



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 103 20 974 B4 2005.12.01**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 20 974.3**  
 (22) Anmeldetag: **09.05.2003**  
 (43) Offenlegungstag: **02.12.2004**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **01.12.2005**

(51) Int Cl.7: **G01M 1/32**  
**G01M 1/36, G01M 1/38, A61B 6/03**

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

(73) Patentinhaber:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

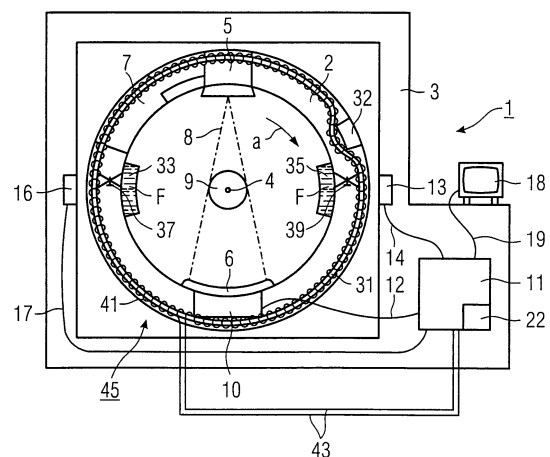
(72) Erfinder:  
**Hoheisel, Martin, Dr., 91056 Erlangen, DE; Müller, Hans-Jürgen, 91362 Pretzfeld, DE; Müller, Norbert, Dr., 91362 Pretzfeld, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 197 11 726 A1**  
**DE 101 08 065 A1**  
**DE 41 31 142 A1**  
**DE 40 26 881 A1**  
**DE 40 20 554 A1**  
**DE 35 09 089 A1**  
**DE 33 09 387 A1**

**DE 32 48 085 A1**  
**DE 31 02 726 A1**  
**DE 7 19 582**  
**DE 6 95 245**  
**US 54 60 017 A**  
**US 40 75 909**  
**US 33 36 818**  
**US 32 82 127**  
**US 28 36 083**  
**EP 12 19 849 A2**  
**EP 06 44 253 A2**  
**WO 98/01 733 A1**  
**WO 01/98 745 A1**  
**JP 03-2 61 500 A1**  
**SU 17 71 893 A1**  
**Physik in unserer Zeit, 32, 2001, S.122-127;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Verminderung einer Unwucht und Verwendung einer elektro-rheologischen Flüssigkeit zur Verminderung einer Unwucht**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Verminderung einer Unwucht (61) an einer um eine Rotationsachse (4) rotierbaren Vorrichtung (1), wobei die Vorrichtung (1) einen flüssigkeitsbefüllbaren, auf der Rotationsachse (4) zentrierten Ringkanal (31; 71; 81, 83, 85) aufweist, wobei  
 – eine Masse (m) einer die Unwucht (61) ausgleichenden Flüssigkeitsmenge ermittelt wird,  
 – in den Ringkanal (31; 71; 81, 83, 85) die Flüssigkeit in einer Menge eingebracht wird, so dass für den nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung (1) eine von der ermittelten Masse (m) abhängige Menge an Flüssigkeit (F) im Ringkanal (31; 71; 81, 83, 85) vorhanden ist,  
 – die Flüssigkeit eine elektro-rheologische Flüssigkeit (F) ist, und  
 – für den nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung (1) die Viskosität der eingefüllten elektro-rheologischen Flüssigkeit (F) durch Einwirkung eines elektrischen Feldes erhöht wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Verminderung, insbesondere Vermeidung, von Unwuchten bei rotierbaren Gegenständen oder Vorrichtungen.

**[0002]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Verwendung einer elektrorheologischen Flüssigkeit zur Verminderung einer Unwucht an einer rotierbaren Vorrichtung.

**[0003]** Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Verminderung einer Unwucht an einer um eine Rotationsachse rotierbaren Vorrichtung, wobei die Vorrichtung einen flüssigkeitsbefüllbaren, auf der Rotationsachse zentrierten Ringkanal aufweist.

**[0004]** Bei Vorrichtungen mit schnell rotierenden Massen führen vorhandene oder im Laufe des Betriebs auftretende Unwuchten zu einer Reihe unerwünschter Erscheinungen. Diese reichen von unerwünschter Geräuschentwicklung über übermäßigen Lagerverschleiß bei technischen Geräten allgemein bis hin zu Störungen der Bildgebung bei medizinischen Tomographiegeräten, insbesondere bei einem Röntgencomputertomographie-Gerät.

**Stand der Technik**

**[0005]** Aus DE 101 08 065 A1 ist ein Computertomograph bekannt, der Mittel zum Ermitteln einer Unwucht des rotierenden Teils der Gantry und Mittel zum Berechnen der Stelle oder derjenigen Stellen am rotierenden Teil der Gantry aufweist, an der ein Gewicht bzw. an denen Gewichte zum Ausgleich der Unwucht angeordnet werden sollen. Bei einem Computertomograph mit einer derart integrierten Einrichtung zur Ermittlung einer Unwucht ist es möglich, die Unwucht automatisch, zum Beispiel jedes Mal, wenn das Tomographiegerät in Betrieb kommt, zu überprüfen.

**[0006]** Aus dem Bereich des Maschinenbaus, insbesondere des Werkzeugmaschinenbaus, sind auch Einrichtungen bekannt, welche eine Beseitigung der festgestellten Unwucht, also ein sogenanntes Auswuchten, automatisch durchführen, ohne dass hierzu ein manuelles Anbringen von Ausgleichsgewichten erforderlich wäre. So sind zum Beispiel Ausgleichseinrichtungen bekannt, welche einen um die Rotationsachse zentrierten Ringkanal aufweisen, in welchem mehrere Kugeln frei beweglich sind. Entsprechende Ausgleichseinrichtungen sind beschrieben in US 3,282,127, WO 98/01733 A1, US 5,460,017 A, DE 35 09 089 A1 oder US 4,075,909.

**[0007]** Aus DE-PS 695 245 ist ein Verfahren zum selbsttätigen Auswuchten eines umlaufenden Maschinenteils bekannt, bei dem in einen mit dem Ma-

schinenteil umlaufenden Hohlkörper ein erhärtbarer Stoff gefüllt wird. Dabei wird vorgeschlagen zum Zweck des selbsttätigen Massenausgleiches einen erhärtbaren Stoff zu verwenden, der beim Auswuchtvorgang durch Wärmezufuhr leicht in den flüssigen Zustand versetzbar ist und sich dann selbsttätig an eine zum Ausgleich der Unwucht erforderliche Stelle im Hohlkörper bewegt.

**[0008]** In DE 40 20 554 A1 ist eine Vorrichtung zum Ausgleichen der Unwucht des Waschgutes beim Schleudern in programmgesteuerten Trommelwaschmaschinen beschrieben, deren Waschtrommel mit Kammern versehen ist, die mit je einer an ihrer rückwärtigen Stirnseite angeordneten Zuführungsrinne in Verbindung stehen, denen zum Auswuchten der Waschtrommel getrennt Flüssigkeit zuführbar ist. Die Kammern sind radial mit einer Auswuchtflüssigkeit füllbar.

**[0009]** Aus DE 31 02 726 A1 ist eine Einrichtung zur Änderung einer Exzentrizität einer Welle insbesondere zum dynamischen Auswuchten bekannt, bei der fließfähiges oder schüttfähiges Material, insbesondere Flüssigkeit, in Behältern angeordnet und über Auslässe sowie ein Strömungssteuerorgan selektiv abgelassen werden kann, um so das Wuchtverhalten der Welle zu ändern.

**[0010]** In DE-PS 719 582 ist eine Einrichtung zum selbsttätigen Auswuchten beschrieben, bei der in einen Ringraum einer Maschine bei überkritischen Drehzahlen der Maschine Wasser zum Auswuchten eingefüllt wird.

**[0011]** Aus DE 33 09 387 A1 ist eine Vorrichtung zum automatischen Auswuchten von Rotationskörpern bekannt, wobei am Rotationskörper ein mit Flüssigkeit gefülltes Ringrohr mit mehreren symmetrisch angeordneten Ausgleichsräumen vorgesehen ist, deren Volumen jeweils veränderbar ist.

**[0012]** In WO 01/98745 A1 ist ein Verfahren zum Ausgleich einer Unwucht beschrieben, bei dem in einer Flüssigkeit gelöste Schwermetall-Salzionen, z.B. Quecksilber-Salzionen verwendet werden, welche unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes umverteilt werden.

**[0013]** Eine Vorrichtung zum Unwuchtausgleich mit einem linear verstellbaren Ausgleichsgewicht ist in DE 197 11 726 A1 beschrieben. Für das Ausgleichsgewicht ist eine magnetisch betätigbare Stelleinrichtung vorhanden, die insbesondere eine magneto-rheologische Flüssigkeit aufweist.

**[0014]** Magneto-rheologische und elektro-rheologische Flüssigkeiten sind beispielsweise beschrieben in EP 1 219 849 A2, EP 0 644 253 A2, DE 40 26 881 A1 oder in DE 41 31 142 A1. Es handelt sich dabei

um Suspensionen oder Emulsionen kleiner Partikel in Öl oder in einer anderen Basisflüssigkeit, wobei die Partikel bestimmte elektrische oder magnetische Eigenschaften aufweisen. Bei Anlegen eines elektrischen und/oder eines magnetischen Feldes ändert sich die Erscheinungsform der rheologischen Flüssigkeit reversibel. Im feldbeaufschlagten Zustand verfestigt sich die Flüssigkeit bis hin zur Starrheit, das heißt, ihre Viskosität steigt.

**[0015]** Von den elektro- bzw. magneto-rheologischen Flüssigkeiten, zu trennen sind die rein magnetischen Flüssigkeiten, die auch als Ferrofluide bezeichnet werden. Dabei handelt es sich in der Regel um eine kolloidale Lösung kleiner ferromagnetischer Partikel in einer Basisflüssigkeit. Wenn die magnetische Flüssigkeit in die Nähe eines Magneten gebracht wird, wird die gesamte Flüssigkeit zum Magneten hingezogen und verhält sich, als wäre die gesamte Flüssigkeit ferromagnetisch. Derartige magnetische Flüssigkeiten sind beispielsweise beschrieben in EP 0 644 253 A2 oder in einem Fachartikel von Stefan Odenbach, erschienen in „Physik in unserer Zeit“, Jahrgang 32, 2001, Seiten 122 – 127: „Ferrofluide – ihre Grundlagen und Anwendungen“. Ferrofluide werden häufig als Dichtmittel eingesetzt.

**[0016]** In DE 32 48 085 A1 ist ein Verfahren zum Auswuchten von rotationssymmetrischen Teilen während der Rotation beschrieben, bei dem ein magnetisches Fluid verwendet wird. Durch Veränderung eines Magnetfeldes wird die Massenverteilung des magnetischen Fluids gesteuert und die Unwucht kompensiert.

**[0017]** Es sind auch Vorschläge gemacht worden, Flüssigkeiten, insbesondere rheologische Flüssigkeiten, nicht nur als Stellmittel zum automatischen Unwuchtausgleich zu verwenden, sondern die Flüssigkeit selbst als Ausgleichsmasse zu verwenden. Eine entsprechende Auswuchtvorrichtung nach Le Blanc erwähnt DE 35 09 089 A1. In dieser Schrift sind auch Anordnungen von Kugeln in zähen Flüssigkeiten offenbart.

**[0018]** Eine Vorrichtung, welche zum Auswuchten Gebrauch von einem Fluid machte, dessen Viskosität mit einem Magnetfeld variiert werden kann, ist in US 3 336 818 beschrieben.

**[0019]** In dem Abstract der japanischen Patentanmeldung JP 03261500 A ist eine sich vollautomatisch auswuchtende Waschmaschine offenbart. Deren Ausgleichseinrichtung weist einen mit einer magnetischen Flüssigkeit gefüllten geschlossenen Ringkanal auf. In dem Ringkanal sind über dessen Umfang verteilt mehrere Elektromagnete vorhanden, die jeweils gesondert ansteuerbar sind. Von einer gesonderten Unwuchtermittlungseinheit wird eine Stärke und eine Position der Unwucht ermittelt. Nach einem Stop der

Waschmaschine werden selektiv ein oder mehrere Elektromagnete aktiviert. Dadurch bewegt sich die magnetische Flüssigkeit in Richtung der aktivierten Magnete und sammelt sich dort an, wodurch die Unwucht für die nachfolgende Wiederinbetriebnahme der Waschmaschine vermindert ist. Aufgrund der begrenzten Reichweite jeglicher Elektromagnete hat diese Ausgleichseinrichtung den Nachteil, dass sie nur bei vertikaler Drehachse, also bei horizontal liegendem Ringkanal, anwendbar ist. Außerdem ist bedingt durch die begrenzte Anziehungskraft der Magneten und deren begrenzter Fähigkeit, die angezogene Flüssigkeit im nachfolgenden Betriebszustand zu halten, die Stärke oder Masse der auszugleichenden Unwucht nach oben hin begrenzt. Im nachfolgenden rotierenden Betriebszustand bewirken die Zentrifugalkräfte außerdem durch Zerfließen des angezogenen Flüssigkeitsberges eine der magnetischen Haltekraft entgegengesetzte Kraft. Das Einbringen einer Flüssigkeit, die auch im rotierenden Betriebszustand im flüssigen Aggregatzustand verbleibt, erfüllt außerdem für viele Anwendungen nicht die Anforderungen an die Betriebssicherheit, beispielsweise gegenüber Restvibrationen oder Erschütterungen, oder gar Auslaufen bei einer Störung.

**[0020]** Der letztgenannte Nachteil ist bei einer aus SU 1771893 A1 bekannten Ausgleichsvorrichtung für einen Hochgeschwindigkeitsfräser vermieden. Dieser Fräser weist in seiner Frässscheibe einen durch eine Ausnehmung gebildeten Ringkanal auf, der mit einer ferromagnetischen Flüssigkeit gefüllt ist. In dem so in der Fräaserscheibe gebildeten geschlossenen Hohlraum sind über den Umfang verteilt mehrere in radialer Richtung ausgerichtete Elektromagnete als Quelle für ein gleichmäßiges magnetisches Feld angebracht. Der Fräser funktioniert wie folgt: Im Anfangszustand liegt keine Spannung an den Spulen der Elektromagnete an, so dass sich die ferromagnetische Flüssigkeit im flüssigen Zustand befindet und gleichmäßig über die untere Oberfläche des horizontal liegenden Ringkanals zerfließt. Nach Starten der Rotation bewegt sich die ferromagnetische Flüssigkeit unter Wirkung der Fliehkraft von der Drehachse des Fräasers aus zu der stirnseitigen Wand des Ringkanals. Unter dem Einfluss der Unwucht verteilt sich die Ausgleichsmasse ungleichmäßig und strebt die Schwingungen und die Unwucht auszugleichen an. Nach Einstellen eines stabilen Laufs wird an den Spulen eine Spannung angelegt. Dadurch entsteht ein Magnetfeld, unter dessen Wirkung sich die ferromagnetische Flüssigkeit verfestigen soll. Der Fräser ist betriebsbereit.

**[0021]** Auch die in SU 1771893 A1 beschriebene Vorrichtung hat den Nachteil, dass nur geringfügige Unwuchten, beispielsweise verursacht durch einen fehlenden Zahn am Fräser, beseitigbar sind. Mit anderen Worten: Der Dynamikbereich der Ausgleichsvorrichtung ist gering. Der gemäß der SU-Schrift ver-

folgte passive Ausgleichsmechanismus, bei welchem die Ausgleichsmasse quasi selbsttätig die Unwucht auszugleichen versuchen soll, erlaubt – soweit er überhaupt verlässlich funktioniert – nur geringe Unwuchten auszugleichen.

**[0022]** Selbst falls man entgegen der in SU 1771893 A1 beschriebenen Vorgehensweise die Elektromagnete nicht gleichmäßig über den Umfang aktivieren würde, sondern entsprechend JP 03261500 A nur gezielt einzelne der Magnete aktivieren würde, wäre die Verwendung der ferromagnetischen oder magneto-rheologischen Flüssigkeit für bestimmte Anwendungen nachteilig, da diese zur Verfestigung aufwändige und schwere Magnetisierereinrichtungen („Magnete“) benötigen. Dies ist insbesondere von Nachteil, falls der Ausgleich kleiner Unwuchten mit hoher Dynamik vornehmbar sein soll.

**[0023]** Aus US 2 836 083 ist es schließlich bekannt zur Erhöhung der Viskosität einer Ausgleichsflüssigkeit im ausgewuchteten Zustand eine thixotrope Flüssigkeit zu verwenden.

#### Aufgabenstellung

**[0024]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit welchem ein automatischer Unwuchtausgleich über einen großen Dynamikbereich, das heißt, bei einer über einen großen Bereich als variabel angenommenen Unwucht, durchführbar ist.

**[0025]** Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch die Verwendung einer elektro-rheologischen Flüssigkeit zur Verminderung einer Unwucht an einer rotierenden Vorrichtung.

**[0026]** Die elektro-rheologische Flüssigkeit weist beispielsweise eine Basisflüssigkeit auf, in welcher in einem elektrischen Feld polarisierbare Partikel verteilt sind.

**[0027]** Die elektro-rheologische Flüssigkeit ist insbesondere als – vorzugsweise nicht-kolloidale – Suspension ausgebildet.

**[0028]** Polarisierbare elektro-rheologische Flüssigkeiten haben den Vorteil, dass sie bei Vorhandensein eines Magneten nicht oder kaum zu diesem hingezogen werden. Dadurch ergibt sich in vorteilhafter Weise die Möglichkeit zu einem präzisen Unwuchtausgleich mit hoher Dynamik.

**[0029]** Vorzugsweise weist die elektro-rheologische Flüssigkeit keine ferromagnetischen Eigenschaften auf. Die Partikel, deren Dipolmoment beispielsweise erst unter dem Einfluss des elektrischen Feldes entsteht, weisen bevorzugt eine Größe aus dem Bereich von 0,1 µm bis 100 µm auf. Sie bestehen insbeson-

dere überwiegend aus einem Zeolith, einer Elektrokeramik, einem elektronenleitenden Polymer, einem beschichteten Metall, aus Zellulose und/oder aus Stärke.

**[0030]** Die Basisflüssigkeit besteht vorzugsweise überwiegend aus einem chlorierten Kohlenwasserstoff und/oder einem – insbesondere synthetischen oder silicon-basierten – Öl. Sie kann zusätzlich Additive enthalten.

**[0031]** Die Verwendung von elektro-rheologischen Flüssigkeiten ist für den praktischen Betrieb – im Vergleich zu magnetorheologischen Flüssigkeiten – für viele Anwendungen besonders vorteilhaft, weil die notwendigen elektrischen Felder besonders einfach erzeugbar sind und nur geringer Stromverbrauch entsteht.

**[0032]** Die oben genannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung bei dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, dass

- eine Masse einer die Unwucht ausgleichenden Flüssigkeitsmenge ermittelt wird,
- in den Ringkanal die Flüssigkeit in einer Menge eingebracht wird, so dass für den nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung eine von der ermittelten Masse abhängige Menge an Flüssigkeit im Ringkanal vorhanden ist,
- die Flüssigkeit eine elektro-rheologische Flüssigkeit ist, und
- für den nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung die Viskosität der eingefüllten elektro-rheologischen Flüssigkeit durch Einwirkung eines elektrischen Feldes erhöht wird.

**[0033]** Im Gegensatz zu bekannten Verfahren wird bei dem Verfahren nach der Erfindung also nicht von einer konstanten Flüssigkeitsmenge im Ringkanal ausgegangen. Vielmehr wird die Menge der Flüssigkeit im Ringkanal abhängig von der ermittelten Unwucht durch Flüssigkeitsaustausch angepasst. Dadurch lassen sich sowohl Unwuchten von wenigen Gramm als auch Unwuchten bis hin zu vielen Kilogramm ausgleichen.

**[0034]** Unter einem Flüssigkeitsaustausch wird in Zusammenhang mit der Erfindung sowohl eine Flüssigkeitszufuhr als auch eine Flüssigkeitsabfuhr in den Ringkanal bzw. aus diesem heraus verstanden.

**[0035]** Als Ringkanal wird im Zusammenhang mit der Erfindung jegliches geschlossene oder abschließbare Flüssigkeitsvolumen verstanden, das im Wesentlichen in Umfangsrichtung um die Rotationsachse verläuft und somit zumindest in einer Blickrichtung parallel zur Rotationsachse im Wesentlichen ringförmig ist. Der Ringkanal kann als Ringausnehmung oder als gesondert eingebrachte Ringröhre, beispielsweise als Ringschlauch oder als Ringrohr

runden oder eckigen Querschnitts ausgebildet sein.

**[0036]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform enthält die elektrorheologische Flüssigkeit Partikel, die in einem elektrischen Feld polarisierbar sind. Eine derartige elektro-rheologische Flüssigkeit ist für den Rotationsbetrieb der Vorrichtung besonders gut stabilisierbar und außerdem besonders definiert und gezielt an einer bestimmten Umfangsposition fixierbar.

**[0037]** Nach einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens werden während der Betriebszeit, der Lebensdauer, der Standzeit oder der Verfügbarkeitszeit der Vorrichtung die Schritte zur Verminderung der Unwucht wiederholt, um eine zwischenzeitlich veränderte Unwucht auszugleichen.

**[0038]** Das Verfahren nach der Erfindung eignet sich sowohl für eine Betriebsweise, bei welcher sich die elektro-rheologische Flüssigkeit selbsttätig in eine zum Ausgleich der Unwucht erforderliche azimutale Position bewegt, als auch für eine Betriebsweise, bei welcher die elektro-rheologische Flüssigkeit aktiv an einer zum Ausgleich der Unwucht erforderlichen, zuvor ermittelten Position positioniert wird.

**[0039]** Im Hinblick auf die erstgenannte Vorgehensweise wird die Vorrichtung bevorzugt in derart schnelle Rotation versetzt, insbesondere mit einer Rotationsfrequenz oberhalb der Resonanzfrequenz, dass sich die in den Ringkanal eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit selbsttätig an eine zum Ausgleich der Unwucht erforderliche azimutale Position bewegt. Bei dieser Betriebsweise kann das elektrische Feld durch entsprechende Feldmittel gleichmäßig über den gesamten Umfang des Ringkanals eingeschaltet werden. Ein selektiv lokales, an einer bestimmten azimutalen Position stattfindendes Einschalten des Feldes ist nicht erforderlich. Diese Betriebsweise kann bei beliebig orientierter Rotationsachse angewendet werden.

**[0040]** Bezugnehmend auf die oben zweitgenannte Vorgehensweise wird nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform bei dem Verfahren nach der Erfindung zusätzlich zu der Masse auch eine Position der die Unwucht ausgleichenden elektro-rheologischen Flüssigkeit ermittelt, und es wird die in den Ringkanal eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit unter Verwendung der ermittelten Position in azimutale Richtung im Ringkanal positioniert, das heißt insbesondere fixiert.

**[0041]** Nachfolgend werden drei Varianten beschrieben, gemäß derer die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit vorzugsweise in die gewünschte azimutale Position gebracht wird:

i) Bei einer nicht-vertikalen, insbesondere bei einer horizontalen, Rotationsachse der rotierbaren Vorrichtung kann die eingebrachte elektro-rheolo-

gische Flüssigkeit an die ermittelte Position gebracht werden, indem die Vorrichtung derart positioniert wird, dass sie mit der ermittelten Position in der geodätisch tiefsten Stelle zu liegen kommt, so dass sich die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit dort sammelt. Der Ringkanal ist also hierbei nur teilweise mit Flüssigkeit gefüllt, wobei vorzugsweise nur eine Flüssigkeitsmenge entsprechend der zuvor ermittelten Masse injiziert wird.

Das Einschalten des Feldes für den nachfolgenden Rotationsbetrieb der Vorrichtung kann bei dieser Variante lokal an der ermittelten Position oder gleichmäßig über den gesamten Umfang verteilt geschehen.

Das lokale Einschalten des Feldes hat den Vorteil, dass über einen zusätzlichen Parameter ein weiterer Freiheitsgrad bei der präzisen Positionierung und Fixierung der eingebrachten, elektro-rheologischen Flüssigkeit im Ringkanal geschaffen wird. Schon bei geringem Rechenaufwand sind damit präzise Ergebnisse möglich. Andererseits kann man – insbesondere im Fall der über den Umfang gleichmäßig verteilten Feldaktivierung – die Form des sich an der geodätisch tiefsten Stelle ansammelnden Flüssigkeitssees in die Berechnung der Flüssigkeitsmasse miteinbeziehen, so dass auf eine lokale Feldaktivierung für viele Anwendungsbereiche verzichtbar ist.

ii) Bei beliebig orientierter Rotationsachse kann die Vorrichtung derart in Rotation versetzt werden, dass die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit infolge der Zentrifugalkraft entlang des Ringkanals verteilt wird. Die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit wird dann an der ermittelten Position durch Einwirkung des elektrischen Feldes lokal verfestigt, wobei das Feld in einer der ermittelten Masse äquivalenten Stärke und/oder mit einem der ermittelten Masse äquivalenten Wirkvolumen auf die elektro-rheologische Flüssigkeit einwirkt.

Zur lokalen Verfestigung können mehrere entlang des Umfangs des Ringkanals aufgereichte Feldmittel vorhanden sein. Beispielsweise ist durch die Anzahl der aktivierten Feldelemente das Wirkvolumen beeinflussbar.

iii) Eine Verteilung entlang des Ringkanals kann auch vorgenommen werden, indem zunächst weitestgehend das gesamte Volumen des Ringkanals – insbesondere druckgetrieben – mit der elektro-rheologischen Flüssigkeit gefüllt wird. Die lokale Verfestigung geschieht dann wie unter ii).

**[0042]** Nach einer anderen bevorzugten Weiterbildung wird nach lokaler Verfestigung der elektro-rheologischen Flüssigkeit und vor dem nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung ein verbliebener nicht verfestigter Anteil der elektro-rheologischen Flüssigkeit aus dem Ringkanal entfernt. Es kann also zunächst eine Übermenge an elektro-rheologischer Flüssigkeit in

den Ringkanal eingefüllt werden. Das Entfernen einer überschüssigen Flüssigkeitsmenge kann auch sukzessive geschehen, wobei in jedem Schritt die Feldstärke oder das Wirkvolumen variiert werden, bis ein optimales Auswuchtergebnis erreicht ist.

**[0043]** Im Hinblick auf den nötigen Bauraum eines evtl. Vorratsbehälters, aus dem die elektro-rheologische Flüssigkeit für den Ringkanal entnommen wird, ist es vorteilhaft, den Ringkanal gleich zu Beginn des Auswuchtvorgangs nur teilweise mit einer Flüssigkeitsmenge entsprechend der oder in Abhängigkeit von der zuvor ermittelten Masse zu befüllen.

**[0044]** Eine Vorrichtung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst eine Ausgleichseinrichtung mit einem Vorratsbehälter, der mit dem Ringkanal flüssigkeitsdicht verbindbar ist, um die elektro-rheologische Flüssigkeit zwischen dem Ringkanal und dem Vorratsbehälter auszutauschen. Der Vorratsbehälter kann auch als Ausgleichsbehälter fungieren.

**[0045]** Vorzugsweise ist der Vorratsbehälter bezüglich des Ringkanals radial weiter innen liegend angebracht, um Auswirkungen eventueller Unwuchten im Vorratsbehälter zu minimieren.

**[0046]** Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Vorrichtung ist der Vorratsbehälter ringförmig ausgebildet, wobei der Vorratsbehälter vorzugsweise auf der Rotationsachse zentriert ist. Ein derartig ringförmiger Vorratsbehälter hat den Vorteil, dass bei einem Flüssigkeitsaustausch mit dem Ringkanal durch den veränderlichen Inhalt im Vorratsbehälter keine Unwucht erzeugt wird. Die verbleibende elektro-rheologische Flüssigkeit im Vorratsbehälter kann durch die Zentrifugalkraft nämlich gleichmäßig über den Umfang des Vorratsbehälters verteilt werden.

**[0047]** Nach einer anderen bevorzugten Ausgestaltung umfasst die Ausgleichseinrichtung einen weiteren Vorratsbehälter, der ebenfalls mit dem Ringkanal flüssigkeitsdicht verbindbar ist und der vorzugsweise dem anderen Vorratsbehälter diametral gegenüber und insbesondere in gleichem radialen Abstand angeordnet ist. Diese Ausführungsform bietet den Vorteil, dass die zum Ausgleich der ermittelten Unwucht erforderliche Flüssigkeitsmenge, die in den Ringkanal zu transferieren ist, zu gleichen Teilen aus den beiden Vorratsbehältern entnehmbar ist, so dass auch hierbei durch den veränderlichen Inhalt in den beiden Vorratsbehältern keine nennenswerte Unwucht durch die Vorgänge in den – vorzugsweise ohnehin radial weiter innen liegenden – Vorratsbehältern erzeugt werden.

**[0048]** Bei nicht exakt diametral und in radial gleichem Abstand gegenüberliegenden Vorratsbehältern kann eine geringfügige Unwucht durch die Vorratsbe-

hälter entstehen, die aber bei bekannter Position der beiden Vorratsbehälter von einem den automatischen Unwuchtausgleich steuernden Computer von vorneherein in die Berechnung der erforderlichen Ausgleichsmasse einbeziehbar ist, so dass im Ergebnis die festgestellte Unwucht dennoch vollständig beseitigbar ist.

**[0049]** Nach einer ganz besonders bevorzugten Ausgestaltung weist die Ausgleichseinrichtung wenigstens einen weiteren Ringkanal auf, der konzentrisch zu dem ersten Ringkanal und in Richtung der Rotationsachse von dem ersten Ringkanal beabstandet angeordnet ist. Damit lässt sich nicht nur eine azimutale Unwucht der Vorrichtung, sondern auch eine in axialer Richtung auftretende Unwucht beseitigen.

**[0050]** Der eine Ringkanal und/oder jeder weitere Ringkanal kann als Ringrohr, als Ringröhre oder als – starrer oder teilflexibler – Ringschlauch ausgebildet sein.

**[0051]** Zwischen dem Ringkanal und dem Vorratsbehälter ist vorzugsweise ein Verschlusselement zur Unterbindung des Flüssigkeitsaustausches zwischen dem Ringkanal und dem Vorratsbehälter angebracht. Das Verschlusselement ist insbesondere von einem den automatischen Unwuchtausgleich steuernden Computer aktivierbar.

**[0052]** Falls bei einer erneuten automatischen Wuchtung elektro-rheologische Flüssigkeit wieder aus dem Ringkanal herausgebracht werden muss, bestehen mehrere Möglichkeiten, wovon bevorzugte nachfolgend wiedergegeben werden:

Die Ausgleichseinrichtung kann ein von dem Ringkanal radial nach außen führendes Leitungsstück zur Abfuhr von elektro-rheologischer Flüssigkeit aus dem Ringkanal aufweisen. Dies ist insbesondere bei horizontaler (realer oder virtueller) Rotationsachse, also bei vertikal stehendem Ringkanal, von Vorteil, weil bei einer Positionierung des nach außen führenden Leitungselements in seiner geodätisch tiefsten Position die elektro-rheologische Flüssigkeit den Ringkanal selbsttätig verlässt. Von dem nach außen führenden Leitungsstück kann die elektro-rheologische Flüssigkeit beispielsweise über ein weiteres Leitungsstück wieder in den Ausgleichsbehälter oder in einen der Ausgleichsbehälter zurückgeführt werden, insbesondere nachdem das nach außen führende, nunmehr mit elektro-rheologischer Flüssigkeit gefüllte Leitungselement in eine geodätisch weiter oben liegende Position gebracht wird, von wo aus die elektro-rheologische Flüssigkeit selbsttätig in den Ausgleichsbehälter zurückläuft.

**[0053]** Alternativ oder zusätzlich kann der Ausgleichseinrichtung eine auf den Ringkanal einwirkbare Saugpumpe zur Abfuhr elektro-rheologischer Flüssigkeit aus dem Ringkanal zugeordnet sein.

**[0054]** Nach einer anderen ganz besonders bevorzugten Ausgestaltung weist die Vorrichtung Mittel zum Ermitteln einer Unwucht und Mittel zum Berechnen einer die Unwucht ausgleichenden Masse und/oder einer Position dieser Masse auf. Die genannten Mittel können als funktionelle Gruppen in einem – bereits erwähnten – den automatischen Unwuchtausgleich steuernden Computer realisiert sein.

**[0055]** Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass die Ausgleichseinrichtung Feldmittel aufweist, mit welchen im Ringkanal ein elektrisches Feld erzeugbar ist.

**[0056]** Nachfolgend werden besonders bevorzugte Ausgestaltungen betreffend die Feldmittel beschrieben:

Das elektrische Feld im Ringkanal ist vorzugsweise mit entlang des Ringkanals veränderlicher Stärke erzeugbar.

**[0057]** Ebenfalls bevorzugt umfassen die Feldmittel eine Vielzahl entlang des Ringkanals aufgereihter, gesondert mit Spannung beaufschlagbarer Elektroden, die vorzugsweise flächig am Ringkanal anliegen zum Betrieb mit der elektro-rheologischen Flüssigkeit.

**[0058]** Bei einem nicht zur Erfindung gehörenden Betrieb mit einer magneto-rheologischen Flüssigkeit können die Feldmittel auch eine Vielzahl entlang des Ringkanals aufgereihter, gesondert mit Strom beaufschlagbarer Spulen umfassen.

**[0059]** Allgemein gesagt umfassen die Feldmittel eine Aufreihung von gesondert aktivierbaren Feldelementen entlang des Ringkanals.

**[0060]** Die genannten Spulen sind vorzugsweise jeweils um den Ringkanal gewickelt.

**[0061]** Im Hinblick auf eine bei zahlreichen Anwendungen geforderte Betriebssicherheit im Falle eines Ausfalles der die Spulen versorgenden Stromversorgung oder des zugehörigen Stromnetzes ist es von besonderem Vorteil, wenn an Stelle der Spulen eine Vielzahl entlang des Ringkanals aufgereichte Permanentmagnete vorgesehen sind. Ein lokal variables Beaufschlagen des Ringkanals mit einem veränderlichen Magnetfeld kann beispielsweise realisiert werden, indem die Permanentmagnete von den genannten Spulen magnetisierbar und/oder entmagnetisierbar sind.

#### Ausführungsbeispiel

**[0062]** Mehrere Beispiele einer zur Durchführung des Verfahrens geeigneten Vorrichtung werden nachfolgend anhand der [Fig. 2](#) bis [Fig. 8](#) näher erläutert. Die [Fig. 1](#) und [Fig. 9](#) zeigen, soweit auf eine

magneto-rheologische Flüssigkeit Bezug genommen wird, nicht zur Erfindung gehörende Vorrichtungen. Es zeigen:

**[0063]** [Fig. 1](#) ein erstes Beispiel einer Vorrichtung,

**[0064]** [Fig. 2](#) ein zweites Beispiel einer Vorrichtung in einem ersten Betriebszustand,

**[0065]** [Fig. 3](#) die Vorrichtung gemäß [Fig. 2](#) in einem anderen Betriebszustand,

**[0066]** [Fig. 4](#) die Vorrichtung gemäß [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) in einem weiteren Betriebszustand,

**[0067]** [Fig. 5](#) ein drittes Beispiel einer Vorrichtung,

**[0068]** [Fig. 6](#) ein viertes Beispiel einer Vorrichtung,

**[0069]** [Fig. 7](#) ein fünftes Beispiel einer Vorrichtung,

**[0070]** [Fig. 8](#) ein Detail der vorgenannten Beispiele betreffend Mittel zur Erzeugung eines elektrischen Feldes und

**[0071]** [Fig. 9](#) ein Detail der vorgenannten Beispiele betreffend die Erzeugung eines magnetischen Feldes.

**[0072]** [Fig. 1](#) zeigt eine insgesamt mit Bezugszeichen **1** bezeichnete rotierbare Vorrichtung, hier im Besonderen ein Röntgen-Computertomographiegerät. Die Vorrichtung **1** umfasst als rotierbares Teil **2** ein Messsystem des Computertomographiegeräts, wobei dieser rotierbare Teil **2** in einem stationären Gehäuse **3** um eine virtuelle horizontale Rotationsachse **4** senkrecht zur Zeichenebene umlauffähig ist. Auf dem rotierbaren Teil **2** sind mehrere Komponenten angeordnet, nämlich eine Röntgenstrahlenquelle **5**, ein der Röntgenstrahlenquelle **5** gegenüberliegender Strahlungsdetektor **6** für Röntgenstrahlen und eine nur schematisch angedeutete Kühleinrichtung **7** zur Abfuhr von Wärme, die von einer Röntgenröhre der Röntgenstrahlenquelle **5** im Betrieb des Computertomographiegeräts erzeugt wird. Im Betrieb des Computertomographiegeräts rotiert das Messsystem um die Rotationsachse **4**, wobei ein von der Röntgenstrahlenquelle **5** ausgehendes fächerförmiges Röntgenstrahlenbündel **8** ein Messfeld **9** unter verschiedenen Projektionswinkeln durchdringt und auf den Strahlungsdetektor **6** trifft. Aus den dabei auftretenden Ausgangssignalen des Strahlungsdetektors **6** bildet ein Datenverarbeitungsgerät **10** Messwerte, die einem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** des Computertomographen zugeführt sind. Der Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** berechnet daraus ein Bild von einem sich in dem Messfeld **9** befindenden, nicht explizit dargestellten Patienten. Das Datenverarbeitungsgerät **10** ist über eine Datenstrecke **12**, die in nicht dargestellter Weise

beispielsweise ein Schleifringssystem oder eine drahtlose optische Übertragungsstrecke enthält, mit dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** verbunden. Auch die elektrischen Anschlüsse der Röntgenstrahlenquelle **5** und des Strahlungsdetektors **6** können in an sich bekannter Weise über Schleifringe bewerkstelligt sein.

**[0073]** Um aus den Messwerten Bilder rekonstruieren zu können, ist an dem Gehäuse **3** des Computertomographen ein Positionsaufnehmer **13** angeordnet, der im Betrieb des rotierbaren Teils **2** die Position dieses Teils **2** relativ zum Gehäuse **3** erfasst und diese Information mittels einer Leitung **14** dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** übermittelt.

**[0074]** Bei der Fertigung des Computertomographen entstehen in der Regel Unwuchten im rotierbaren Teil **2** sowohl radial als auch axial zur Rotationsachse **4**, so dass das rotierbare Teil **2** und das Messsystem nicht exakt bezüglich ihrer Rotationsachse **4** rotieren. Derartige Unwuchten entstehen auch im Laufe des Betriebs des Computertomographen, beispielsweise durch Veränderungen des Kühlmittels in der Kühleinrichtung **7** oder durch Zubau oder Austausch elektronischer oder anderer Komponenten auf dem rotierbaren Teil **2**. Derartige Unwuchten sind unerwünscht, da sie zu unscharfen, mit dem Computertomographen hergestellten Bildern oder auch zu einer Beschädigung der mechanischen Aufhängung führen.

**[0075]** Die Vorrichtung **1** weist als Mittel zum Ermitteln der Unwucht und als Mittel zum Berechnen einer die Unwucht ausgleichenden Masse und optional einer Position dieser Masse mehrere als Schwingbeschleunigungsaufnehmer ausgebildete Messaufnehmer **16** auf, die über Leitungen **17** mit dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** in Verbindung stehen. Einer der Messaufnehmer **16** erfasst während der Rotation des rotierbaren Teils **2** resultierende Schwingungen in radialer Richtung, wogegen ein anderer Messaufnehmer **16** die während der Rotation des rotierbaren Teils **2** sich in axialer Richtung ergebenden Schwingungen erfasst.

**[0076]** Dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11**, auf welchem eine Auswucht-Software installiert ist, ist über eine Leitung **19** ein Monitor **18** zugeordnet, auf welchem das Ergebnis einer Unwuchtermittlung anzeigbar ist. Zum Abspeichern eines solchen Ergebnisses ist ein Speicher **22** vorhanden.

**[0077]** Der Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** ermittelt die Unwucht des rotierbaren Teils **2** automatisch jedes Mal, wenn der Computertomograph in Betrieb geht.

**[0078]** Hinsichtlich Einzelheiten der Mittel zum Er-

mitteln einer Unwucht und der Mittel zum Berechnen einer die Unwucht ausgleichenden Masse wird auf DE 101 08 065 A1 verwiesen, deren Offenbarungsgehalt in die vorliegende Anmeldung explizit miteinbezogen wird.

**[0079]** Entlang des Umfangs des rotierbaren Teils **2** ist ein als biegsamer Schlauch ausgebildeter Ringkanal **31** angebracht, der dem Ausgleich einer in der [Fig. 1](#) nicht explizit dargestellten Unwucht dient. Durch die Biegsamkeit des Ringschlauches ist es möglich, diesen um eine beispielhaft eingezeichnete Komponente **32** herumzulegen. Dies ist bei dem dargestellten Computertomographiegerät von besonderem Vorteil, weil hierbei auf dem rotierbaren Teil (Gantry) **2** eine Vielzahl elektrischer und mechanischer Komponenten angeordnet sein muss.

**[0080]** An dem rotierbaren Teil **2** sind ferner zwei mit einer rheologischen Flüssigkeit **F** gefüllte Vorratsbehälter **33**, **35** angebracht. Diese liegen einander bezüglich der Rotationsachse **4** symmetrisch und in gleichem Abstand gegenüber. Die Vorratsbehälter **33**, **35** liegen bezüglich des Ringkanals **31** radial weiter innen, so dass in vorteilhafter Weise eine eventuell durch die Vorratsbehälter **33**, **35** erzeugte Unwucht von vorneherein gering gehalten wird. Bei exakt symmetrischer Ausführung der beiden Vorratsbehälter **33**, **35** und bei deren symmetrischem Betrieb ist jedoch auch ein Montageort möglich, der radial bezüglich des Ringkanals **31** weiter außen liegt.

**[0081]** Die Vorratsbehälter **33**, **35** stehen über von dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** hinsichtlich des Öffnens und Schließens betätigbare Verschlusselemente **37**, **39** mit dem Ringkanal **31** in Verbindung, so dass zwischen den Vorratsbehältern **33**, **35** und dem Ringkanal **31** ein Flüssigkeitsaustausch – beispielsweise getrieben von der Schwerkraft oder von der Zentrifugalkraft – stattfinden kann. Der Ringkanal **31** ist mittels eines als Ringspule ausgestalteten Feldmittels **41** im Inneren mit einem nicht zum Umfang der Erfindung gehörenden Magnetfeld beaufschlagbar, so dass eine in den Ringkanal **31** injizierte nicht zum Umfang der Erfindung gehörende magnetorheologische Flüssigkeit (**F**) dadurch verfestigbar ist. Die Ringspule ist entlang des gesamten Umfangs des Ringkanals **31** kontinuierlich um diesen herum gewickelt und über eine Leitung **43** mit dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** verbunden. Auf diese Weise ist in dem Ringkanal **31** ein entlang seines Umfangs weitestgehend homogenes Magnetfeld erzeugbar.

**[0082]** Der Ringkanal **31**, die Vorratsbehälter **33**, **35** mit ihren Verschlusselementen **37**, **39** sowie die Feldmittel **41** bilden insgesamt eine Ausgleichseinrichtung **45** zur Verminderung der besagten Unwucht. Zur Verminderung der Unwucht wird zunächst mittels des Messaufnehmers **16** eine Masse **m** einer die Un-



wucht ausgleichenden Flüssigkeitsmenge ermittelt und die entsprechende Menge einer magneto-rheologischen Flüssigkeit (F) in den Ringkanal **31** zu gleichen Teilen aus den Vorratsbehältern **33**, **35** heraus in den Ringkanal **31** eingebracht. Der rotierbare Teil **2** der Vorrichtung **1** wird dann in schnelle Rotation versetzt. Die Rotationsfrequenz wird mindestens bis zur Resonanzfrequenz erhöht, welche zuvor während eines Hochlaufens beispielsweise mittels der Messaufnehmer **16** ermittelt wurde. Ab der Resonanzfrequenz ändert sich die Phasenlage der als Flüssigkeit (F) eingebrachten Ausgleichsmasse gegenüber der Unwucht um  $180^\circ$  und die Ausgleichsmasse wandert selbsttätig an eine zum Ausgleich der Unwucht erforderliche azimutale Position, die im idealisierten Fall genau diametral gegenüber einer ermittelten (punktuellen) Unwuchtmasse liegt. Nachdem dieser Prozess abgeschlossen ist, wird durch Beaufschlagen des Feldmittels **41** mit elektrischem Strom die Flüssigkeit (F) einem Magnetfeld ausgesetzt. Dabei wandelt sich die Flüssigkeit in eine gelatinöses, festeres Medium um ("härtet aus") und bleibt dauerhaft an der benötigten Position.

**[0083]** Die Vorrichtung **1** ist nun in einem ausgewuchteten Zustand und betriebsbereit.

**[0084]** [Fig. 2](#) zeigt ein zweites Beispiel einer Vorrichtung, bei welcher aus Gründen der besseren Darstellbarkeit im Wesentlichen nur noch die Ausgleichseinrichtung **45** gezeigt ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist anstelle von zwei Vorratsbehältern ein ringförmiger Vorratsbehälter **47** vorhanden, der radial bezüglich des als Ringrohr ausgebildeten Ringkanals **31** weiter innen, konzentrisch auf der Rotationsachse **4** angebracht ist und einen geringeren Durchmesser als der Ringkanal **31** aufweist. Der Vorratsbehälter **47** steht über ein in gleicher Weise wie die Verschlusselemente gemäß [Fig. 1](#) funktionierendes Steuerventil oder Verschlusselement **49** mit dem radialsymmetrischen Ringkanal **31** in Verbindung.

**[0085]** Als Feldmittel **41** zur Beaufschlagung des Inneren des Ringkanals **31** mit einem elektrischen Feld ist entlang des Umfangs des Ringkanals **31** eine Vielzahl gesondert ansteuerbarer Feldelemente **51** aufgereiht. Dadurch ist es möglich, das Feld im Ringkanal **31** mit entlang seines Verlaufs veränderlicher Stärke zu erzeugen. Die Feldelemente **51** sind beispielsweise als Kondensatoren ausgebildet und einzeln oder segmentweise schaltbar.

**[0086]** Zum Ausgleich einer schematisch angedeuteten idealisierten Unwucht **61** wird mittels des Messaufnehmers **16** und des dessen Daten auswertenden Computers **11** zunächst eine Masse  $m$  einer die Unwucht **61** ausgleichenden elektro-rheologischen Flüssigkeitsmenge sowie auch die Position **63** dieser Flüssigkeitsmenge ermittelt. Anschließend wird der Vorratsbehälter **47** mit seinem Verschlusselement **49**

in der geodätisch tiefstliegenden Stelle positioniert, so dass nach einem Öffnen des Verschlusselements **49** die elektro-rheologische Flüssigkeit  $F$  selbsttätig aus dem Vorratsbehälter **47** in den Ringkanal **31** fließt. Über eine Zeitsteuerung des Verschlusselements **49** wird dabei gewährleistet, dass die injizierte Flüssigkeitsmenge der zuvor ermittelten Masse  $m$  entspricht. Der Ringkanal **31** ist nur teilweise gefüllt. Zur Unterstützung der Flüssigkeitsinjektion kann eine nicht dargestellte Pumpe vorhanden sein, die vom Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** gesteuert wird.

**[0087]** Als nächster Schritt wird – wie in [Fig. 3](#) dargestellt – der rotierbare Teil **2** der Vorrichtung **1** derart positioniert, dass die in den Ringkanal **31** eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit  $F$  selbsttätig an die ermittelte Position **63** fließt. Dies geschieht dadurch, dass die ermittelte Position **63** an die tiefste Stelle (6-Uhr-Position) gebracht wird. In diesem Zustand wird nun mittels der Feldmittel **41** die im Ringkanal **31** befindliche elektro-rheologische Flüssigkeit  $F$  mit einem elektrischen Feld beaufschlagt. Hierbei genügt es, dass diejenigen Feldelemente **51a**, **51b**, **51c**, **51d**, **51e** aktiviert werden, welche auf die elektro-rheologische Flüssigkeit  $F$  im Ringkanal **31** einwirken können. Durch die Feldeinwirkung verfestigt sich die elektro-rheologische Flüssigkeit  $F$  an der gewünschten Stelle. Dabei ist es über die genaue Anzahl der aktivierten Feldelemente als zusätzlicher Freiheitsgrad möglich, die Menge der ausgleichenden Flüssigkeit noch genau abzustimmen. Beispielsweise könnte nach einem Testlauf die Steuerungs-Software entscheiden, die randseitigen Elemente **51a**, **51e** abzuschalten, so dass vor dem nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung **1** ein verbliebener nicht verfestigter Anteil der elektro-rheologischen Flüssigkeit  $F$  aus dem Ringkanal **31** entfernbar ist. Hierzu kommen beispielsweise die im Zusammenhang mit [Fig. 7](#) beschriebenen Vorgehensweisen in Frage.

**[0088]** Nachdem in dem in [Fig. 3](#) beschriebenen Zustand die Feldelemente **51a** bis **51e** aktiviert wurden, ist die Vorrichtung **1** betriebsbereit.

**[0089]** Im nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung **1**, wie er in [Fig. 4](#) dargestellt ist, bleiben die Feldelemente **51a** bis **51e** aktiviert und der rotierbare Teil **2** ist in schnelle Rotation versetzt. Die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit  $F$  bleibt dabei stets an der zuvor ermittelten Position **63**, also diametral gegenüber der Unwucht **61**. Die Vorrichtung **1** ist ausgewuchtet.

**[0090]** Alternativ zu der vorstehend beschriebenen Vorgehensweise, bei welcher die Flüssigkeit  $F$  im Wesentlichen durch die 6-Uhr-Position azimutal positioniert wurde, ist auch eine durch die Zentrifugalkraft gestützte Vorgehensweise möglich: Hierbei wird,

nachdem die elektro-rheologische Flüssigkeit F in großer Menge in den Ringkanal **31** eingebracht wurde und dieser beispielsweise ganz oder fast ganz gefüllt ist, der rotierbare Teil **2** derart in Rotation versetzt, dass sich die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit F infolge der Zentrifugalkraft gleichmäßig entlang des Ringkanals **31** verteilt. Da zuvor – wie bei der ersten Vorgehensweise beschrieben, die zum Ausgleich nötige Masse m, aber auch die Position **63** dieser Masse m ermittelt wurde, an welcher die elektro-rheologische Flüssigkeit zu verfestigen ist und im nachfolgenden Dauerbetrieb zu verbleiben hat, können nun die an dieser Position **63** befindlichen Feldelemente **51a** bis **51e** selektiv aktiviert werden. Die über den Umfang des Ringkanals **31** verteilte elektro-rheologische Flüssigkeit F wird dann nur in einem bestimmten Sektor verfestigt. Dabei kann der Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** ermitteln, wieviele von den Feldelementen **51a** bis **51e** aktiviert werden müssen, um ein bestimmtes Wirkvolumen des Feldes zu erreichen und somit die gewünschte zuvor bestimmte Masse m der elektro-rheologischen Flüssigkeit F zu verfestigen. Alternativ oder zusätzlich ist auch die Stärke der Aktivierung der einzelnen Feldelemente zur Auswahl der gewünschten Flüssigkeitsmenge m heranziehbar.

**[0091]** Nach derart lokaler Verfestigung der elektro-rheologischen Flüssigkeit F wird vor dem nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung **1** der an den nicht aktivierten Umfangsstellen des Ringkanals **31** verbliebene nicht verfestigte Anteil der elektro-rheologischen Flüssigkeit F aus dem Ringkanal **31** entfernt. Danach ist die Vorrichtung **1** ausgewuchtet und betriebsbereit.

**[0092]** Bei dem in [Fig. 5](#) dargestellten dritten Beispiel (Darstellung nur in Schnittebene parallel zur Rotationsebene) einer Vorrichtung **1** ist zusätzlich zu dem ersten Ringkanal **31** ein weiterer Ringkanal **71** gleichen Durchmessers vorhanden, der konzentrisch zu dem ersten Ringkanal **31** und in Richtung der Rotationsachse **4** von diesem beabstandet angeordnet ist. Der Vorratsbehälter **47** ist bei diesem Beispiel, wie auch bei dem Beispiel gemäß den [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#), als Hohlzylinderring ausgebildet. Er steht über gesonderte Verschlusselemente **49**, **73** mit dem jeweiligen Ringkanal **31** bzw. **71** in Verbindung. Die Anordnung mehrerer Ringkanäle **31**, **71** hat den Vorteil, dass – neben einer azimuthalen Unwucht – auch eine in Richtung der Rotationsachse **4** auftretende axiale Unwucht ausgleichbar ist. Voraussetzung hierfür ist, dass der Messaufnehmer **16** (siehe [Fig. 1](#)) zur Ermittlung von Unwuchten in beiden Richtungen ausgebildet ist, beispielsweise durch zwei gesonderte Sensoren.

**[0093]** Jedem der Ringkanäle **31**, **71** ist eine Reihe **75** bzw. **77** von entlang des Umfangs des jeweiligen Ringkanals **31** bzw. **71** aufgereihten Feldelementen

zugeordnet (siehe [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#)).

**[0094]** Im Übrigen ist das Beispiel gemäß [Fig. 5](#) weitgehend mit dem Beispiel gemäß den [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) identisch.

**[0095]** Eine Abwandlung des Beispiels gemäß [Fig. 5](#) ist mit einem vierten Beispiel in [Fig. 6](#) dargestellt. Bei diesem Beispiel sind insgesamt fünf Ringkanäle **31**, **71**, **81**, **83**, **85** in Richtung der Rotationsachse **4** lückenlos nebeneinander angeordnet. Jeder der Ringkanäle **31**, **71**, **81**, **83**, **85** steht über ein gesondertes, gesondert ansteuerbares Verschlusselement mit dem ringförmigen Ausgleichsbehälter **47** in Verbindung. Außerdem ist jedem Ringkanal **31**, **71**, **81**, **83**, **85** eine gesonderte Reihe von Feldelementen **75**, **77**, **87**, **89**, **91** zugeordnet. Mit der Ausgleichsvorrichtung **45** gemäß [Fig. 6](#) ist ein besonders feines Auswuchten möglich.

**[0096]** In den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) ist jeweils im wesentlichen nur die Ausgleichsvorrichtung **45** der Vorrichtung **1** dargestellt.

**[0097]** Bei dem in [Fig. 7](#) dargestellten fünften Beispiel, das in großen Teilen mit dem Beispiel gemäß den [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) identisch ist, sind zunächst zwei alternative oder parallele Möglichkeiten zum Entfernen überschüssiger elektro-rheologischer Flüssigkeit F im Ringkanal **31** gezeigt:

a) Von dem Ringkanal **31** führt ein Leitungselement **95** radial nach außen in einen Abflussbehälter **96**. In der gezeichneten Position des rotierbaren Teils **2** würde somit eine im Ringkanal **31** befindliche elektro-rheologische Flüssigkeit F unter dem Einfluss der Schwerkraft in das Leitungselement **95** und den Abflussbehälter **96** fließen. Nachdem dies geschehen ist, wird das rotierbare Teil **2** um 180° gedreht, so dass der Abflussbehälter **96** in der 12-Uhr-Position zu liegen kommt. In dieser Position fließt die im Abflussbehälter **96** befindliche elektro-rheologische Flüssigkeit selbsttätig unter dem Einfluss der Schwerkraft durch eine Leitungsverbindung **97** zurück in den Vorratsbehälter **47**. Um diesen Betriebsmodus zu gewährleisten, sind von dem Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11** ansteuerbare Ventile **98**, **99**, **100** vorhanden.

b) An den Ringkanal **31** kann eine der Vorrichtung **1** zugeordnete Vakuumpumpe oder Saugpumpe **101** angeschlossen oder anschließbar sein, mit Hilfe deren die überschüssige elektro-rheologische Flüssigkeit F aus dem Ringkanal **31** entfernbar ist.

**[0098]** Gemäß [Fig. 8](#) besteht jedes der als Feldmittel **41** dienenden und entlang des Ringkanals **31** bzw. **71**, **81**, **83**, **85** aufgereihten Feldelemente **51** aus zwei jeweils gesondert mit elektrischer Spannung beaufschlagbaren Elektroden **103**, **104**. Die an die Au-

ßenkontur des Ringschlauchs oder Ringrohres formmäßig angepassten Elektroden **103**, **104** sind möglichst großflächig und die Außenoberfläche des Ringrohres oder Ringschlauches möglichst umfassend bedeckend ausgebildet. Die Beaufschlagung der Elektroden **103**, **104** mit elektrischer Spannung geschieht gesteuert vom Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11**.

**[0099]** An Stelle der elektro-rheologischen Flüssigkeit gemäß der Erfindung könnte auch eine nicht zum Umfang der Erfindung gehörende magneto-rheologische Flüssigkeit verwendet werden. In diesem Fall müssten gemäß [Fig. 9](#) die Feldelemente **51** zur Beaufschlagung der Flüssigkeit (F) mit einem Magnetfeld ausgebildet sein. Jedes der Feldelemente **51** umfasst eine um den Ringschlauch oder die Ringröhre gewickelte Spule **105** mit mehreren Windungen. Die Beaufschlagung jeder Spule **105** geschieht gesteuert durch den Steuerungs- und Bildverarbeitungscomputer **11**.

**[0100]** Um eine Wiederverflüssigung der in den Ringkanal **31**, **71**, **81**, **83**, **85** eingebrachten Flüssigkeit (F) bei Ausfall des Stromnetzes oder der Stromversorgung oder bei Unterbrechung der stromzuführenden Leitungen zu vermeiden, ist es vorteilhaft, jedes der Feldelemente **51** als einen gesonderten Permanentmagneten **106** und eine hierauf wirkende gesonderte Spule **108** umfassend aufzubauen. Diese Variante ist in [Fig. 7](#) angedeutet. Jede der Spulen **108** ist derart ausgebildet, dass hiervon der zugehörige Permanentmagnet **106** magnetisierbar und entmagnetisierbar ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verminderung einer Unwucht (**61**) an einer um eine Rotationsachse (**4**) rotierbaren Vorrichtung (**1**), wobei die Vorrichtung (**1**) einen flüssigkeitsbefüllbaren, auf der Rotationsachse (**4**) zentrierten Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) aufweist, wobei – eine Masse (m) einer die Unwucht (**61**) ausgleichenden Flüssigkeitsmenge ermittelt wird, – in den Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) die Flüssigkeit in einer Menge eingebracht wird, so dass für den nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung (**1**) eine von der ermittelten Masse (m) abhängige Menge an Flüssigkeit (F) im Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) vorhanden ist, – die Flüssigkeit eine elektro-rheologische Flüssigkeit (F) ist, und – für den nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung (**1**) die Viskosität der eingefüllten elektro-rheologischen Flüssigkeit (F) durch Einwirkung eines elektrischen Feldes erhöht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die elektro-rheologische Flüssigkeit (F) in dem elektrischen Feld polarisierbare Partikel enthält.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem während der Betriebszeit, der Lebensdauer, der Standzeit oder der Verfügbarkeitszeit der Vorrichtung (**1**) die Schritte zur Verminderung der Unwucht wiederholt werden, um eine zwischenzeitlich veränderte Unwucht (**61**) auszugleichen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Vorrichtung (**1**) in derart schnelle Rotation versetzt wird, insbesondere mit einer Rotationsfrequenz oberhalb der Resonanzfrequenz, dass sich die in den Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit (F) selbstständig an eine zum Ausgleich der Unwucht (**61**) erforderliche azimutale Position bewegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem zusätzlich zu der Masse (m) auch die Position der die Unwucht (**61**) ausgleichenden elektro-rheologischen Flüssigkeit ermittelt wird, und dass die in den Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit (F) unter Verwendung der ermittelten Position in azimutaler Richtung im Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) positioniert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem bei einer nicht-vertikalen Rotationsachse (**4**) der rotierbaren Vorrichtung (**1**) die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit (F) an die ermittelte Position gebracht wird, indem die Vorrichtung (**1**) derart positioniert wird, dass sie mit der ermittelten Position in der geodätisch tiefsten Stelle zu liegen kommt, so dass sich die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit (F) dort sammelt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem – die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit (F) entlang des Ringkanals (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) verteilt wird, vorzugsweise Zentrifugalkraft-getrieben bei in Rotation versetzter Vorrichtung (**1**) und/oder – insbesondere druckgetrieben – durch weitestgehend vollständiges Befüllen des Ringkanals (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**), und – die eingebrachte elektro-rheologische Flüssigkeit (F) an der ermittelten Position durch Einwirkung des elektrischen Feldes lokal verfestigt wird, wobei das Feld in einer der ermittelten Masse (m) äquivalenten Stärke und/oder mit einem der ermittelten Masse (m) äquivalenten Wirkvolumen auf die elektro-rheologische Flüssigkeit (F) einwirkt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem nach lokaler Verfestigung der elektro-rheologischen Flüssigkeit (F) und vor dem nachfolgenden Betrieb der Vorrichtung (**1**) ein verbliebener nicht verfestigter Anteil der elektro-rheologischen Flüssigkeit (F) aus dem Ringkanal (**31**; **71**; **81**, **83**, **85**) entfernt wird.

9. Verwendung einer elektro-rheologischen Flüssigkeit (F) zur Verminderung einer Unwucht an einer

rotierbaren Vorrichtung (1).

10. Verwendung nach Anspruch 9, wobei die elektro-rheologische Flüssigkeit (F) eine Basisflüssigkeit aufweist, in welcher in einem elektrischen Feld polarisierbare Partikel verteilt sind.

11. Verwendung nach Anspruch 9 oder 10, wobei die elektro-rheologische Flüssigkeit (F) als vorzugsweise nicht-kolloidale Suspension ausgebildet ist.

12. Verwendung nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Partikel eine Größe aus dem Bereich von 0,1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  aufweisen.

13. Verwendung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Partikel überwiegend aus einem Zeolith, einer Elektrokeramik, einem elektronenleitenden Polymer, einem beschichteten Metall, aus Zellulose und/oder aus Stärke bestehen.

14. Verwendung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei die Basisflüssigkeit überwiegend aus einem chlorierten Kohlenwasserstoff und/oder einem insbesondere synthetischen oder silicon-basierten Öl besteht.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

FIG 1

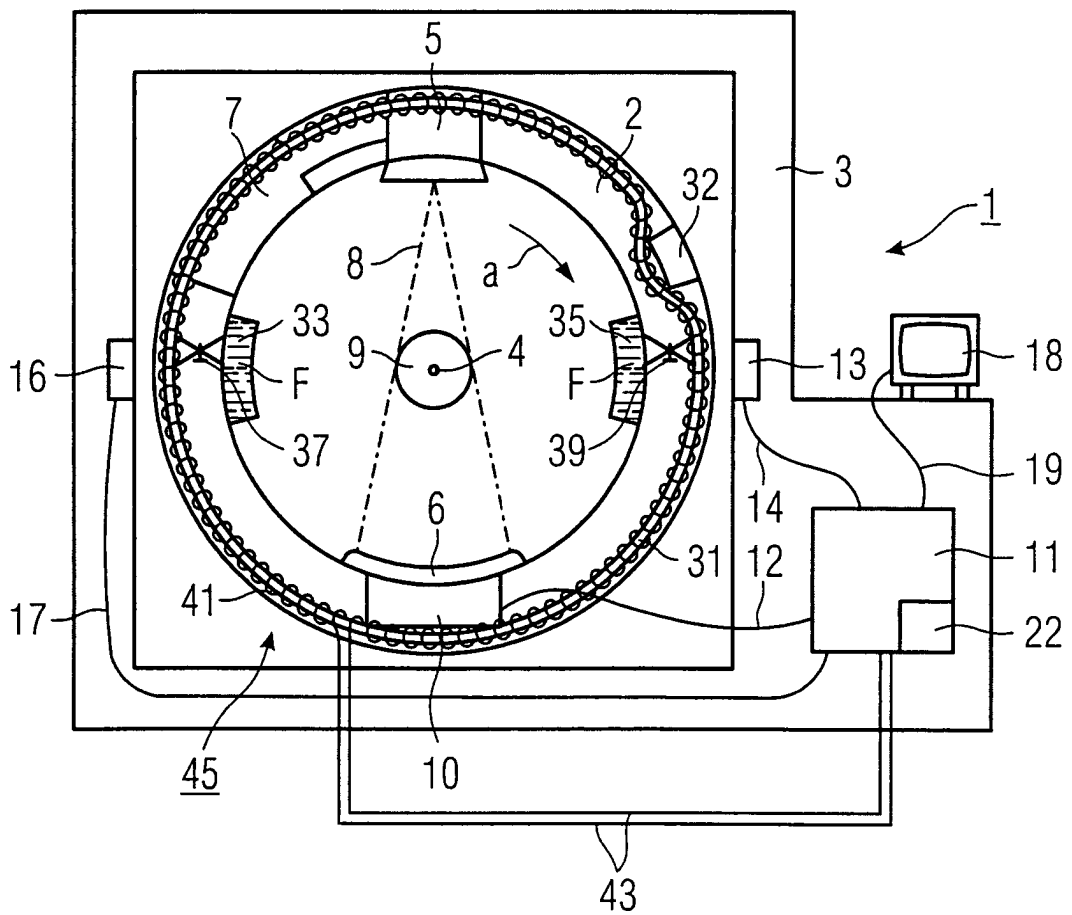


FIG 2

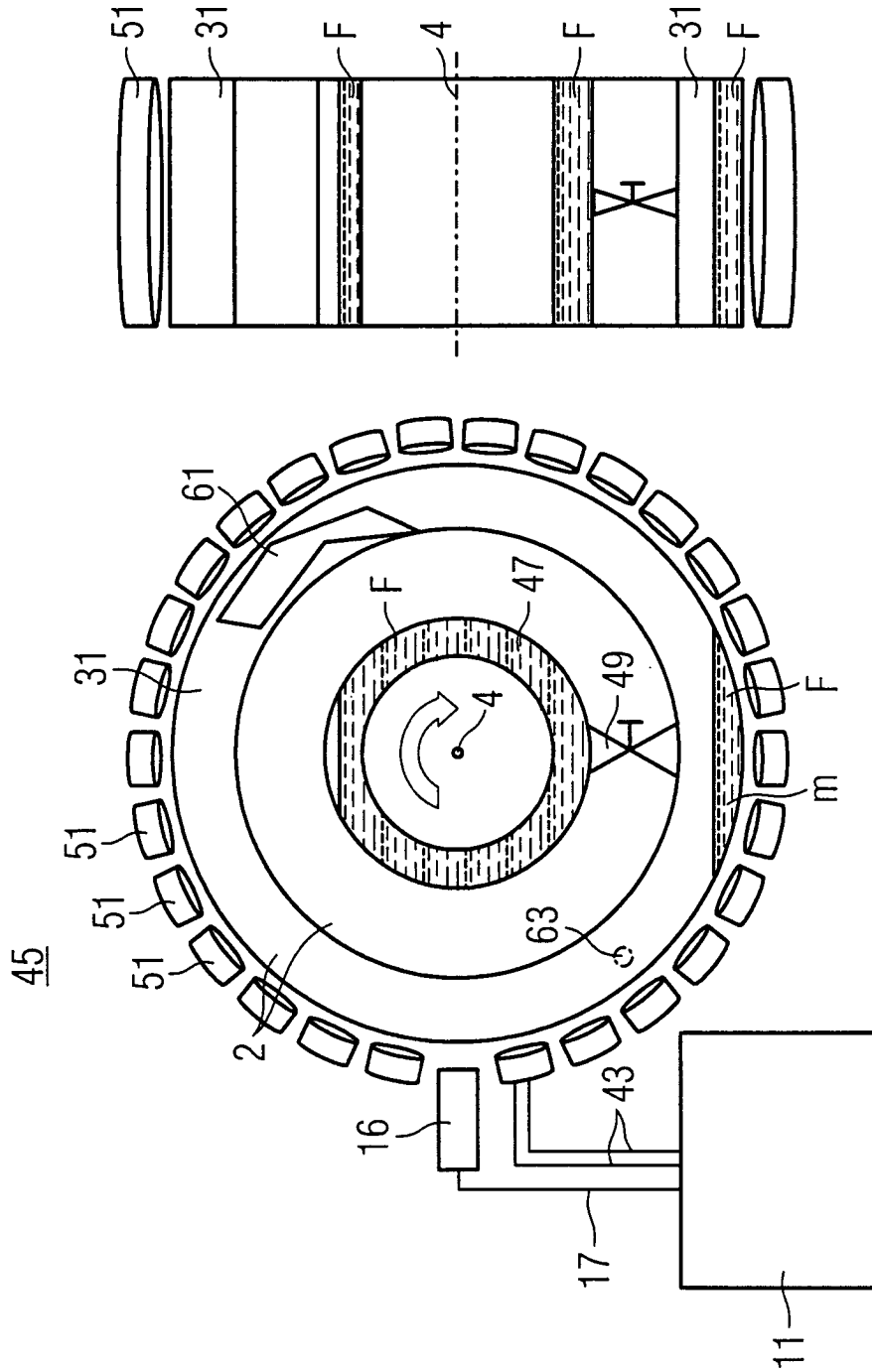


FIG 3

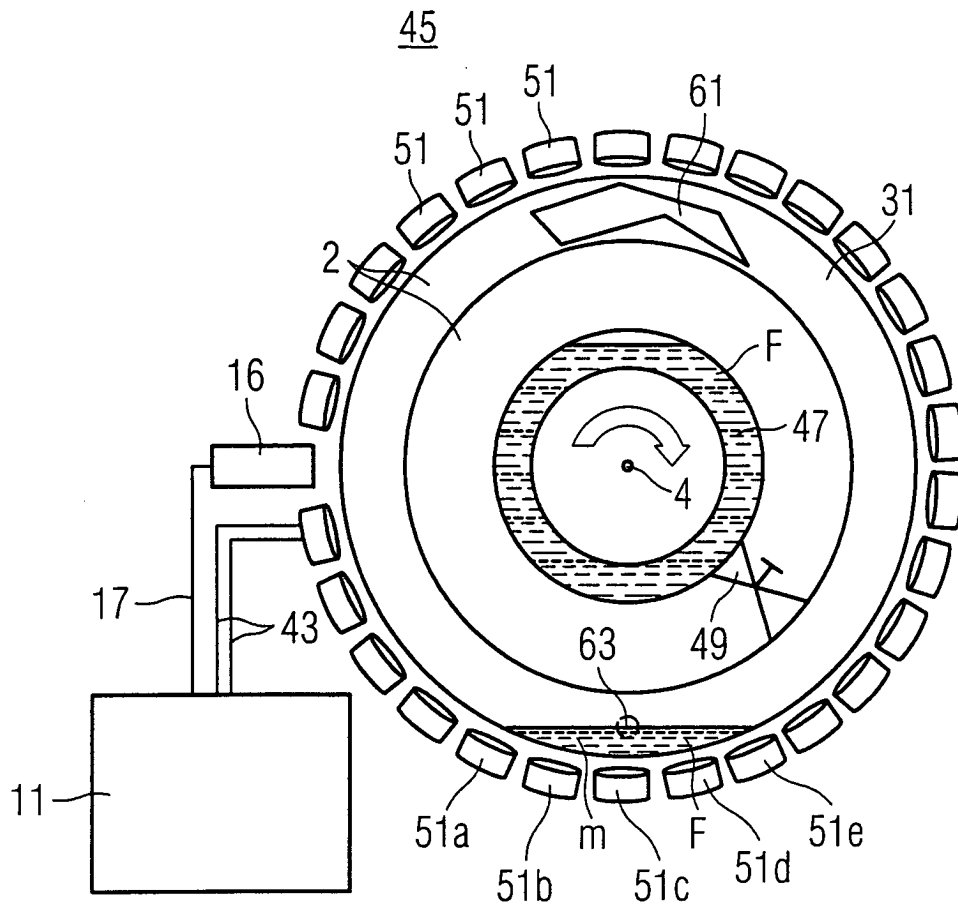


FIG 4

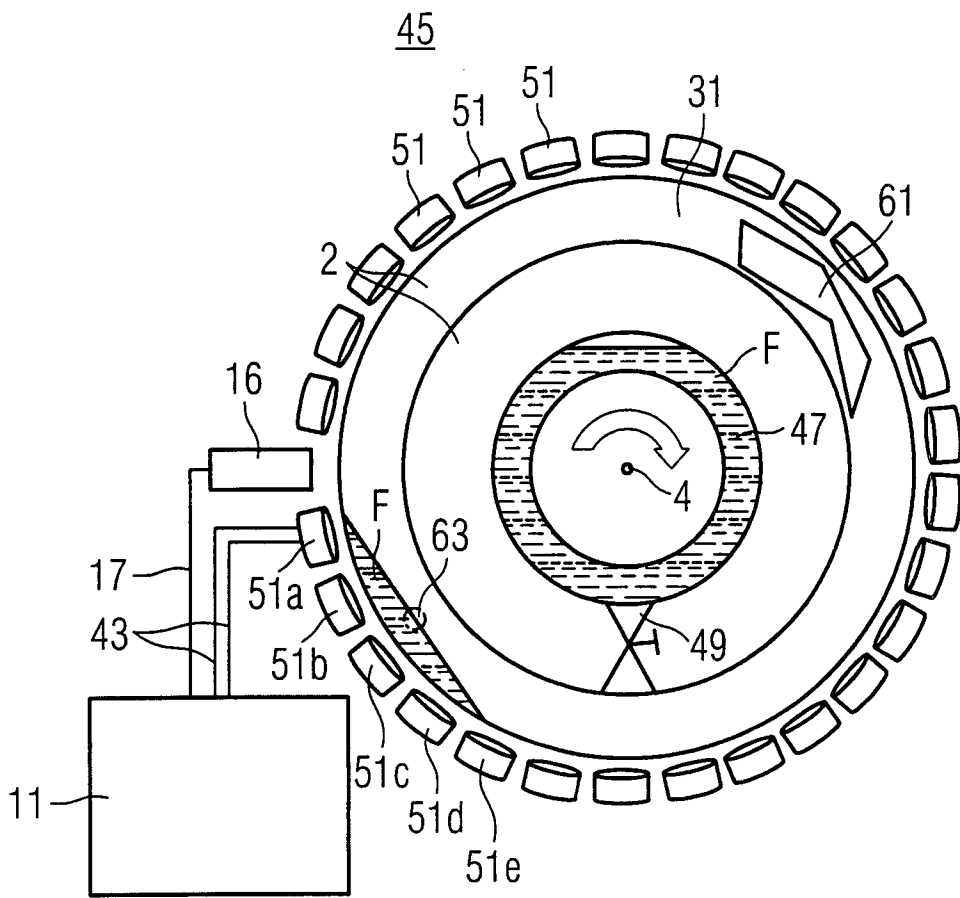




FIG 5

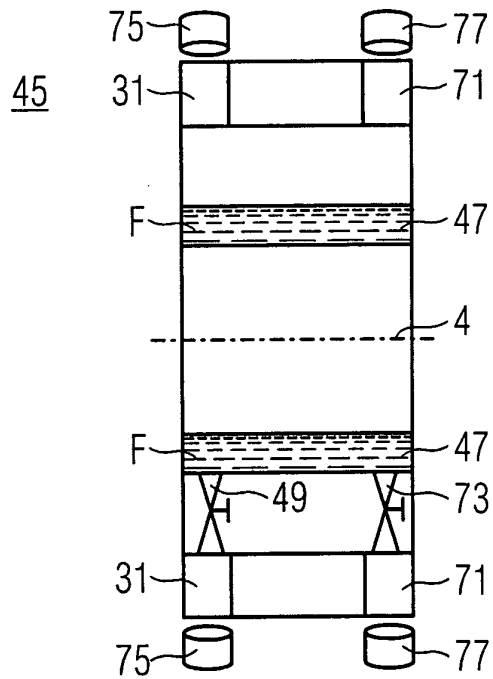


FIG 6

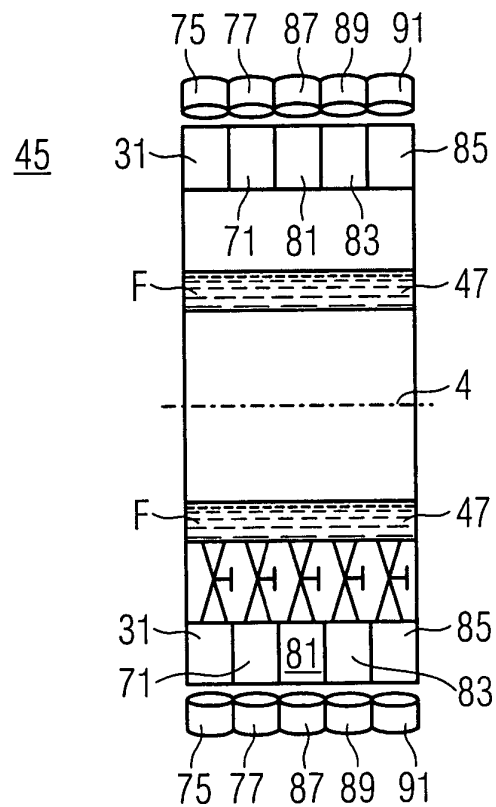


FIG 7

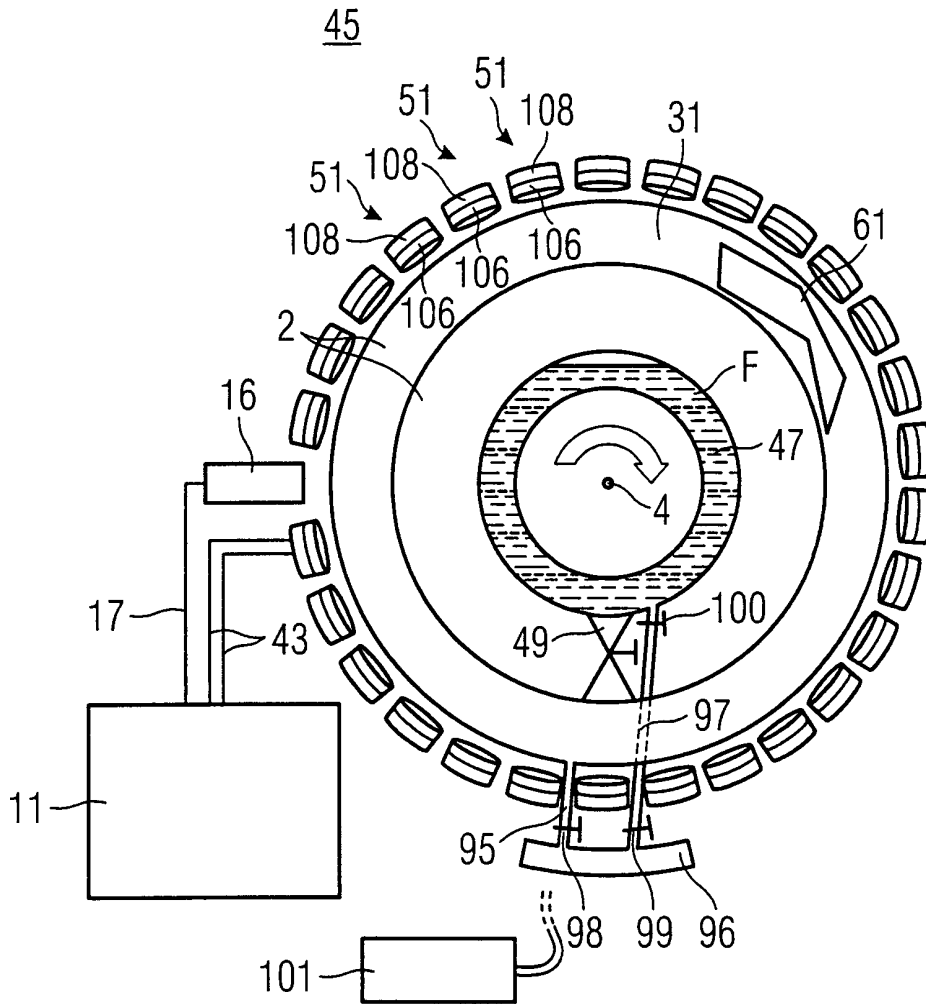


FIG 8

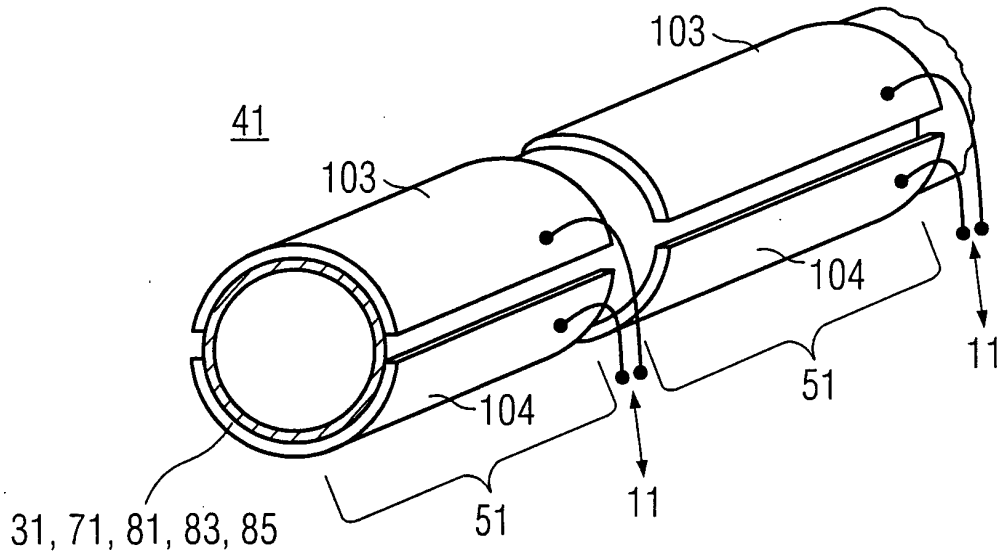


FIG 9

