



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**17.01.2018 Patentblatt 2018/03**

(51) Int Cl.:  
**H01F 5/06** (2006.01) **H01F 7/127** (2006.01)  
**F02M 51/06** (2006.01) **H01F 41/04** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17180783.7**

(22) Anmeldetag: **11.07.2017**

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

(72) Erfinder:  
• **Steinhilber, Jens**  
**72379 Hechingen (DE)**  
• **Rendelmann, Jürgen**  
**72760 Reutlingen (DE)**

(74) Vertreter: **Witte, Weller & Partner Patentanwälte mbB**  
**Postfach 10 54 62**  
**70047 Stuttgart (DE)**

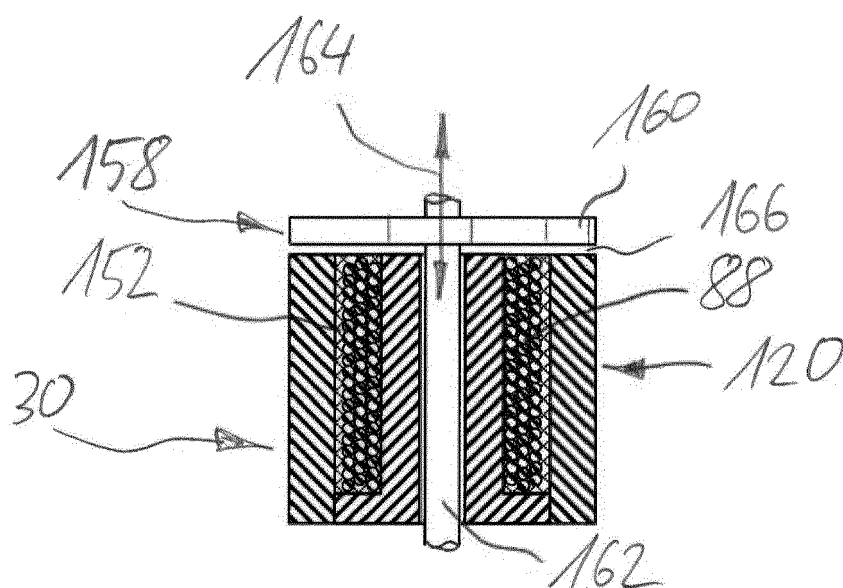
(30) Priorität: **11.07.2016 DE 102016112643**

(71) Anmelder: **Prettl, Rolf**  
**72072 Tübingen (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER MAGNETSPULE SOWIE MAGNETSPULE**

(57) Die Offenbarung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer luftspaltreduzierten Magnetspule (30) für einen magnetischen Aktor (28), insbesondere für einen Injektor (10), mit den folgenden Schritten Bereitstellung eines Magnetkerns (80), der zumindest abschnittsweise radial zugänglich ist und einen Aufnahmebereich (86) zur direkten Aufnahme einer Spulenwicklung (88) um-

fasst, Erzeugung einer Spulenwicklung (88) mit einem Wickeldraht (90), der direkt um den Magnetkern (80) gelegt wird, wobei die Spulenwicklung (88) durch den Magnetkern (80) stabilisiert wird, und Fixieren der erzeugten Spulenwicklung (88). Die Offenbarung betrifft ferner eine korrespondierende Magnetspule (30).



**Fig. 11**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer luftspaltreduzierten Magnetspule für einen magnetischen Aktor, insbesondere für einen Injektor. Ferner betrifft die Erfindung eine Magnetspule für einen magnetischen Aktor, sowie einen Injektor, insbesondere eine Kraftstoff-Einspritzdüse für einen Verbrennungsmotor, mit einem solchen magnetischen Aktor.

**[0002]** Eine Kraftstoff-Einspritzdüse allgemeiner Art ist beispielhaft aus der EP 0 132 623 A2 bekannt. Die Einspritzdüse ist mit einem magnetischen Aktor versehen, der eine gehäusefeste, gekapselte Induktionsspule aufweist.

**[0003]** Aus der DE 10 2007 000 164 A1 ist eine Magnetspule mit einem gebauten Magnetkopf zur Verwendung bei einem Einspritzventil bekannt, wobei eine Spulenwicklung an einem inneren Kern aufgenommen ist, und wobei ein äußerer Kern vorgesehen ist, der den inneren Kern und die Wicklung umgibt. Zur Verbindung zwischen dem inneren Kern und dem äußeren Kern dient ein Kernverbindungselement.

**[0004]** Aus der DE 28 09 975 A1 ist ein Magnetaktor für eine Einspritzanlage bekannt, mit einer an einem Kern aufgenommenen Wicklung, die von einem Hohlzylinder umgeben ist.

**[0005]** Injektoren zur Kraftstoffversorgung von Verbrennungsmotoren sind allgemein bekannt. Diese werden allgemein auch als Einspritzdüsen bezeichnet. Moderne Injektoren sind mit mechatronischen Aktoren versehen, etwa mit magnetischen Aktoren, um das Öffnen und Schließen der Düsen hochgenau steuern zu können. Moderne Einspritzsysteme für Dieselmotoren sind für maximale Einspritzdrücke von mehreren hundert bar bis hin zu über 1000 bar oder gar bis zu 2500 bar ausgelegt.

**[0006]** Es sind Injektoren mit sog. Piezo-Aktoren bekannt. Gleichwohl werden auch Injektoren mit magnetischen Aktoren verwendet. Derartige Injektoren sind üblicherweise mit einer Magnetspule versehen, die mit einem beweglichen Anker zusammenwirkt, um den Injektor anzusteuern.

**[0007]** Es ist üblich, ein separates Bauteil vorzusehen, einen sog. Spulenträger, auf dem die Spulenwicklung erzeugt wird. Der Spulenträger ist etwa ähnlich einer Kabeltrommel gestaltet, wenn die Wicklung erzeugt ist. Gemeinsam mit dem Spulenträger kann die Spulenwicklung einem Magnetkopf oder Magnetkern zugeführt werden, um einen Magnetkreis auszubilden. Der Spulenträger dient einerseits als Montagehilfe. Ferner sichert der Spulenträger auch die Lage der erzeugten Spulenwicklung. Dies gilt zumindest temporär bis die Spulenwicklung etwa durch einen Verguss oder ein Umspritzen gesichert ist.

**[0008]** Die Funktion des Spulenträgers als Montagehilfsmittel hat den Vorteil, dass die erzeugte Spulenwicklung etwa in einfacher Weise in einen Magnetkopf eingebracht werden kann, der eine umlaufende Nut zur Aufnahme der Spulenwicklung bereitstellt.

**[0009]** Es hat sich jedoch gezeigt, dass Magnetspulen, die gemäß diesem Ansatz hergestellt sind, in ihrer Leistungsfähigkeit, insbesondere im Hinblick auf die Leistungsdichte, an Grenzen stoßen. Jegliche Bauteile, die aus einem nicht magnetisierbaren Material bestehen, die jedoch im flussführenden Bereich des magnetischen Aktors oder dem flussführenden Bereich benachbart angeordnet sind, müssen durch die durch die Spule erzeugten Magnetfelder überwunden werden. Somit ist bei gegebenem Bauraum aufgrund des erforderlichen Spulenträgers nicht das gesamte Leistungspotential des Magnetkreises abrufbar. Mit anderen Worten erhöht der Spulenträger den Abstand zwischen der Spulenwicklung und den flussführenden Teilen des Magnetkreises. Demgemäß hat das Einbringen eines Spulenträgers zwischen die Spulenwicklung und den Magnetkopf oder Magnetkern eine ähnliche Wirkung wie eine Erhöhung des Luftspaltes. Mit anderen Worten erhöht der Spulenträger in praktischer Hinsicht den "gedachten" Luftspalt. Konkret definiert der Spulenträger einen Mindestabstand zwischen der Spulenwicklung und dem Magnetkopf oder Magnetkern.

**[0010]** Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Offenbarung die Aufgabe zugrunde, eine luftspaltreduzierte Magnetspule sowie einen magnetischen Aktor mit einer solchen Magnetspule anzugeben, die bei gegebenem Bauraum eine hohe Leistungsdichte aufweisen und insbesondere eine höhere Flussdichte erlauben als mit Spulenträgern versehene Magnetspulen. Vorzugsweise ist die Magnetspule auch bei der gewünschten erhöhten Leistungsfähigkeit einfach herstellbar. Darüber hinaus soll die Magnetspule hinreichend robust gestaltet sein, wobei insbesondere die Lage und Ausrichtung der Spulenwicklung stabil sein soll. Ferner erlaubt eine solche Magnetspule vorzugsweise die Erzeugung höherer Magnetkräfte. Die Magnetspule soll bauraumoptimiert gestaltet sein.

**[0011]** Ferner sollen vorteilhafte Ausgestaltungen von Magnetspulen sowie von mit solchen Magnetspulen versehenen Injektoren angegeben werden.

**[0012]** Diese Aufgabe wird das Verfahren betreffend erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer luftspaltreduzierten Magnetspule für einen magnetischen Aktor, insbesondere für einen Injektor, mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellung eines Magnetkerns, der zumindest abschnittsweise radial zugänglich ist und einen Aufnahmebereich zur direkten Aufnahme einer Spulenwicklung umfasst,
- Erzeugung einer Spulenwicklung mit einem Wickeldraht, der direkt um den Magnetkern gelegt wird, wobei die Spulenwicklung durch den Magnetkern stabilisiert wird,
- Fixieren der erzeugten Spulenwicklung, und

- Erzeugung einer gebauten Magnetkopfstruktur, umfassend:

- Bereitstellung eines Umfangskörpers, der zur Flussführung ausgestaltet ist,
- Fügen des Umfangskörpers mit dem Magnetkern,

wobei die Spulenwicklung zwischen dem Magnetkern und dem Umfangskörper angeordnet wird, und

wobei der Umfangskörper als Teil eines Gehäuses des magnetischen Aktors ausgebildet wird.

**[0013]** Die Aufgabe der Erfindung wird auf diese Weise vollständig gelöst.

**[0014]** Erfindungsgemäß wird nämlich die Spulenwicklung direkt am bzw. auf dem Kern erzeugt. Dies hat den Vorteil, dass kein separater Spulenträger erforderlich ist. Mit anderen Worten kann der Abstand zwischen der Spulenwicklung und dem flussführenden Magnetkern deutlich reduziert werden. Dies reduziert den magnetischen Widerstand, also den gedachten "Luftspalt" zwischen der Spulenwicklung und dem Magnetkern. Demgemäß kann die Flussdichte deutlich erhöht werden. Bei gegebenem Bauraum lässt sich eine höhere Leistungsdichte erreichen. Umgekehrt ist es möglich, gewünschte Kennwerte, etwa eine definierte Magnetkraft, bei geringerem Bauraumbedarf zu erreichen.

**[0015]** Insgesamt kann die auf diese Weise erzeugte Magnetspule als luftspaltreduzierte Magnetspule bezeichnet werden. Die Abstände zwischen der Spulenwicklung und flussführenden Bereichen, insbesondere dem Magnetkern und/oder einem Anker, können sowohl in axialer Richtung als auch in radialer Richtung reduziert werden.

**[0016]** Da die Spulenwicklung nach dem Wickelvorgang fixiert wird, ist es nicht erforderlich, separate Spulenträger oder dergleichen vorzusehen. Die Spulenwicklung wird vorzugsweise in ihrer gewickelten Lage direkt am Magnetkern fixiert. Das Fixieren der Spulenwicklung kann durch verschiedene Maßnahmen bewirkt werden. Wesentlich ist, dass das Fixieren der Spulenwicklung insbesondere die axiale Lage und/oder axiale Erstreckung der Spulenwicklung sichert. Hierbei ist es nicht unbedingt notwendig, die Relativlage zwischen einzelnen Windungen der Spulenwicklung hochgenau zu definieren. Wesentlich ist, dass die Spulenwicklung insgesamt eine gewünschte Lage in Bezug auf den Magnetkern einnimmt. Dies gilt insbesondere für die Erstreckung der Spulenwicklung in Richtung auf einen Kontaktbereich, in dem der Magnetkern mit einem Magnetanker zusammenwirkt.

**[0017]** Da der Magnetkern zumindest abschnittsweise radial zugänglich ist, kann der Wickelvorgang mit einfachen Mitteln bewirkt werden. Insbesondere ist es nicht erforderlich, für das Erzeugen der Spulenwicklung axial tief in eine Ringnut eines Magnetkopfes einzutauchen.

chen Mitteln bewirkt werden. Insbesondere ist es nicht erforderlich, für das Erzeugen der Spulenwicklung axial tief in eine Ringnut eines Magnetkopfes einzutauchen.

**[0018]** Gemäß einer beispielhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Spulenwicklung spulenträgerlos erzeugt, wobei der Magnetkern zumindest abschnittsweise stabförmig gestaltet und radial für ein Wickelwerkzeug zugänglich ist. Mit anderen Worten ist zumindest in dem Zustand, in dem die Wicklung erzeugt wird, keine vom Magnetkern beabstandete Umfangswand vorgesehen. Somit kann in einfacher Weise eine einlagige oder mehrlagige Spulenwicklung erzeugt werden. Die stabförmige Gestaltung des Magnetkerns schließt verschiedene Querschnittsgestaltungen mit ein, neben runden Querschnitten etwa auch ovale rechteckige, quadratische oder dreieckige Querschnitte.

**[0019]** Das Verfahren umfasst ein Erzeugen einer gebauten Magnetkopfstruktur durch Bereitstellung eines Umfangskörpers, der zur Flussführung ausgestaltet ist, wobei der Umfangskörper mit dem Magnetkern gefügt wird, und wobei die Spulenwicklung zwischen dem Magnetkern und dem Umfangskörper angeordnet ist.

**[0020]** Mit anderen Worten ist ein gebauter Magnetkopf vorgesehen, der aus zumindest zwei flussführenden Teilen, nämlich dem Magnetkern und dem Umfangskörper, erzeugt wird. Somit kann die flussführende Fläche der Magnetspule erhöht werden. Jedoch ist für den Wickelvorgang eine gute radiale Zugänglichkeit des Magnetkerns gegeben.

**[0021]** Ein weiterer Vorteil dieser Maßnahme ist, dass im Magnetkern etwa axiale Schlitz einfach erzeugbar sind. Üblicherweise dienen derartige Axialschlitze zur Verringerung oder Vermeidung von Wirbelströmen. Durch das Vorhandensein eines axialen Schlitzes oder mehrerer axialer Schlitzes im Magnetkern erhöht sich der Aufwand für die Erzeugung der Spulenwicklung direkt am Magnetkern nicht oder nur unwesentlich.

**[0022]** Der Umfangskörper ist als Teil eines Gehäuses des magnetischen Aktors ausgebildet. Dies hat den Vorteil, dass insgesamt die Anzahl der zu montierenden Bauteile nicht oder nicht übermäßig steigt. Es ist vorstellbar, den (flussführenden) Umfangskörper als Bestandteil des Gehäuses des Aktors auszuführen oder zumindest am Gehäuse des Aktors aufzunehmen. Insgesamt kann somit auch bei einem "gebauten" Magnetkopf eine radiale Bauraumreduzierung bei gleichbleibender oder sogar erhöhter Leistungsfähigkeit des magnetischen Aktors erzielt werden.

**[0023]** Der Magnetkern und der Umfangskörper können in geeigneter Weise miteinander gefügt werden. Vorzugsweise erfolgt das Fügen des Magnetkerns mit dem Umfangskörper derart, dass am Übergang zwischen den beiden Bauteilen keine Erhöhung des magnetischen Widerstands auftritt.

**[0024]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausgestaltung des Verfahrens weist die Spulenwicklung entlang einer Längsachse des Magnetkerns eine axiale Erstreckung bis zu einem Bereich auf, in dem der Magnet-

kern mit einem Magnetanker zusammenwirkt. Vorzugsweise erstreckt sich die Spulenwicklung bündig oder nahezu bündig bis zu einer Frontalfläche des Magnetkerns, die im angezogenen Zustand des magnetischen Aktors durch den Magnetanker kontaktiert wird. Auf diese Weise wird der Bauraum der Magnetspule maximal für die Spulenwicklung ausgenutzt. Bei der Verwendung von Spulenträgern, die üblicherweise an ihren axialen Enden jeweils mit einem Kragen versehen sind, ist es bauartbedingt nicht möglich, die Spulenwicklung axial derart nah an den Kontaktbereich zwischen dem Magnetkern und dem Magnetanker heranzuführen.

**[0025]** Gemäß einer Weiterbildung der obigen Ausgestaltung schließen die Spulenwicklung, der Magnetkern und vorzugsweise auch der Umfangskörper der Magnetspule axial in Richtung auf den Magnetanker bündig ab. Dies beinhaltet, dass die Spulenwicklung nach Möglichkeit nicht über den Magnetkern und/oder den Umfangskörper in Richtung auf den Magnetanker hervorsteht.

**[0026]** Ferner ist gemäß einer weiteren beispielhaften Ausgestaltung des Verfahrens kein separates, gestaltfestes Bauteil vorgesehen, das die Spulenwicklung in Richtung auf den Magnetanker axial begrenzt. Es versteht sich, dass gleichwohl auch in diesem Bereich eine Umspritzung bzw. ein Vergießen der Spulenwicklung vorgesehen sein kann.

**[0027]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist am Magnetkern eine axiale Lagesicherung in Form einer Einschnürung oder Verjüngung ausgebildet, die die axiale Lage der Magnetspule sichert.

**[0028]** Alternativ oder zusätzlich ist gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform des Verfahrens am Magnetkern eine axiale Lagesicherung für die Spulenwicklung in Form von Führungsrillen oder einem Führungsgewinde ausgebildet.

**[0029]** Da kein separater Spulenträger zur Lagefixierung der Spulenwicklung genutzt wird, ist es vorstellbar, direkt am Magnetkern eine entsprechende Lagesicherung vorzusehen. Wesentlich ist, dass die axiale Lage der Spulenwicklung zumindest hinreichend genau definiert ist. Dies kann in zumindest einigen Ausführungsformen des Verfahrens zeitlich nur begrenzt erforderlich sein, sofern ein Umspritzen oder Vergießen der Spulenwicklung vorgesehen ist.

**[0030]** Sofern die axiale Lagesicherung für die Spulenwicklung in Form von Führungsrillen oder Führungsgewinde ausgebildet ist, ist es nicht erforderlich, für jede separate Windung der Spulenwicklung ein separates Führungselement, etwa einen separaten Führungsgang im Führungsgewinde, vorzusehen. Vielmehr geht es um eine globale Lagesicherung oder Rutschsicherung für die Spulenwicklung.

**[0031]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform des Verfahrens wird der Aufnahmebereich am Magnetkern vor der Erzeugung der Spulenwicklung zumindest abschnittsweise mit einer Isolationsschicht versehen, vorzugsweise mit einer Kunststoffbeschichtung.

**[0032]** Bei der Isolationsschicht handelt es sich nicht um ein separates Bauteil. Die Isolationsschicht ist nicht mit einem Spulenträger vergleichbar. Bei der Isolationsschicht kann es sich etwa um eine dünne Kunststoffbeschichtung handeln. Die Isolationsschicht dient einerseits zur elektrischen Isolation, ferner jedoch auch zur mechanischen Isolation.

**[0033]** Auch wenn es üblich ist, beschichtete Drähte zur Erzeugung der Spulenwicklung zu verwenden, kann insbesondere bei dünnwandig beschichteten Drähten nicht immer ausgeschlossen werden, dass die Beschichtung reißt oder bricht. Demgemäß kann eine Isolationsschicht direkt am Aufnahmebereich des Magnetkerns von Vorteil sein. Es versteht sich, dass die Isolationsschicht auch als Lackschicht ausgeführt sein kann. Grundsätzlich ist es auch vorstellbar, die Isolationsschicht durch Umwickeln des Magnetkerns mit einem isolierenden Band zu erzeugen.

**[0034]** Gemäß einer Weiterbildung der oben genannten Ausführungsform des Verfahrens wird die Isolationsschicht ferner zur Fixierung der Spulenwicklung genutzt, wenn der Wickeldraht die Isolationsschicht zumindest abschnittsweise verformt. Diese Maßnahme macht sich zunutze, dass die Isolationsschicht im Vergleich zum Drahtwerkstoff sowie zum Werkstoff des Magnetkerns weich und deformierbar ist. Demgemäß kann die Spulenwicklung derart straff erzeugt werden, dass der Wickeldraht zumindest teilweise in die Isolationsschicht einschneidet. Mit anderen Worten sitzt der Wickeldraht mit Vorspannung auf dem Aufnahmebereich. Ferner ist es vorstellbar, dass der Wickeldraht die Isolationsschicht zumindest abschnittsweise verdrängt.

**[0035]** Die oben genannten Maßnahmen haben den Vorteil, dass die Gefahr eines axialen Verrutschens der Spulenwicklung relativ zum Magnetkern deutlich reduziert werden kann.

**[0036]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform des Verfahrens ist der Wickeldraht beschichtet oder lackiert, wobei der Wickeldraht nach der Erzeugung der Spulenwicklung haftend oder verbindend wirkt, um die Spulenwicklung zu fixieren. Vorzugsweise wird der Wickeldraht erwärmt, um die Spulenwicklung zu fixieren.

**[0037]** Beispielhaft kann es sich bei dem Wickeldraht um einen sog. Backlackdraht handeln. Vorzugsweise ist der Wickeldraht derart gestaltet, dass einerseits einzelne Windungen des Drahtes miteinander verbindbar sind. Darüber hinaus ist der Wickeldraht vorzugsweise derart gestaltet, dass sich eine Verbindung/Haftung zwischen der Spulenwicklung und dem Magnetkern ergibt.

**[0038]** Beispielhaft kann der Verbund aus Magnetkern und Spulenwicklung verbacken werden, wenn auf den Wickelvorgang eine definierte Erhitzung erfolgt. Beispielhaft kann der Wickeldraht mit einem Lack versehen sein, der bei etwa 200 °C (Celsius) erweicht und demgemäß verbacken werden kann. Dies beinhaltet vorzugsweise eine stoffschlüssige Verbindung benachbarter Windungen. Ferner ergibt sich vorzugsweise eine stoffschlüssige

ge Verbindung zumindest einiger Windungen der Spulenwicklung mit dem Magnetkern. Dies kann insbesondere auch eine Isolationsschicht des Magnetkerns betreffen.

**[0039]** Beispielhafte Einsatztemperaturen für den magnetischen Aktor liegen etwa im Bereich von 160 °C (Celsius), maximal bis zu etwa 180 °C. Demgemäß ist das Risiko für ein erneutes Erweichen der Beschichtung oder Lackierung des Wickeldrahtes nur sehr gering.

**[0040]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausgestaltung des Verfahrens weist dieses ferner ein zumindest abschnittsweises Umgießen oder Umspritzen der Spulenwicklung mit einem Füllmaterial auf. Dies erfolgt im gewickelten Zustand, nachdem die Spulenwicklung am Magnetkern erzeugt wurde. Gemäß einer beispielhaften Ausgestaltung erfolgt das Umgießen oder Umspritzen der Spulenwicklung dann, wenn der Magnetkern bereits mit dem Umfangskörper gefügt wurde, um einen gebauten Magnetkopf auszubilden. Es ist jedoch auch vorstellbar, die Spulenwicklung vor dem Fügen mit dem Umfangskörper zu Umgießen bzw. zu Umspritzen. Auf diese Weise ist die Spulenwicklung bereits bei diesem Fertigungsschritt geschützt und fixiert.

**[0041]** Das Umgießen kann auch als Vergießen bezeichnet werden. Auch das Umgießen oder Umspritzen kann zum Fixieren und zur Lagesicherung der Spulenwicklung beitragen.

**[0042]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform des Verfahrens wird die Spulenwicklung zumindest temporär mit einem Niederhalter gesichert, wobei der Niederhalter vorzugsweise entfernt wird, wenn die Spulenwicklung fixiert ist. Bei dem Niederhalter kann es sich etwa um einen scheibenartig oder ringartig gestalteten Niederhalter handeln, der am Magnetkern eine axiale Anschlagfläche für die Spulenwicklung definiert. Der Niederhalter kann entfernt werden, wenn die Spulenwicklung hinreichend gesichert und fixiert ist, wenn also beispielhaft die stoffschlüssige Lagesicherung durch Erwärmen herbeigeführt wurde. Ferner kann der Niederhalter etwa dann entfernt werden, wenn das Umgießen oder Umspritzen der Spulenwicklung durchgeführt wurde. Demgemäß kann der Niederhalter auch für ein solches Verfahren genutzt werden, um etwa einen zu umgießenden bzw. umspritzenden Bereich zu definieren.

**[0043]** Die Magnetspule betreffend wird die Aufgabe der Erfindung durch eine Magnetspule für einen magnetischen Aktor, insbesondere für einen Injektor, gelöst, wobei die Magnetspule Folgendes aufweist:

- einen Magnetkreis mit einer gebauten Magnetkopfstruktur, umfassend einen Magnetkern und einen Umfangskörper, der mit dem Magnetkern gefügt ist, und
- eine Spulenwicklung mit einem Wickeldraht, der direkt um den Magnetkern gelegt ist,

wobei die Spulenwicklung zwischen dem Magnetkern

und dem Umfangskörper angeordnet ist, wobei die Spulenwicklung spulenträgerlos erzeugt ist, und

- 5 wobei der Umfangskörper als Teil eines Gehäuses des magnetischen Aktors ausgebildet ist, wobei die Spulenwicklung entlang einer Längsachse des Magnetkerns vorzugsweise eine axiale Erstreckung bis zu einem Bereich aufweist, in dem der Magnetkern und der Umfangskörper mit einem Magnetanker zusammenwirken.

10 **[0044]** Auch auf diese Weise wird die Aufgabe der Erfindung vollständig gelöst.

**[0045]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform erstreckt sich die Spulenwicklung axial bis zu einer axialen Stirnfläche oder nahezu bis zu einer axialen Stirnfläche, in der der Magnetkern und/oder der Umfangskörper im angezogenen Zustand des magnetischen Aktors den Magnetanker kontaktieren.

15 **[0046]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Magnetspule schließen die Spulenwicklung, der Magnetkern und vorzugsweise auch der Umfangskörper axial in Richtung auf den Magnetanker bündig ab.

20 **[0047]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Magnetspule ist am Magnetkern eine axiale Lagesicherung für die Spulenwicklung ausgebildet.

25 **[0048]** Vorzugsweise kommt eine Magnetspule gemäß einem der vorstehend genannten Aspekte bei einem magnetischen Aktor zum Einsatz, der Teil eines Injektors ist, insbesondere Teil einer Kraftstoff-Einspritzdüse für einen Verbrennungsmotor.

30 **[0049]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

35 **[0050]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mehrerer bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungen. Es zeigen:

40 Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine exemplarische Ausgestaltung eines Injektors;

45 Fig. 2 eine vereinfachte Seitenansicht eines Spulenträgers für eine Magnetspule, auf dem eine Spulenwicklung erzeugt wird;

50 Fig. 3 einen vereinfachten Längsschnitt durch einen Magnetkopf für eine Magnetspule;

Fig. 4 einen vereinfachten Längsschnitt durch eine Spulenbaugruppe, die auf Basis des Spulenträgers gemäß Fig. 2 und des Magnetkopfes gemäß Fig. 3 erzeugt wurde;

55 Fig. 5 eine schematisch stark vereinfachte Ansicht eines Magnetkerns, bei dem in direkter Weise

- eine Spulenwicklung erzeugt wird;
- Fig. 6 einen Längsschnitt durch einen Umfangskörper, der mit dem Magnetkern gemäß Fig. 5 verbindbar ist;
- Fig. 7 einen vereinfachten Längsschnitt durch eine Magnetspule, die auf Basis des Umfangskörpers gemäß Fig. 6 und des mit der Spulenwicklung versehenen Magnetkerns gemäß Fig. 5 erzeugt wurde;
- Fig. 8 eine schematische Seitenansicht einer ersten Ausführungsform eines Magnetkerns mit einem Aufnahmebereich für eine Spulenwicklung;
- Fig. 9 eine schematische Seitenansicht einer zweiten Ausführungsform eines Magnetkerns mit einem Aufnahmebereich für eine Spulenwicklung;
- Fig. 10 eine schematische Seitenansicht einer dritten Ausführungsform eines Magnetkerns mit einem Aufnahmebereich für eine Spulenwicklung;
- Fig. 11 einen vereinfachten schematischen Längsschnitt durch eine Magnetspule, die mit einem Magnetanker zusammenwirkt; und
- Fig. 12 ein schematisch stark vereinfachtes Blockdiagramm zur Veranschaulichung einer beispielhaften Ausgestaltung eines Verfahrens zur Herstellung einer Magnetspule für einen magnetischen Aktor.

**[0051]** Fig. 1 zeigt einen Längsschnitt durch eine beispielhafte Ausgestaltung eines Injektors 10. Die Gestaltung des Injektors 10 ist lediglich exemplarischer Natur und soll hier lediglich stellvertretend für eine Vielzahl weiterer denkbarer Ausgestaltungen stehen. Der Injektor 10 weist ein Gehäuse 12 auf. Das Gehäuse 12 ist mit einem Anschluss 14 versehen, über den Kraftstoff oder Treibstoff zugeführt werden kann. Ein düsenseitiges Ende des Injektors 10 ist mit einer Ventildüse 16 versehen. Ferner ist im Gehäuse 12 eine Düsennadel 18 aufgenommen, über die eine Einspritzmenge gesteuert werden kann. Die Düsennadel 18 ist mit einem Steuerkolben 20 gekoppelt, der durch eine Schließfeder 22 in Richtung auf eine Schließstellung beaufschlagt wird. Am Ende des Steuerkolbens 20, das der Ventildüse 16 abgewandt ist, ist eine Steuerbohrung 24 ausgebildet, an die sich ein elektromagnetischer Aktor 28 anschließt.

**[0052]** Der Aktor 28 umfasst eine mit einer Spulenwicklung 32 versehene Magnetspule 30. Ferner ist dem Aktor 28 ein Anker 24 zugeordnet, der durch eine Feder 36 in Richtung auf eine Ruhestellung beaufschlagt wird. Durch

Aktivieren des Aktors 28 kann der Anker 34 angezogen bzw. abgehoben werden. An seinem der Ventildüse 16 abgewandten Ende weist das Gehäuse 12 einen Rückflussanschluss 38 auf, über den überschüssiger Kraftstoff abgegeben werden kann. Ferner ist ein Steueranschluss 40 vorgesehen, über den der elektromagnetische Aktor 28 angesteuert werden kann, indem die Spulenwicklung 32 selektiv bestromt wird.

**[0053]** Andere Ausgestaltungen von Injektoren sind ohne weiteres denkbar. Regelmäßig sind die Injektoren 10 mit einem Aktor 28 versehen, der häufig als elektromagnetischer Aktor 28 ausgestaltet und mit einer Spulenwicklung 32 versehen ist. Die Spulenwicklung 32 ist regelmäßig umspritzt bzw. umgossen. Auf diese Weise kann die Spulenwicklung 32 effektiv vor Umwelteinflüssen geschützt werden.

**[0054]** Anhand der nachfolgend näher erläuterten Ausführungsbeispiele werden vorteilhafte Ausgestaltungen von Magnetspulen 30 für derartige elektromagnetische Aktoren 28 sowie insbesondere vorteilhafte Verfahrensaspekte für deren Herstellung veranschaulicht und näher beschrieben.

**[0055]** Anhand der Figuren 2, 3 und 4 wird die Herstellung einer Spulenbaugruppe 70 (vgl. Fig. 4) veranschaulicht, die eine um einen Spulenträger 50 gewickelte Spulenwicklung 54 umfasst. In grundsätzlich bekannter Weise kann ein mit 52 bezeichneter Wickeldraht einlagig oder mehrlagig auf den Spulenträger 50 aufgewickelt werden, ähnlicher einer Kabeltrommel. Ein wesentlicher Vorteil der Nutzung des Spulenträgers 50 ist das vereinfachte Handling der Spulenwicklung 54. Der mit der Spulenwicklung 54 versehene Spulenträger 50 ist dazu ausgebildet, in einen in Fig. 3 mit 58 bezeichneten Magnettopf eingeführt zu werden. Fig. 4 veranschaulicht den gefügten Zustand.

**[0056]** Der in Fig. 3 veranschaulichte Magnettopf 58 weist eine grundsätzlich rotationssymmetrische Gestaltung auf. Der Magnettopf 58 umfasst eine umlaufende Nut oder Ringnut 60, in die der Spulenträger 50 einführbar ist, vgl. die geschnittene Darstellung des Spulenträgers 50 in Fig. 4. Im Zentrum des Magnettopfes 58 ist ein mit 64 bezeichneter Kern ausgebildet. Der Kern 64 umfasst eine zentrale Bohrung 66, die als Führung für einen Anker dient. Nach außen hin ist die Ringnut 60 durch eine Außenwand 62 begrenzt. Ferner weist der Magnettopf 58 eine Abschlusswand 68 auf, die einen stirnseitigen Abschluss darstellt und den Kern 64 und die Außenwand 62 miteinander verbindet. Der in Fig. 3 gezeigte Magnettopf 58 ist einstückig gestaltet.

**[0057]** Der in Fig. 4 gezeigte gefügte Zustand veranschaulicht, dass die Spulenwicklung 54, die am Spulenträger 50 aufgenommen ist, den Kern 64 nicht kontaktieren bzw. nicht in unmittelbarer Nähe des Kerns angeordnet sein kann. Zwischen der Spulenwicklung 54 und dem Kern 64 erstreckt sich eine Zylinderwand des Spulenträgers 50.

**[0058]** Mit Bezugnahme auf die Figuren 5 bis 11 werden alternative Gestaltungen von Magnetspulen 30 ver-

anschaulicht, bei denen die Spulenwicklung direkt auf dem Kern erzeugbar ist.

**[0059]** Fig. 5 veranschaulicht einen mit 80 bezeichneten Magnetkern, der einen Schaft 82 umfasst. An einem Ende des Schaftes 82 ist ein Flansch 84 ausgebildet. Der in Fig. 7 gezeigten Schnittansicht ist entnehmbar, dass der Magnetkern 80 mit einer zentralen Ankerführung 126 versehen ist, also etwa mit einer durchgehenden Bohrung.

**[0060]** Der Schaft 82 erstreckt sich entlang einer Längsachse 92. Am Schaft 82 ist eine Spulenwicklung 88 ausgebildet, die in einem Aufnahmebereich 86 direkt auf den Schaft 82 aufgewickelt ist. Der Aufnahmebereich 86 bezeichnet den Abschnitt des Schafts 82, in dem die Spulenwicklung 88 den Schaft 82 kontaktiert. Der Aufnahmebereich 86 ist gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel mit einer Beschichtung oder Lackierung versehen, die isolierend wirkt.

**[0061]** Die Spulenwicklung 88 besteht aus einem Wickeldraht 90, der um die Längsachse 92 gewunden ist und eine Vielzahl von Windungen ausbildet. Die Spulenwicklung 88 kann einlagig oder mehrlagig ausgeführt sein. Die in Fig. 7 gezeigte Spulenwicklung 88 umfasst beispielhaft eine dreilagige Gestaltung.

**[0062]** Fig. 5 veranschaulicht ferner schematisch in stark vereinfachter Form eine insgesamt mit 98 bezeichnete Wickeleinheit. Die Wickeleinheit 98 umfasst ein mit 100 bezeichnetes Wickelwerkzeug. Das Wickelwerkzeug 100 kann beispielhaft einen Drahtspender und/oder eine Drahtzuführung umfassen. Ferner ist in Fig. 5 beispielhaft ein mit 102 bezeichneter Wickeltisch dargestellt. Der Wickeltisch 102 und das Wickelwerkzeug 100 können in geeigneter Weise zusammenwirken, um die Spulenwicklung 88 zu erzeugen. Dies kann beispielhaft eine definierte Rotation des Schaftes 82 umfassen, vgl. einen mit 104 bezeichneten gekrümmten Pfeil in Fig. 5. Ferner umfasst das Erzeugen der Wicklung 88 eine definierte relative Hubbewegung (vgl. den mit 106 bezeichneten Doppelpfeil in Fig. 5) zwischen dem Schaft 82 und dem Wickelwerkzeug 100.

**[0063]** Der Aufnahmebereich 86 des Schafts 82, der zur Aufnahme der Spulenwicklung 88 ausgebildet ist, ist radial zugänglich. Dies vereinfacht die Erzeugung der Spulenwicklung 88 deutlich.

**[0064]** Ergänzend wird in diesem Zusammenhang erneut auf die Fig. 3 verwiesen, die einen integral gestalteten Magnetkopf 58 zeigt, bei dem der Kern 64 eben nicht radial zugänglich ist. Eine Wicklung direkt am Kern 64 des Magnetkopfes 58 gemäß Fig. 3 könnte allenfalls nur mit hohem Aufwand direkt erzeugt werden.

**[0065]** Fig. 5 veranschaulicht ferner einen mit 108 bezeichneten Niederhalter. Der Niederhalter 108 ist in Fig. 5 noch vom Schaft 82 beabstandet. Der Niederhalter 108 ist beispielhaft auf den Schaft 82 aufsetzbar, um eine axiale Erstreckung der zu erzeugenden Wicklung 88 zu begrenzen bzw. zu definieren. Es ist jedoch bevorzugt, wenn der Niederhalter 108 als Montagehilfe ausgestaltet ist, also vor oder in Zusammenhang mit der Fertigstellung

der Magnetspule 30 (vgl. Fig. 7) entfernt wird.

**[0066]** Fig. 6 veranschaulicht einen Längsschnitt durch einen zylinderartig oder rohrartig gestalteten Umfangskörper 114, der einen Innenraum 116 ausbildet. Der Magnetkern 80 gemäß Fig. 5 und der Umfangskörper 114 gemäß Fig. 6 können miteinander verbunden werden, um eine Gestaltung ähnlich dem Magnetkopf 58 gemäß Fig. 3 auszubilden. Jedoch handelt es sich bei dieser Gestaltung um einen "gebauten" Magnetkopf.

**[0067]** Auf diese Weise kann sich eine Magnetkopfstruktur 120 ergeben, die in Fig. 7 schematisch stark vereinfacht im Längsschnitt gezeigt ist. Die Magnetkopfstruktur 120 ähnelt in ihrer äußeren Gestalt dem Magnetkopf 58 gemäß Fig. 3. Die Magnetkopfstruktur 120 ist jedoch durch eine Mehrzahl von Bauteilen gebildet, insbesondere durch den Umfangskörper 114 gemäß Fig. 6 sowie den Magnetkern 80 gemäß Fig. 5.

**[0068]** Gemeinsam bilden der Magnetkern 80 und der Umfangskörper 114 eine umlaufende Nut oder Ringnut 124, in der die Spulenwicklung 88 angeordnet ist. Die Nut 124 ist als sich axial erstreckende umlaufende Nut an einer Stirnfläche der Magnetkopfstruktur 120 ausgeführt. An einem Ende der Magnetkopfstruktur 120 ist der Flansch 84 angeordnet, der den Schaft 82 des Magnetkerns 80 mit dem Umfangskörper 114 verbindet. Es versteht sich, dass auch Ausgestaltungen von Magnetkopfstrukturen 120 denkbar sind, bei denen der Flansch 84 am Umfangskörper 114 (als Innenflansch) anstatt am Magnetkern 80 (als Außenflansch) ausgebildet ist.

**[0069]** Die Magnetkopfstruktur 120 stellt eine Ankerführung 126 entlang der Längsachse 92 bereit. An dem Ende, das dem Flansch 84 abgewandt ist, ist eine Stirnfläche 130 ausgebildet. Die Stirnfläche 130 definiert einen Kontaktbereich, in dem die Magnetkopfstruktur 120 einen Magnetanker kontaktiert, wenn dieser angezogen wird. Es ist von Vorteil, die Spulenwicklung 88 trägerlos auszugestalten, da es sich auf diese Weise der für die Spulenwicklung 88 nutzbare Bereich der Ringnut 124 maximieren lässt. Insbesondere kann die Spulenwicklung 88 den Flansch 84, den Schaft 82 und den Umfangskörper 114 jeweils - räumlich - kontaktieren. Auf diese Weise kann eine größere Anzahl von Windungen in der Ringnut 124 untergebracht werden, als dies etwa bei einer trägerbasieren Wicklung der Fall wäre. Ein weiterer Vorteil geht dahin, dass sich die Spulenwicklung 88 auch bis hin zur Stirnfläche 130 erstrecken kann.

**[0070]** Insgesamt lässt sich auf diese Weise der magnetische Widerstand im magnetischen Kreis, dem die Magnetspule 30 zugeordnet ist, deutlich minimieren.

**[0071]** Anhand der Figuren 8, 9 und 10 werden verschiedene alternative Ausgestaltungen von Magnetkernen 180, 280, 380 veranschaulicht, die jeweils einen Schaft 82 sowie einen Flansch 84 aufweisen. Ähnlich wie in Fig. 5 bereits anhand der Magnetkerns 80 gezeigt, können auch die Magnetkerne 180, 280, 380 direkt bewickelt bzw. umwickelt werden, um direkt im jeweiligen Aufnahmebereich eine Spulenwicklung auszubilden. Die Magnetkerne 180, 280, 380 sind jedoch jeweils mit Ge-

staltungsmerkmalen versehen, die eine Lagefixierung, insbesondere eine axiale Lagefixierung der Spulenwicklung 88 bewirken.

**[0072]** Der Magnetkern 180 gemäß Fig. 8 weist eine Verjüngung oder Einschnürung 140 auf, die sich über einen definierten Abschnitt des Schaftes 82 erstreckt.

**[0073]** Der Magnetkern 280 gemäß Fig. 9 weist eine konische Gestaltung mit einem Konus 144 auf, der sich in Richtung auf den Flansch 84 verjüngt.

**[0074]** Der Magnetkern 380 gemäß Fig. 10 weist Führungsrillen oder Führungsgänge 148 auf, die etwa ähnlich einem Schraubengewinde gestaltet sind.

**[0075]** Jede der Gestaltungen 140, 144, 148 der Lagesicherung gemäß verbessert den axialen Halt der Spulenwicklung 88 im jeweiligen Aufnahmebereich 86. Es versteht sich, dass auch Kombinationen der in den Figuren 8, 9 und 10 gezeigten Ausgestaltungen vorstellbar sind.

**[0076]** Ferner sind auch grundsätzlich abweichende Gestaltungen vorstellbar. Beispielfhaft kann eine Lagesicherung mit Führungsrillen vorgesehen sein, die jedoch nicht für jede Windung, die am Schaft 82 anliegt, ein Führungselement bereitstellt. Auch wenn nur jede zweite, dritte oder X-te Windung entsprechend geführt ist, ist - global betrachtet - eine hinreichende axiale Lagefixierung gegeben. Auch müssen die Rillen den Schaft 82 nicht vollständig umlaufen.

**[0077]** In Ergänzung zu den in den Figuren 8, 9 und 10 gezeigten Ausgestaltungen der Magnetkerne 180, 280, 380 wird angemerkt, dass die axiale Lagesicherung auch durch die Spulenwicklung 88 selbst erzeugt werden kann. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Wickeldraht 90, aus dem die Spulenwicklung 88 erzeugt wird, lackiert und/oder beschichtet ist. Beispielfhaft kann es sich bei dem Wickeldraht 90 um einen sog. Backlackdraht handeln. Andere Arten von Beschichtungen und/oder Lackierungen des Drahtes 90 sind denkbar. Ein beschichteter Draht 90 kann in grundsätzlich bekannter Weise um den Aufnahmebereich 86 am Magnetkern 80, 180, 280, 380 gewickelt werden. Sodann kann die Beschichtung/Lackierung benachbarter Windungen stoffschlüssig miteinander verbunden werden. Dies ist bspw. mit einer zeitweisen Erwärmung der Spulenwicklung 88 verbunden. Auf diese Weise kann die Beschichtung/Lackierung erweichen, so dass Verbindungen mit benachbarten Beschichtungen/Lackierungen eingegangen werden können.

**[0078]** Gleichermaßen ist es vorstellbar, den Aufnahmebereich 86 am Schaft 82 der Magnetkerne 80, 180, 280, 380 zumindest abschnittsweise zu beschichten oder zu lackieren. Auch auf diese Weise kann eine stoffschlüssige Verbindung mit einer Beschichtung/Lackierung des Drahtes 90, sofern vorhanden, herbeigeführt werden.

**[0079]** Eine alternative Lagesicherung bei lackiertem/beschichtetem Schaft 82 des Magnetkerns 180, 280, 380 kann erzeugt werden, wenn der Wickelvorgang eine hinreichend straffe Wicklung des Drahtes 90 mit hinrei-

chender Vorspannung erzeugt. In einem solchen Fall kann der Draht 90 zumindest abschnittsweise in die Beschichtung/Lackierung des Schaftes 82 eindringen. Auch auf diese Weise kann zumindest eine hinreichende axiale Lagesicherung bewirkt werden.

**[0080]** Es versteht sich, dass kombinierte Gestaltungen zur Lagesicherung vorstellbar sind, die zumindest einige der vorgenannten Aspekte nutzen.

**[0081]** Fig. 11 veranschaulicht eine Magnetspule 30, die grundsätzlich der bereits in Fig. 7 gezeigten Magnetspule 30 zumindest ähnlich gestaltet ist. Die Magnetspule 30 gemäß Fig. 11 wirkt mit einem Magnetanker 158 zusammen. Je nach aktueller Bestromung der Spulenwicklung 88 der Magnetspule 30 wird der Magnetanker 158 fallweise angezogen oder nicht. Der Magnetanker 158 umfasst beispielhaft eine Ankerplatte 160, die an einem Ankerschaft 162 aufgenommen ist. Demgemäß kann der Magnetanker 158 auch als Plattenanker bezeichnet werden. Eine Bewegung des Ankers, ein sog. Ankerhub, ist in Fig. 11 durch einen mit 164 bezeichneten Doppelpfeil angedeutet. Der Ankerschaft 162 ist in der Ankerführung 126 im Magnetkern 80 der Magnettopfstruktur 120 beweglich aufgenommen. In vorstehend bereits beschriebener Weise umfasst die Magnettopfstruktur 120 neben dem Magnetkern 80 auch einen Umfangskörper 114. Gemeinsam bilden der Umfangskörper 114 sowie der im Umfangskörper 114 angeordnete Magnetkern 80 eine sich ringförmig erstreckende Ringnut 124 aus, in der die Spulenwicklung 88 aufgenommen ist. Die Spulenwicklung 88 ist etwa gemäß dem in Fig. 5 veranschaulichten Fertigungsschritt direkt auf einen Aufnahmebereich 86 des Magnetkerns 80 aufgewickelt.

**[0082]** Wie vorstehend bereits erwähnt, wird die Ringnut 124 nicht durch einen Spulenträger oder dergleichen beeinträchtigt. Vielmehr kann die Spulenwicklung 88 den gesamten oder nahezu den gesamten Raum der Ringnut 124 beanspruchen. Dies beinhaltet auch beispielhafte Ausgestaltungen, bei denen sich die Spulenwicklung 88 bis hin zu einem Luftspalt 166 zwischen der Ankerplatte 160 und der Stirnfläche 130 der Magnettopfstruktur 120 erstreckt. Somit ist bei gegebenem Bauraum eine maximale Leistungsausbeute bzw. eine maximale Magnetkraft erzielbar.

**[0083]** Die in Fig. 11 gezeigte Magnetspule 30 weist ferner beispielhaft einen Verguss 152 auf, der in die Ringnut 124 eingebracht ist und etwaige verbliebene Hohlräume um die Spulenwicklung 88 verschließt. Auch auf diese Weise kann die Spulenwicklung 88 sicher fixiert werden.

**[0084]** Fig. 12 veranschaulicht anhand eines schematisch stark vereinfachten Blockschaltbildes eine exemplarische Ausgestaltung eines Verfahrens zur Herstellung einer Magnetspule für einen elektromagnetischen Aktor, insbesondere für einen Injektor eines Verbrennungsmotors. Vorzugsweise erlaubt das Verfahren die Herstellung einer luftspaltreduzierten und magnetflussoptimierten Magnetspule mit hoher Leistungsdichte.

**[0085]** Das Verfahren umfasst einen Schritt S10, der



die Bereitstellung eines Magnetkerns betrifft. Vorzugsweise umfasst der Magnetkern einen Schaft, an dem ein Aufnahmebereich für eine Spulenwicklung ausgebildet ist.

**[0086]** Ein weiterer Schritt S12 betrifft die Bereitstellung eines Wickeldrahtes zur Erzeugung der Spulenwicklung. Der Wickeldraht kann insbesondere als beschichteter Wickeldraht ausgeführt sein, etwa als sog. Backlackdraht. Alternative Beschichtungen, insbesondere auch mehrlagige Beschichtungen sind vorstellbar.

**[0087]** An den Schritt S10 schließt sich ein Schritt S14 an, der die Erzeugung einer Haltekontur oder Lagesicherungskontur für die Spulenwicklung im Aufnahmebereich des Magnetkerns betrifft. Der Aufnahmebereich kann mit Elementen zur Lagesicherung für die Spulenwicklung versehen werden, etwa mit einer Einschnürung oder Verjüngung, einer zumindest abschnittsweise konischen Gestaltung, Führungsrillen, Führungserhebungen, gewindeartigen Gängen, oder dergleichen.

**[0088]** Der Schritt S14 kann alternativ oder zusätzlich eine zumindest abschnittsweise Beschichtung des Magnetkerns oder eine zumindest abschnittsweise Lackierung des Magnetkerns beinhalten. Eine Beschichtung/Lackierung des Magnetkerns kann einerseits zu Isolationszwecken vorgesehen sein. Ferner kann die Beschichtung/Lackierung selbst auch als Lagesicherung, insbesondere als axiale Lagesicherung, für die Spulenwicklung dienen. Einerseits erhöht eine Lackierung/Beschichtung des Magnetkerns den Reibwert bei der Paarung Spulenwicklung/Aufnahmebereich. Ferner kann die Lackierung/Beschichtung selbst jedoch weich genug sein, so dass der Wickeldraht der Spulenwicklung zumindest abschnittsweise in die Beschichtung/Lackierung eindringen bzw. diese deformieren kann. Auch auf diese Weise kann sich eine Lagesicherung für die Spulenwicklung ergeben.

**[0089]** Es folgt ein Schritt S16, der eine Anordnung des Magnetkerns sowie des Wickeldrahtes in einer Wickelvorrichtung betrifft, die für den Wickelvorgang bereitgestellt wird. Der Aufnahmebereich des Magnetkerns ist radial zugänglich, so dass die Spulenwicklung direkt an einer Umfangsfläche des Magnetkerns erzeugt werden kann. Es versteht sich, dass eine etwaige Beschichtung/Lackierung des Magnetkerns dem Begriff "direkte Umwicklung" nicht entgegensteht. Wesentlich ist, dass kein separates Bauteil, wie etwa ein separater Spulenträger, zwischen der Spulenwicklung und dem Magnetkern angeordnet ist. Ein solches separates Bauteil ist regelmäßig relativ zum Magnetkern beweglich. Eine Beschichtung/Lackierung des Magnetkerns ist mit dem Magnetkern selbst fest verbunden bzw. bildet einen Bestandteil des Magnetkerns.

**[0090]** Es schließt sich der eigentliche Wickelschritt S18 an, der die Erzeugung eines einlagigen oder mehrlagigen Spulenwicklung im Aufnahmebereich des Magnetkerns durch direktes Wickeln beinhaltet. Der Schritt S18 beinhaltet die Erzeugung einer gekoppelten Bewegung zwischen dem zugeführten Wickeldraht sowie dem

Magnetkern, der eine Relativrotation sowie eine Hubbewegung/Vorschubbewegung umfasst, um den Magnetkern in gewünschter Weise zu umwickeln.

**[0091]** Der Schritt des Wickelns S18 kann grundsätzlich mit optionalen Schritten S20, S22 gekoppelt sein. Zwischen den Schritten S18, S20 und S22 kann auch eine zeitliche Kopplung/Überlappung gegeben sein. Es wäre auch vorstellbar, die Schritte S20 und S22 vor dem Schritt S18 auszuführen. Der Schritt S20 betrifft die Bereitstellung eines Niederhalters. Der Schritt S22 betrifft die Platzierung des Niederhalters am Magnetkern. Der Niederhalter kann eine axiale Lagesicherung/Lagebegrenzung für die Spulenwicklung bereitstellen. Der Niederhalter ist vorzugsweise als Montagehilfskomponente ausgestaltet. Demgemäß wird der Niederhalter nach erfolgter Montage und Fixierung der Spulenwicklung vom Magnetkern entfernt.

**[0092]** Es können sich weitere Schritt S24, S26 anschließen. Der Schritt S24 betrifft die Bereitstellung eines Mantels oder Umfangskörpers. Der Mantel ist vorzugsweise hohlzylindrisch gestaltet. Der Mantel ist derart an den Magnetkern angepasst, dass der Magnetkern und der Mantel gemeinsam eine Struktur bilden können, die einem integral gestalteten Magnettopf entspricht, jedoch als gebaute Magnettopfstruktur bereitgestellt wird. Der Mantel ist beispielhaft mit einem Gehäuse des elektromagnetischen Aktors gekoppelt bzw. als Bestandteil des Gehäuses ausgeführt.

**[0093]** In einem Schritt S26 erfolgt ein Fügevorgang, bei dem der Magnetkern und der Mantel miteinander gefügt werden. Auf diese Weise wird die Spulenwicklung, die bereits am Magnetkern aufgenommen ist, zwischen dem Magnetkern und dem Mantel angeordnet.

**[0094]** Es kann sich ein weiterer Schritt S28 anschließen, der zur weiteren Fixierung und Lagesicherung der Spulenwicklung beiträgt. Beispielhaft kann der Schritt S28 ein Erwärmen des Verbunds aus Magnetkern, Mantel und Spulenwicklung umfassen. Sofern der Wickeldraht, ggf. jedoch auch der Magnetkern, mit einer Lackierung/Beschichtung versehen ist, kann durch das Erwärmen ein Erweichen des Beschichtungsmaterials bzw. des Lackes bewirkt werden. Auf diese Weise kann eine Verbindung aneinander angrenzender Lackschichten erfolgen. Auf diese Weise kann sich dann, wenn die Lackierung/Beschichtung wieder erstarrt ist, eine erhöhte Festigkeit und eine Lagesicherung für die Spulenwicklung ergeben. Alternativ oder zusätzlich kann der Schritt S28 auch ein Vergießen bzw. Umspritzen der aus Magnetkern und Mantel gebildeten Magnettopfstruktur umfassen. Dies betrifft insbesondere eine Ringnut, in der die Spulenwicklung aufgenommen ist. Auf diese Weise können etwaige verbliebene Hohlräume befüllt werden, so dass sich nach dem Erhärten des Vergussmaterials bzw. des erweichten Kunststoffes, der zum Umspritzen genutzt wird, eine noch höhere Festigkeit und sowie eine Lagefixierung für die Spulenwicklung ergibt.

**[0095]** Es kann sich ein weiterer, optionaler Schritt S30 anschließen, der mit den optionalen Schritten S20, S22

gekoppelt ist. Der Schritt S30 betrifft das Entfernen des Niederhalters. Der Niederhalter bildet vorzugsweise keinen permanenten Bestandteil der zu erzeugenden Magnetspule bzw. des zu erzeugenden Aktors. Stattdessen dient der Niederhalter lediglich als Montagehilfe bzw. als temporäre Lagefixierung für die Spulenwicklung.

**[0096]** In einem weiteren Schritt S32 wird die sich ergebende Magnetspule bereitgestellt. Der Schritt S32 kann eine weiterführende Montage, etwa zur Komplettierung des magnetischen Aktors durch Paarung der Magnetspule mit einem Anker, umfassen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer luftspaltreduzierten Magnetspule (30) für einen magnetischen Aktor (28), insbesondere für einen Injektor (10), mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellung eines Magnetkerns (80), der zumindest abschnittsweise radial zugänglich ist und einen Aufnahmebereich (86) zur direkten Aufnahme einer Spulenwicklung (88) umfasst,
- Erzeugung einer Spulenwicklung (88) mit einem Wickeldraht (90), der direkt um den Magnetkern (80) gelegt wird, wobei die Spulenwicklung (88) durch den Magnetkern (80) stabilisiert wird,
- Fixieren der erzeugten Spulenwicklung (88), und
- Erzeugung einer gebauten Magnetkopfstruktur (120), umfassend:

- Bereitstellung eines Umfangskörpers (114), der zur Flussführung ausgestaltet ist,
- Fügen des Umfangskörpers (114) mit dem Magnetkern (80), wobei die Spulenwicklung (88) zwischen dem Magnetkern (80) und dem Umfangskörper (114) angeordnet wird, und wobei der Umfangskörper (114) als Teil eines Gehäuses (12) des magnetischen Aktors (10) ausgebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Spulenwicklung (88) spulenträgerlos erzeugt wird, und wobei der Magnetkern (80) zumindest abschnittsweise stabförmig gestaltet und radial für ein Wickelwerkzeug (100) zugänglich ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Spulenwicklung (88) entlang einer Längsachse (92) des Magnetkerns (80) eine axiale Erstreckung bis zu einem Bereich (130) aufweist, in dem der Magnetkern (80) mit einem Magnetanker (158) zusammenwirkt, wobei sich die Spulenwicklung vorzugsweise bündig oder nahezu bündig bis

zu einer Frontalfläche des Magnetkerns (80) erstreckt, die im angezogenen Zustand des magnetischen Aktors (28) durch den Magnetanker (158) kontaktiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Spulenwicklung (88), der Magnetkern (80) und vorzugsweise auch der Umfangskörper (114) der Magnetspule (30) axial in Richtung auf den Magnetanker (158) bündig abschließen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei am Magnetkern (80) eine axiale Lagesicherung (140, 144) in Form einer Einschnürung oder Verjüngung ausgebildet ist, die die axiale Lage der Magnetspule (30) sichert.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei am Magnetkern (80) eine axiale Lagesicherung (148) für die Spulenwicklung (88) in Form von Führungsritzen oder einem Führungsgewinde ausgebildet ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Aufnahmebereich (86) am Magnetkern (80) vor der Erzeugung der Spulenwicklung (88) zumindest abschnittsweise mit einer Isolationschicht versehen wird, vorzugsweise mit einer Kunststoffbeschichtung.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Isolationschicht zur Fixierung der Spulenwicklung (88) genutzt wird, wenn der Wickeldraht (90) zumindest abschnittsweise die Isolationschicht verformt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wickeldraht (90) beschichtet oder lackiert ist, wobei der Wickeldraht (90) nach der Erzeugung der Spulenwicklung (88) haftend oder verbindend wirkt, um die Spulenwicklung (88) zu fixieren, und wobei der Wickeldraht (90) insbesondere erwärmt wird, um die Spulenwicklung (88) zu fixieren.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend zumindest abschnittsweises Umgießen oder Umspritzen der Spulenwicklung (88) mit einem Füllmaterial (152).
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Spulenwicklung (88) zumindest temporär mit einem Niederhalter (108) gesichert wird, wobei der Niederhalter (108) vorzugsweise entfernt wird, wenn die Spulenwicklung (88) fixiert ist.
12. Magnetspule (30) für einen magnetischen Aktor (28), insbesondere für einen Injektor (10), die Folgendes aufweist:

- einen Magnetkreis mit einer gebauten Magnet-  
topfstruktur (120), umfassend einen Magnet-  
kern (80) und einen Umfangskörper (114), der  
mit dem Magnetkern (80) gefügt ist, und
- eine Spulenwicklung (88) mit einem Wickel-  
draht (90), der direkt um den Magnetkern (80)  
gelegt ist,

wobei die Spulenwicklung (88) zwischen dem Mag-  
netkern (80) und dem Umfangskörper (114) ange-  
ordnet ist,

wobei die Spulenwicklung (88) spulenträgerlos er-  
zeugt ist,

wobei der Umfangskörper (114) als Teil eines Ge-  
häuses (12) des magnetischen Aktors (10) ausge-  
bildet ist, und

wobei die Spulenwicklung (88) entlang einer Längs-  
achse (92) des Magnetkerns (80) vorzugsweise eine  
axiale Erstreckung bis zu einem Bereich aufweist, in  
dem der Magnetkern (80) und der Umfangskörper  
(114) mit einem Magnetanker (158) zusammenwir-  
ken.

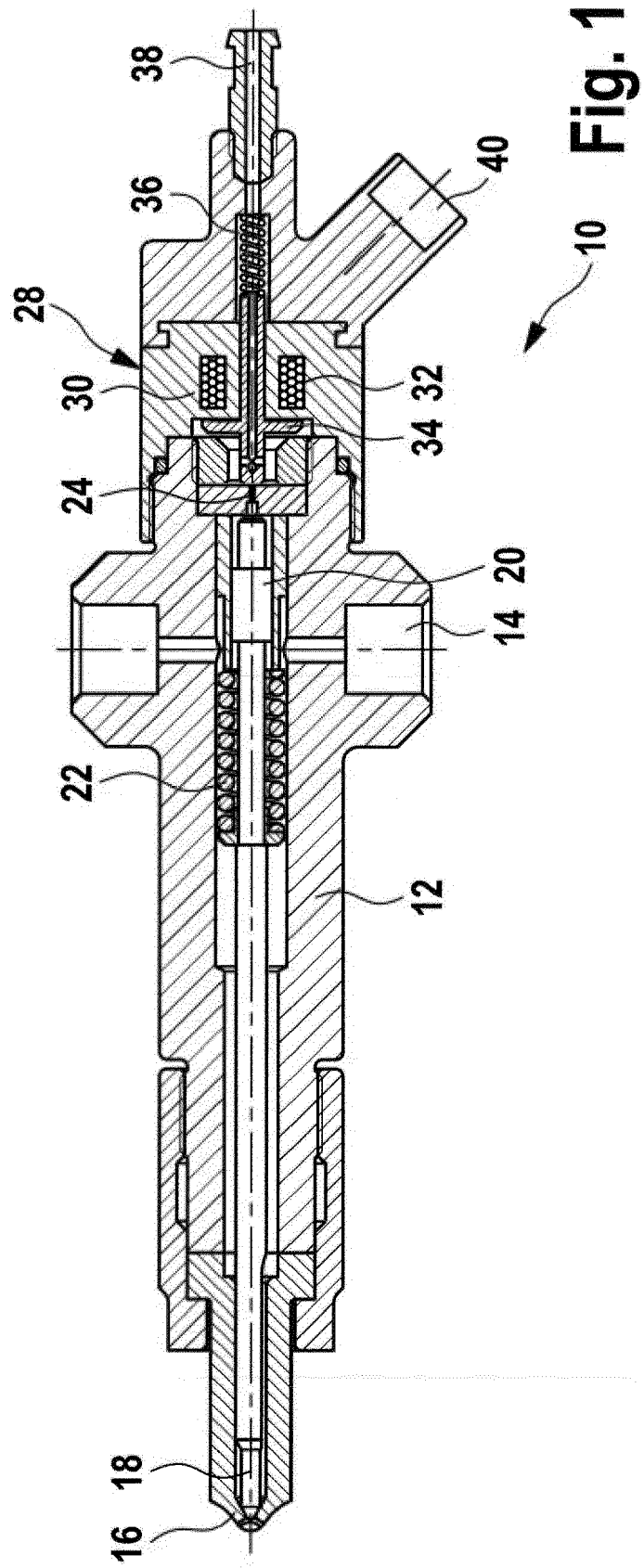
13. Magnetspule (30) nach Anspruch 12, wobei die Spu-  
lenwicklung (88), der Magnetkern (80) und vorzugs-  
weise auch der Umfangskörper (114) axial in Rich-  
tung auf den Magnetanker (158) bündig abschlie-  
ßen.
14. Magnetspule (30) nach Anspruch 12 oder 13, wobei  
am Magnetkern (80) eine axiale Lagesicherung  
(148) für die Spulenwicklung (88) ausgebildet ist.
15. Injektor (10), insbesondere Kraftstoff-Einspritzdüse  
für einen Verbrennungsmotor, mit einem magneti-  
schen Aktor (28) mit einer luftspaltreduzierten Mag-  
netspule (30) nach einem der Ansprüche 12 bis 14.

40

45

50

55



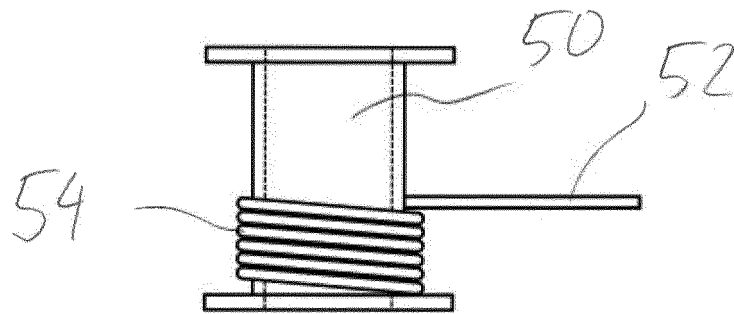


Fig. 2

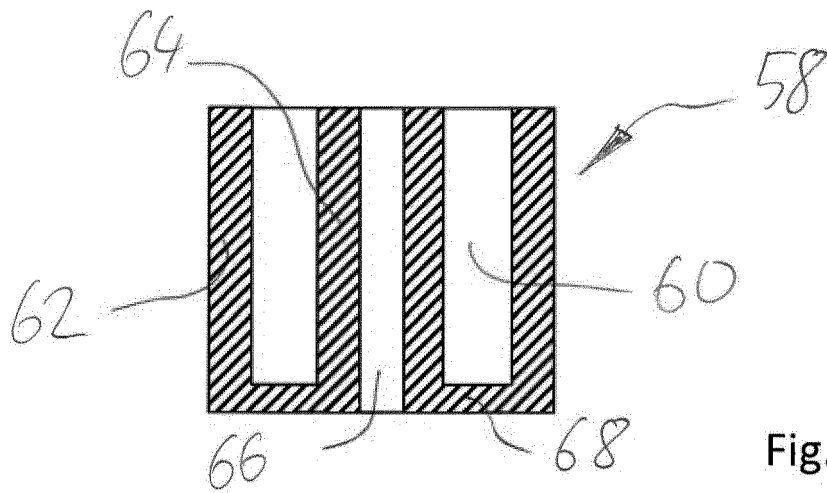


Fig. 3

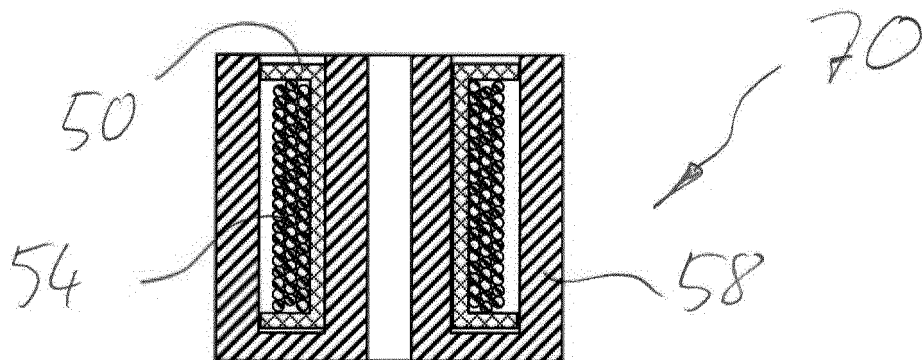


Fig. 4

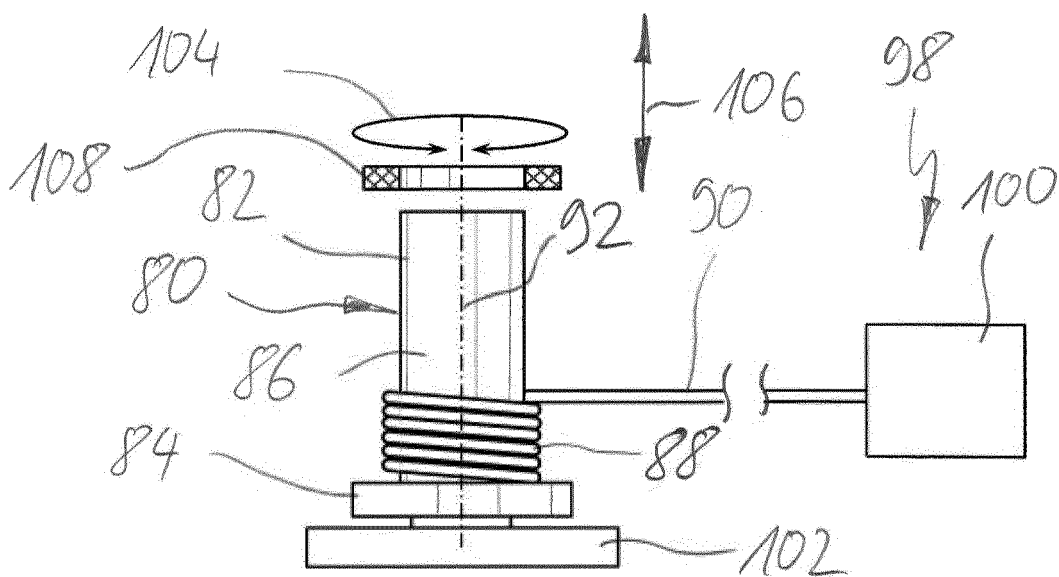


Fig. 5

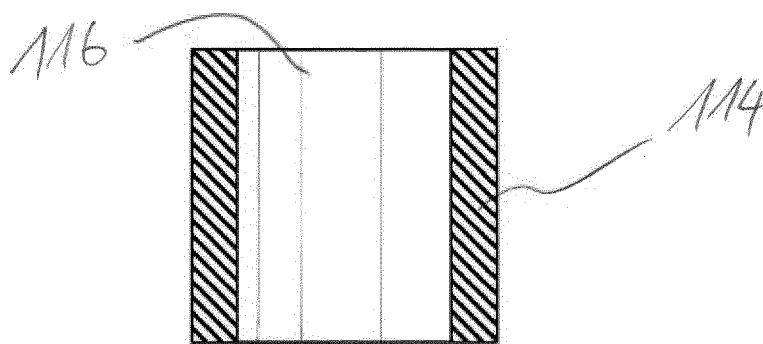


Fig. 6

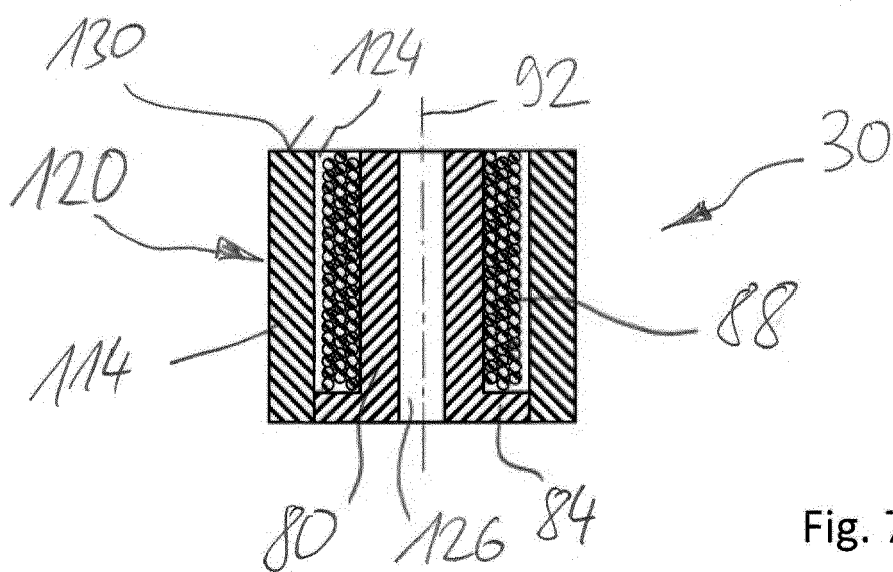


Fig. 7

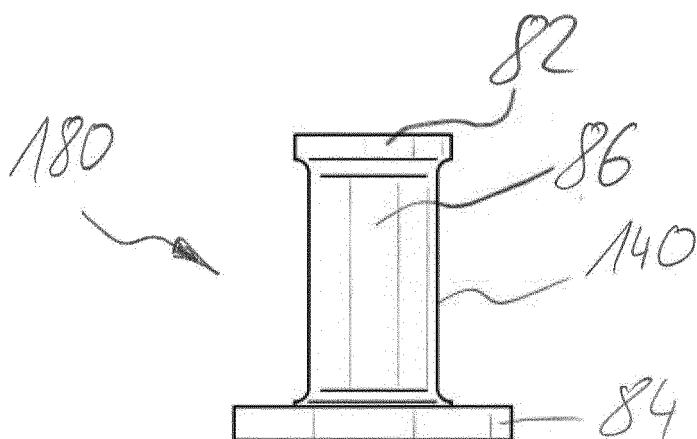


Fig. 8

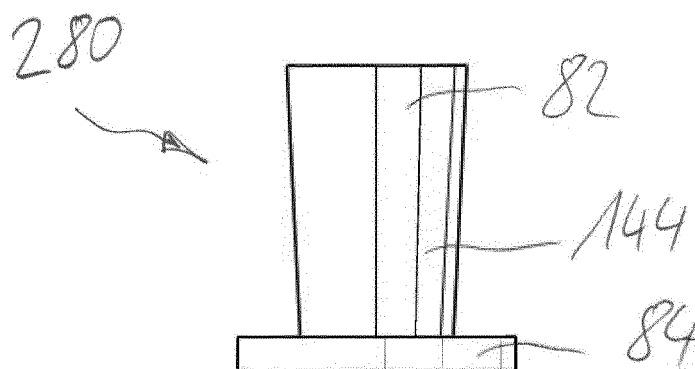


Fig. 9

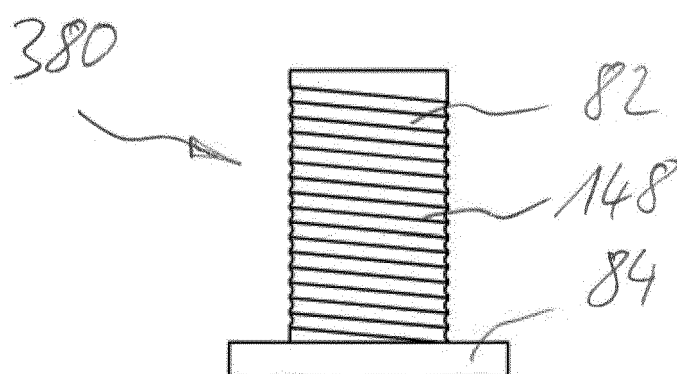


Fig. 10

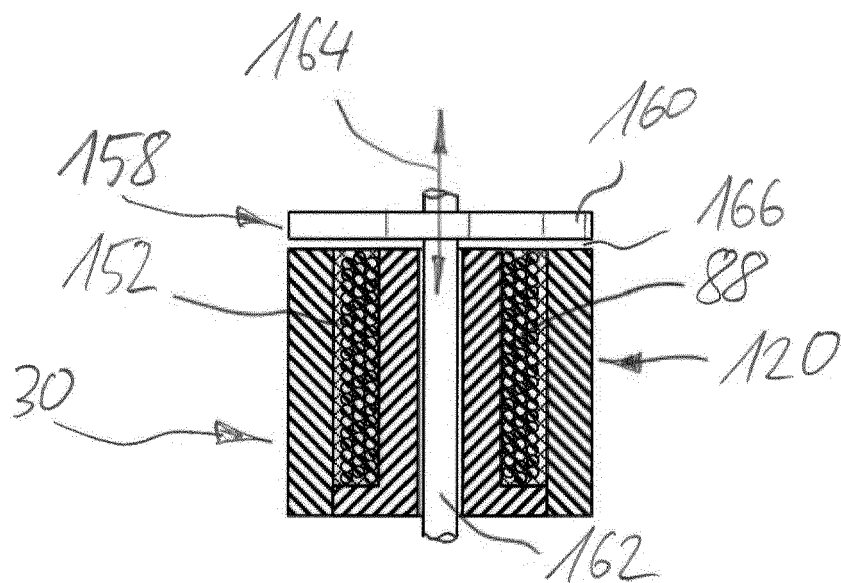


Fig. 11

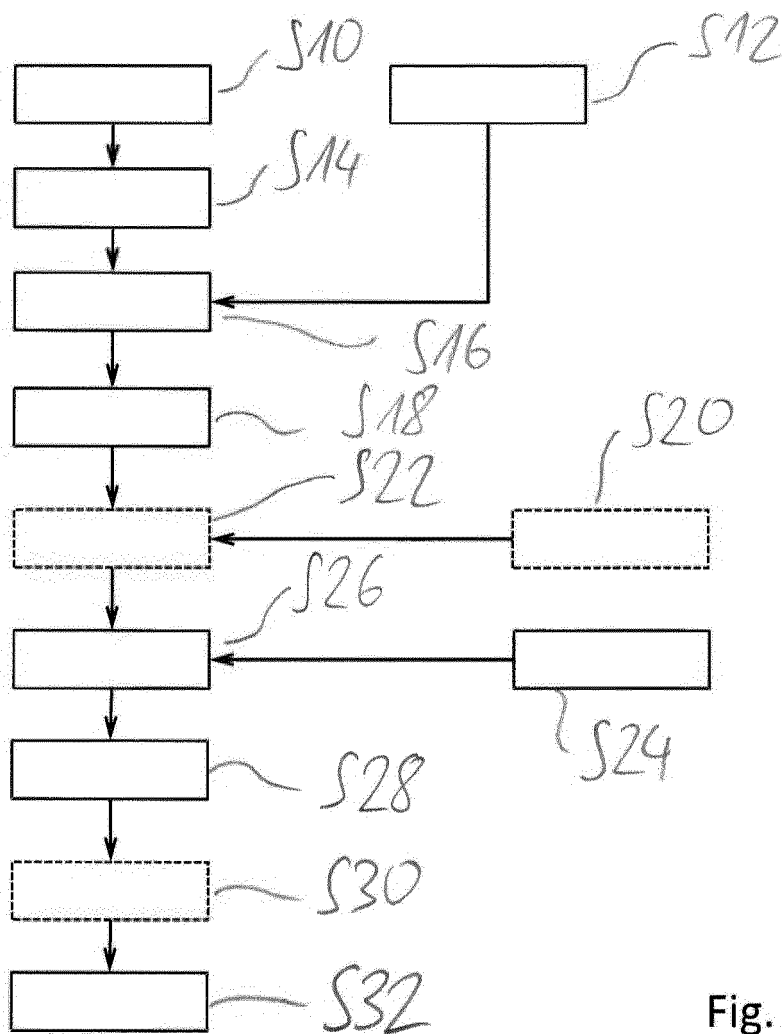


Fig. 12





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 17 18 0783

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2007 000164 A1 (DENSO CORP [JP]; NIPPON SOKEN [JP]) 18. Oktober 2007 (2007-10-18) * Zusammenfassung * * Absatz [0040] - Absatz [0050]; Abbildungen 1,11 * * Absatz [0052] - Absatz [0063] *	1-15	INV. H01F5/06 H01F7/127 F02M51/06 H01F41/04
X	DE 20 2008 008650 U1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12. November 2009 (2009-11-12) * Zusammenfassung * * Absatz [0007] - Absatz [0014] * * Absatz [0029] - Absatz [0032]; Abbildung 1 *	1-4, 11-13,15	
X	DE 197 27 414 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 7. Januar 1999 (1999-01-07) * Zusammenfassung * * Spalte 2, Zeile 14 - Spalte 5, Zeile 48; Ansprüche 1-4; Abbildungen 1, 2a, 2b *	1-5,7-9, 11-15	
X	DE 28 09 975 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 20. September 1979 (1979-09-20) * Seite 10, Zeile 15 - Seite 11, Zeile 7; Abbildung 1 *	1,11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01F F02M
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>17. November 2017</b>	Prüfer <b>Warneck, Nicolas</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 18 0783

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-11-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102007000164 A1	18-10-2007	DE 102007000164 A1	18-10-2007
		JP 2007288129 A	01-11-2007
DE 202008008650 U1	12-11-2009	DE 202008008650 U1	12-11-2009
		WO 2009156213 A1	30-12-2009
DE 19727414 A1	07-01-1999	DE 19727414 A1	07-01-1999
		DE 59809336 D1	25-09-2003
		EP 0922287 A1	16-06-1999
		JP 2001500321 A	09-01-2001
		KR 20000068358 A	25-11-2000
		US 2003189183 A1	09-10-2003
		WO 9900804 A1	07-01-1999
DE 2809975 A1	20-09-1979	DE 2809975 A1	20-09-1979
		GB 2016212 A	19-09-1979
		JP S6238949 B2	20-08-1987
		JP S54126913 A	02-10-1979
		US 4242606 A	30-12-1980

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0132623 A2 [0002]
- DE 102007000164 A1 [0003]
- DE 2809975 A1 [0004]