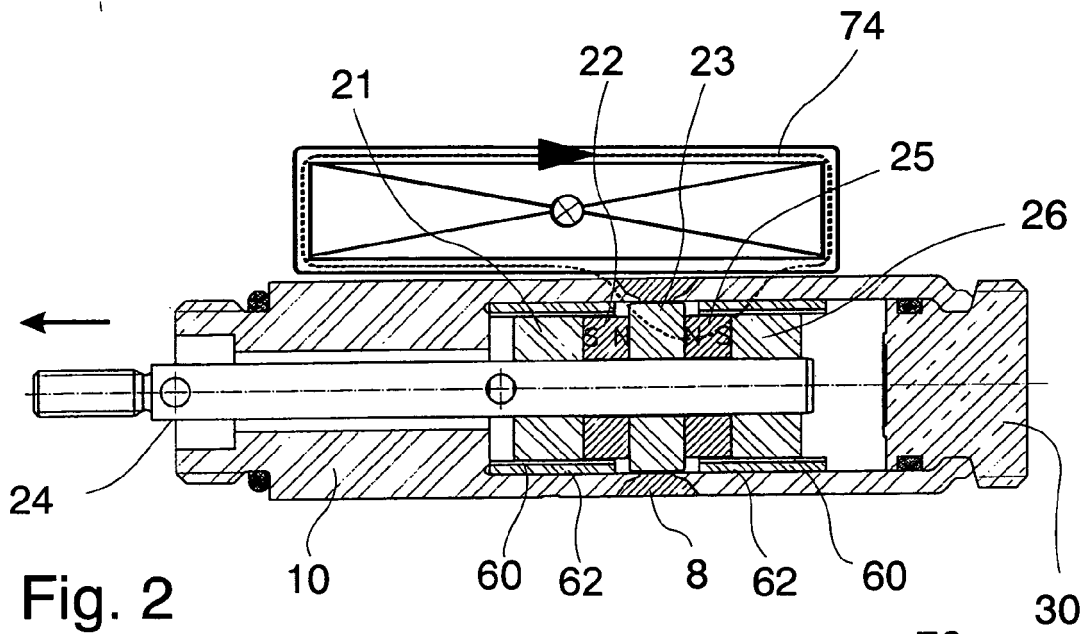


Fig. 1



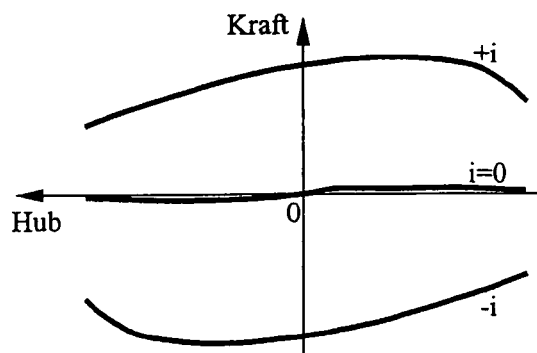


Fig. 5

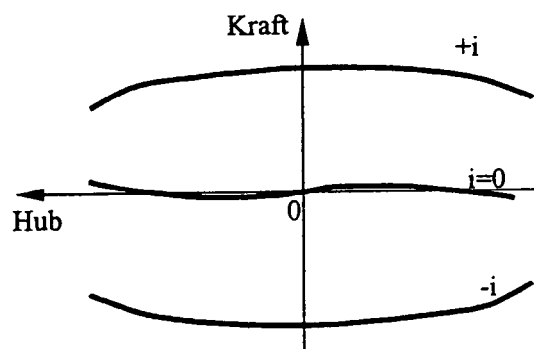


Fig. 6

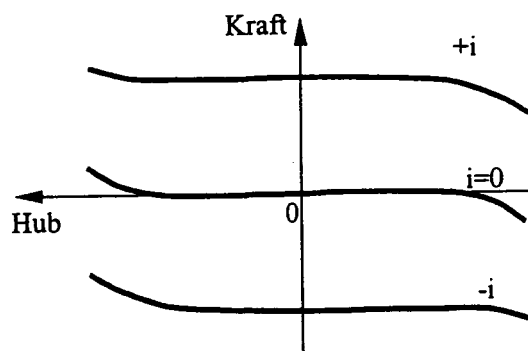


Fig. 7

