



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 47 793 B4** 2005.09.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 47 793.3**
(22) Anmeldetag: **18.09.2000**
(43) Offenlegungstag: **07.06.2001**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.09.2005**

(51) Int Cl.⁷: **G01N 11/14**
G01B 7/14

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
1634/99 24.09.1999 AT

(71) Patentinhaber:
Anton Paar GmbH, Graz, AT

(74) Vertreter:
Meissner & Meissner, 14199 Berlin

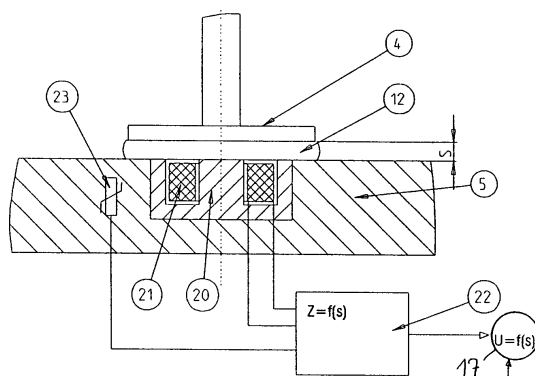
(72) Erfinder:
Raffer, Gerhard, Graz, AT

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 34 23 873 A1
GB 23 29 253 A
US 53 49 841

(54) Bezeichnung: **Rotationsrheometer**

(57) Hauptanspruch: Rotationsrheometer mit einem Messmotor (1), der einen ersten Messteil (4) tragende Messwelle (16) rotiert, wobei zwischen diesem ersten Messteil (4) und einem weiteren, feststehenden Messteil (5) ein Messspalt (S) ausgebildet ist, in den die zu untersuchende Substanz (12), insbesondere Flüssigkeit, eingebracht wird, wobei die Dicke des Messspaltes (S) durch eine Verstellung der beiden Messteile (4, 5) relativ zueinander einstellbar ist, und wobei eine Einrichtung zur Bestimmung des gegenseitigen Abstandes der beiden Messteile vorhanden ist, wobei

– zur berührungslosen Bestimmung und/oder zur Einstellung und/oder zur Konstanthaltung der Dicke des Messspaltes (S) von dem weiteren Messteil (4, 5) zumindest ein induktiver oder zumindest ein magnetischer Wegsensor (19, 21) getragen ist, so
– dass mit dem ersten Messteil (4) oder mit einer auf diesem Messteil (4) angeordneten Einrichtung (18) der auf dem weiteren Messteil (5) angeordnete Wegsensor (19, 21) abhängig vom Abstand der beiden Messteile (4, 5) das Ausgangssignal dieses...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Rotationsrheometer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Stand der Technik

[0002] Der prinzipielle Aufbau von Rotationsrheometern ist beispielsweise aus dem österreichischen Patent 404 192 bekannt. Ein Rotationsrheometer der eingangs genannten Art ist aus der DE 34 23 873 A1 bekannt. Diese Druckschrift beschreibt ein Dreh-Rheometer, dessen Rotor mit einer Probe gekoppelt und in einem Stator mit einem Lagersystem mit geringer Reibung gelagert ist. Erfindungsgemäß ist eine Kompensationsanordnung vorgesehen, welche Drehmomente, die vom Lager auf den Rotor ausgeübt werden, über den vollen Drehbereich des Rotors kompensiert. Außerdem sind Positionswandler vorgesehen, welche die Winkelstellung des Rotors auf einem Drehwinkel von 360° über den vollen Bereich exakt bestimmen können. Weiterhin ist ein Wandler vorgesehen, mit dessen Hilfe die Längsposition des Rotors bezüglich des Stators exakt erfasst werden kann. Nachteilig ist es, dass bei diesem Rheometer die thermische Ausdehnung, die Steifigkeit des Stators und die Temperaturdrift im Stator die Messung beeinflussen.

[0003] Gemäß der Schrift US 5 349 847 ist bei einem Rheometer eine stationäre Probenaufnahme vorgesehen, die magnetisch mit einer Führungseinrichtung verbunden ist. Dadurch werden die Messung störende Rotationen der beweglichen Aufnahme von der Probe ferngehalten, wenn das Rheometer vom statischen in den dynamischen Meßzustand übergeht.

[0004] Die Schrift GB 2 329 253 A offenbart einen Rotationsviskosimeter mit einem Meßmotor, der eine Meßwelle antreibt, die eine in einem Luftlager eines Stators gelagerte Scheibe trägt und mit einer zumindest einen Wegsensor aufweisenden Normalkraftmeßeinrichtung zur Bestimmung von Axialbewegungen der Meßwelle aufgrund viskoelastischer Eigenschaften der zu untersuchenden Substanz. Es ist vorgesehen, dass zur Normalkraftmessung im Bereich des Luftlagers der Wegsensor im Bereich des Luftlagers am Stator angeordnet ist und die in axialer Richtung der Meßwelle erfolgenden Bewegungen der Scheibe gegenüber dem Stator aufnimmt.

Aufgabenstellung

[0005] Ziel der Erfindung ist es, bei diesen grundlegende Prinzipien aufweisenden Rotationsrheometern, den Abstand zwischen den Messteilen nicht indirekt messen zu müssen, d.h. über den Umweg des Abstandes zwischen einem Punkt auf der Messwelle und einem Punkt auf dem Stator bzw. Statur, sondern den Abstand zwischen den den Messspalt S bildenden Messteilen direkt messen und/oder einstellen und/oder konstant halten zu können. Dies ist insofern von Bedeutung, als bereits geringe Änderungen der Dicke des Messspaltes S im Zuge der Messung, z.B. durch Temperaturänderungen, insbesondere des Statives und/oder der Messteile, beträchtlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Messung haben.

[0006] Dieses Ziel wird bei einem Rotationsrheometer der eingangs genannten Art durch die im Kennzeichen des Anspruches 1 angeführten Merkmale erreicht.

[0007] Erfindungsgemäß werden somit berührungslos arbeitende Wegsensoren zur Ermittlung und/oder Einstellung und/oder Konstanthaltung der Dicke des Messspaltes S vorgesehen bzw. von einem der beiden, den Messspalt S begrenzenden Messteilen getragen. Der jeweils andere Messteil trägt den den Wegsensor beeinflussenden Bauteil bzw. beeinflusst selbst den Wegsensor. Die Ausgangssignale der Wegsensoren sind der Auswerteeinheit zugeführt, wobei vorteilhafterweise vorgesehen ist, dass mit den Ausgangssignalen der Auswerteeinheit in Abhängigkeit von den Ausgangssignalen des Wegsensors eine Einrichtung zur Veränderung bzw. Einstellung des Messspaltes durch Höhenverstellung zumindest eines der beiden Messteile gesteuert ist.

[0008] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Merkmale der Ansprüche 2 oder 3 oder 4 gekennzeichnet. Die Merkmale dieser Ansprüche betreffen unterschiedliche Realisierungen bzw. Ausführungsvarianten von Wegsensoren, die eine sehr exakte berührungslose Vermessung der Dicke des Messspaltes S ermöglichen bzw. sehr empfindlich auf Abstandsänderungen der einander gegenüberliegenden Messteile reagieren.

[0009] Die Genauigkeit der erfindungsgemäß eingesetzten Wegsensoren reicht aus, um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen, mit der die Einstellung der Dicke des Messspaltes erfolgen soll. Damit werden die bisher aufgrund mangelnder Genauigkeit bei der Einstellung der Dicke des Messspaltes auftretenden Messfehler

weitgehend eliminiert.

[0010] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Merkmale des Anspruches 5 verwirklicht; damit können weitgehend auf Temperaturschwankungen resultierende Messfehler ausgeschaltet werden. Zur raschen Auswertung sind vorteilhafterweise die Merkmale des Anspruches 9 vorgesehen.

[0011] Die mit den Wegsensoren gemessenen Werte für die Dicke des Messspaltes werden in der Auswerteeinheit mit den Messwerten betreffend das Moment der zu untersuchenden Substanz und allenfalls den Messwerten einer Normalkraftmesseinrichtung verknüpft und zur Berechnung der Viskosität herangezogen.

[0012] Bei einem Rotationsviskosimeter, bei dem eine Probe bzw. Substanz mit der sich durch die Dicke des Messspaltes S ergebenden Höhe h vermessen wird, die sich zwischen einem feststehenden Messteil (Platte) und einem relativ zu diesem rotierenden Messteil (Platte) mit dem Radius R ergibt, gelten für die Schergeschwindigkeit D (1) und die Viskosität η (2) folgende Beziehungen:

$$D_{(R)} = \frac{\omega * R}{h} \dots\dots\dots (1) \qquad \eta = \frac{\tau}{D_{(R)}} = \frac{2 * M}{\pi * R^3} * \frac{1}{D_{(R)}} = \frac{2 * M * h}{\pi * R^4 * \omega} \dots\dots\dots (2)$$

[0013] Bei Vorgabe, z.B. eines konstanten Drehmomentes M, ändert sich bei Veränderung der Höhe h die Winkelgeschwindigkeit ω in gleichem Verhältnis, wodurch die errechnete Viskosität konstant bleibt. Wird jedoch allerdings eine Höhenänderung in der Berechnung nicht berücksichtigt, ergibt sich für die Viskosität η folgender Fehler:

Wird für die Höhe $h' = k \cdot h$ (Fehlerfaktor k) eingesetzt, ergibt sich Gleichung (3) für die tatsächliche Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega' = \frac{D_{(R)} * h'}{R} \dots\dots\dots (3)$$

und Gleichung (4) für die ermittelte Viskosität:

$$\eta = \frac{2 * M * h}{\pi * R^3 * D_{(R)} * h'} = C * \frac{h}{h'} = C * \frac{1}{k} \dots\dots\dots (4)$$

h	gerechnete Probenhöhe [m]
h'	tatsächliche Probenhöhe [m]
$D_{(R)}$	Schergeschwindigkeit am Radius "R" [1/s]
ω	gerechnete Winkelgeschwindigkeit [1/s]
ω'	tatsächliche Winkelgeschwindigkeit [1/s]
τ	Schubspannung [Pa]
M	Drehmoment [Nm]
η	Viskosität [Pa.s]

[0014] Aus obiger Ableitung ist ersichtlich, dass sich bei einem Messfehler der Probenhöhe die Viskosität verkehrt proportional zum Höhenverhältnis ändert, d.h. ein Messfehler in der Höhe um +1% ergibt eine 1-%ige Verringerung der Viskosität. Der Messspalt beträgt in der Regel 1 bis 2 mm, wodurch für einen Viskositätsfehler von < 1% die Bestimmung der Spaltgröße mit einer Genauigkeit von besser 10 μ m bzw. 20 μ m erforderlich ist.

[0015] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung, den Patentansprüchen und der Zeichnung.

Ausführungsbeispiel

[0016] Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert:

[0017] Es zeigen [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) Rotationsrheometer von an sich bekannter Bauart; [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) zeigen Messteile erfindungsgemäßer Rotationsrheometer, die Wegsensoren tragen. Gemäß [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) umfasst ein Rotationsrheometer einen Messmotor 1 mit der speziellen Eigenschaft, dass die Beziehung zwischen dem Drehmoment an der Motorachse und der elektrischen Versorgung bzw. den Versorgungsparametern, insbesondere der Stromaufnahme und/oder der Frequenz und/oder der Phasenlage, in einem bekannten Zusammenhang steht. Dadurch kann während eines Rotationsversuches das Moment einer Probe 12 durch

Messung der Versorgungsparameter bestimmt werden. Die Beziehungen zwischen dem Drehmoment und den Versorgungsparametern werden durch Kalibrieren ermittelt.

[0018] Des weiteren umfasst das Rotationsrheometer einen Winkelencoder **2** zur Bestimmung der Drehposition und der Drehzahl der Welle **16**. Die Welle **16** ist in einem Führungslager **3** gelagert. Je nach Aufbau des Rotationsrheometers und der geforderten Drehmomentauflösung werden Wälzlager oder Luftlager verwendet.

[0019] Als Messsystem bzw. Messteile **4, 5** mit bekannter Geometrie können drei unterschiedliche Systeme eingesetzt werden, nämlich Platte/Platte-Messsysteme, wie sie in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) dargestellt sind oder Kegel/Platte-Messsysteme oder Zylindermesssysteme.

[0020] Das Rotationsrheometer umfasst des weiteren ein Stativ in möglichst formstabiler Ausführung.

[0021] Mit einer Hubeinrichtung kann die Dicke h des Messspaltes S durch Höhenverstellung zumindest eines der Messteile **4, 5** eingestellt werden.

[0022] [Fig. 1](#) zeigt schematisch ein Rotationsrheometer, bei dem die Anordnung bestehend aus Messmotor **1**, Lagerung **3**, Winkelencoder **2** und den als Platten ausgebildeten Messteilen **4** und **5** mit dem Stativ **11** über eine Linearführung **30** verbunden bzw. auf dieser gelagert und relativ zum Stativ **11** verschiebbar sind. Durch ein Antriebssystem bestehend aus einer Spindel **6** mit einem Drucklager **7** und einem Motor **8** und gegebenenfalls mit einem angeflanschten Winkelencoder **9** kann diese Anordnung in vertikaler Richtung relativ zum Stativ **11** bewegt und die Dicke h des Messspaltes S verändert werden.

[0023] [Fig. 2](#) zeigt ein Rotationsrheometer in einer gegenüber [Fig. 1](#) abgeänderten Anordnung, wobei der Messmotor **1**, das Luftlager **3** und der Winkelencoder **2** fest mit dem Stativ **11** verbunden sind. Der Messspalt S wird mit einem Hubtisch **15** eingestellt, welcher axial im Stativ **11** gelagert ist und über eine Spindel **6** mit einem Drucklager **7** und einem Motor **8**, der gegebenenfalls einen angeflanschten Winkelencoder **9** aufweist, angetrieben ist.

[0024] Anstelle des Spindelantriebes, bestehend aus den Bauteilen **6, 7, 8** und **9** können auch andere Linearantriebe verwendet werden, z.B. ein Uhing-Mutter-Antrieb (Wälzmutter), Linearmotoren, pneumatisch angetriebene Verstelleinrichtungen usw.

[0025] Grundsätzlich gibt es drei Versuchsarten:

- a) Die Welle **16** wird mit konstanter Drehzahl beaufschlagt und das Drehmoment wird gemessen.
- b) In diesem Fall wird ein konstantes Moment vorgegeben und die Drehzahl der Welle **16** wird gemessen.
- c) Oszillationsversuch: Bei diesem Versuch wird die Welle **16** mit sinusförmigen (oder andere Wellenform aufweisenden) Drehbewegungen beaufschlagt. Bei dieser Versuchsart kann neben dem viskosen Anteil auch die elastische Komponente der Probe **12** bestimmt werden.

[0026] Wie bereits erwähnt, wird die Erfindung anhand eines Platte/Platte-Messsystems erläutert, bei welchem sich die Probe **12** zwischen einem als feststehende Platte ausgebildeten Messteil **5** und einer als rotierende Platte ausgebildeten Messteil **4** befindet. Dabei kann die rotierende Platte **4** kleinere Abmessungen als die feststehende Platte **5** besitzen und ist üblicherweise oberhalb der feststehenden Platte **5** angeordnet. Auch gleich große Messteile sind einsetzbar. Der untere Messteil ist in der Regel eine Platte.

[0027] Die berechnete Viskosität ändert sich verkehrt proportional zur Probendicke, d.h. ein Messfehler in der Größe von +1% ergibt eine 1%ige Verringerung der Viskosität. Somit ist die Bestimmung eines Messspaltes von z.B. 100 μm mit einer Genauigkeit von besser 1 μm erforderlich.

[0028] Bei einem Kegel/Platte-Messsystem befindet sich die Probe zwischen einem feststehenden Messteil **5**, der von einer Platte gebildet ist und einem rotierenden Messteil **4**, der von einem rotierenden Kegel mit typischen Winkeln gebildet ist. Die Winkel, gemessen zwischen der feststehenden Platte und dem Kegel, betragen z.B. 0,5°, 1° oder 2°. Entsprechend der vorgegebenen Norm sitzt die Kegelspitze an der feststehenden Platte auf. Um die Reibung an diesem Punkt zu verhindern, kann die Kegelspitze um 50 μm abgeflacht und die Höhe derart eingestellt werden, dass die theoretische Spitze des Kegels wiederum auf die feststehende Platte aufsitzt. Bei Kegel/Platte-Messsystemen werden die Anforderungen an die Genauigkeit der Spalteinstellung durch die Kegelgeometrie bestimmt. Bei z. B. einem 1° Kegel mit 25 mm Durchmesser verursacht ein Spaltfehler von 1,5 μm eine Viskositätsänderung von 1%.

[0029] Der Messspalt S kann indirekt mit einem Längenmesssystem **13**, **14**, wie es in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt ist, eingestellt werden, das eine Genauigkeit von $< 1 \mu\text{m}$ aufweist. Als Längenmesssysteme können Aufnehmer mit Widerstandsänderung (Potentiometer), induktive Wegaufnehmer (LVDT), oder inkrementale Wegaufnehmer oder Messuhren eingesetzt werden. Anstelle einer Wegmessung kann ein definierter Messspalt S eingestellt werden, indem die Hubeinrichtung über eine Spindel **6** mit bekannter Steigung durch Messung des Spindelwinkels (Winkencoder **9**) angetrieben wird, wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass diese Systeme die Distanz zwischen der Hubeinrichtung und dem Stativ **11** bestimmen und nicht direkt die Höhe h des Messspaltes S. Unter konstanten Umgebungsbedingungen (konstante Raumtemperatur, konstante und angegliche Proben- und Messsystemtemperatur) können damit Messsystemspalte μ -genau angefahren werden, jedoch zeigen praktische Erfahrungen, dass sich innerhalb der Dauer der rheologischen Vermessung einer Probe die Veränderung des Messspaltes einige 0,1 mm betragen kann, verursacht durch folgende Einflüsse:

- Thermische Ausdehnung sowie mechanische Verwindung des Statives **11** und
- Thermische Ausdehnung des Messteiles **4**, des Messteiles **5** und der Welle **16** (Ein extrem hoher Einfluss ergibt sich bei Verwendung von Temperierkammern mit einem Temperaturbereich von -180° bis 600°C)
- Die Stativsteifigkeit sowie die Steifigkeit der Wellenlagerung **3**, da viskoelastische Substanzen unter Scherung Normalkräfte bis einige 10N generieren.

[0030] Highend-Rheometer verfügen über eine Kompensationseinrichtung, die es ermöglicht, den Spalt über eine empirisch ermittelte Temperatur/Weg-Funktion nachzuregeln und damit konstant zu halten. Aufgrund der meist unbekannten Temperatur-Angleichtszeiten, der Vielzahl von Messgeometrien und der unterschiedlichen Temperierkammern ist in der Praxis eine ausreichend gute Kompensation nicht realisierbar.

[0031] Hier greift nunmehr die Erfindung, die die Dicke h des Messspaltes S nicht wie bei bekannten Rheometern über den Umweg des Statives und der jeweiligen Bauteile feststellt, sondern direkt den Abstand zwischen den Messteilen **4**, **5**, d.h. einer feststehenden Platte und einer rotierenden Platte bzw. einem rotierenden Kegel misst und/oder einstellt und/oder konstant hält.

[0032] [Fig. 3](#) zeigt schematisch den Aufbau eines Rotationsrheometers mit einem induktiven Wegsensor. Die zu untersuchende Substanz bzw. die Probe **12** ist in einem Messspalt S angeordnet, der sich zwischen einem von einer Messplatte gebildeten feststehenden Messteil **5** und einem als Platte oder Kegel ausgeführten Messteil **4** befindet. In dem feststehenden Messteil **5** ist zumindest eine Spule **21** in einen Magnetkern **20** eingebettet.

[0033] Der Magnetkern kann als Schalenkern oder als E- oder U-Kern ausgeführt sein und besteht aus vorzugsweise weichmagnetischem Material, z.B. Weicheisen, Transformatorblech oder Ferrit. Der Magnetkern **20** kann aus geschichteten Blechen, vorzugsweise gegenseitig isoliert, oder aus einem Stück gefertigt sein. Die im Magnetkern bzw. auf diesem angeordneten Spulen **21** sind an die Form des Magnetkerns **20** angepasst.

[0034] Die Vermessung des Messspaltes S beruht auf dem Effekt der Änderung der elektrischen Impedanz Z der zumindest einen Spule **21** im magnetischen Kreis, durch Annäherung des Messteiles **4** an das von der zumindest einen Spule **21** und dem Magnetkern **20** gebildete Sensor- bzw. Magnetsystem. Die Dicke des Messspaltes S und die Impedanz Z der zumindest einen Spule **21** stehen in einem festen Zusammenhang, welcher berechnet oder durch Kalibrieren empirisch ermittelt werden kann. Die Impedanz Z und/oder Teile der Impedanz Z des Magnetsystems werden durch eine dafür geeignete elektrische bzw. elektronische Schaltung **22** gemessen und aus den Messwerten ein Ausgangssignal $Z = f(S)$ gewonnen, das die Impedanz als Funktion der Dicke des Messspaltes S ergibt. Die Schaltung **22** liefert somit ein elektrisches Signal, das in einer bekannten Funktion zur Dicke des Messspaltes S steht; Schaltungsanordnungen zur Messung von Spulenimpedanzen sind dem Fachmann bekannt.

[0035] Die Ausgangssignale der Schaltung **22** werden sodann der Auswerteeinheit **17** zur weiteren Verwendung, insbesondere zur Einregelung bzw. Konstanthaltung des Messspaltes oder zur Auswertung von Messergebnissen bzw. zur Errechnung gewünschter Werte, z.B. Viskositätswerten, zugeführt. Es ist vorgesehen, dass zur Bestimmung des Momentes einer zu untersuchenden Substanz **12** die Beziehung zwischen dem Drehmoment an der Achse des Messmotors **1** und den Versorgungsparametern des Messmotors **1**, insbesondere Stromaufnahme und/oder Frequenz und/oder Phasenlage, bekannt bzw. durch Kalibrierung ermittelt ist und dass diese Beziehung vorteilhafterweise in der Auswerteeinheit **17** gespeichert vorliegt.

[0036] Bei der in [Fig. 3](#) beschriebenen Ausführungsform eines induktiven Wegsensors besteht der Messteil **4** aus einem weichmagnetischen Material und bildet damit einen magnetischen Rückschluss. Der Messteil **4**

könnte auch einen Bauteil aus weichmagnetischem Material tragen bzw. eingebettet aufweisen.

[0037] Als Alternative zu dem beschriebenen Wegsensor könnte ein Wegsensor mit einem offenen magnetischen Kreis vorgesehen werden, ein sogenannter Wirbelstromaufnehmer.

[0038] Der magnetische Kreis besteht in diesem nicht dargestellten Fall aus einem Magnetkern **20** und zumindest einer Spule **21**, wie dies in Zusammenhang mit [Fig. 3](#) beschrieben wurde. Der Messteil **4** besteht aus elektrisch insbesondere gut leitendem, jedoch nicht magnetischem Material oder trägt einen derartig ausgebildeten Bauteil. Die Annäherung des Messteiles **4** bzw. dieses Bauteils an den Magnetkern **20** beeinflusst aufgrund einer durch Wirbelstromverluste verursachten Energieentnahme aus dem Spulensystem die Impedanz Z der zumindest einen Spule **21**. Aus der Änderung der Impedanz Z kann wiederum die Dicke h des Messspaltes S ermittelt werden.

[0039] Derartige Wirbelstromaufnehmer können auch ohne weichmagnetischen Kern ausgeführt werden. Die zumindest eine Spule **21** ist dann direkt in den feststehenden Messteil **5** eingebettet. Der feststehende Messteil **5** ist aus nichtmagnetischem und elektrisch schlecht leitendem Material ausgeführt. Die Ermittlung oder Einstellung oder Konstanthaltung des Messspaltes erfolgt in der oben beschriebenen Weise.

[0040] Als Alternative kann erfindungsgemäß auch ein magnetischer Wegsensor eingesetzt werden. Ein derartiger Wegsensor umfasst einen auf Magnetfelder empfindlich reagierenden Bauteil, z.B. einen Hallsensor oder eine Feldplatte, welche Bauteile unter Einwirkung eines magnetischen Feldes eine Spannungs- oder Widerstandsänderung erfahren.

[0041] [Fig. 4](#) zeigt eine Ausführungsform eines Rheometers, bei dem auf dem rotierenden Messteil **4** ein magnetisch aktiver Bauteil, z.B. ein Dauermagnet **18**, angeordnet bzw. eingebettet ist, dessen Nord/Süd-Polarisierung in der Achse des Messsystems des Rotationsrheometers ausgerichtet ist, wobei die Polarität belanglos ist. Dieser magnetisch aktive Bauteil wirkt auf den magnetfeldempfindlichen Bauteil **19**, sodass eine Änderung des Abstandes zwischen den Messteilen **4** und **5** eine Magnetfeldänderung im Bereich des Bauteiles **19** bewirkt, womit eine Spannungs- oder Widerstandsänderung in diesem Bauteil **19** hervorgerufen wird, die in einer Schaltung **24** detektiert werden kann. Das am Ausgang der Schaltung **24** auftretende, von der Dicke h des Messspaltes S abhängige elektrische Signal wird der Auswerteeinheit **17** zugeführt.

[0042] Allenfalls kann eine optische Anzeige und/oder Speicherung und/oder Weiterverwendung der in der Auswerteeinheit **17** berechneten Messwerte in einer angeschlossenen Einheit **28** erfolgen.

[0043] Wegsensoren, die nach dem Prinzip der Impedanzänderung funktionieren, verändern ihre Impedanz Z nicht ausschließlich in Abhängigkeit von der Dicke des Messspaltes S , sondern auch mit der Sensortemperatur. Die Ursache liegt in der Temperaturabhängigkeit der physikalischen Eigenschaften der verwendeten Materialien, wie z.B. Permeabilität der weichmagnetischen Teile, elektrische Leitfähigkeit, thermische Ausdehnung aller Sensorteile inklusive dem Messteil **4** usw. Bei magnetischen Wegsensoren ist zusätzlich die Temperaturabhängigkeit der hartmagnetischen Werkstoffe und der Magnetfeldsensoren zu berücksichtigen.

[0044] Die Temperatur wird mit einem Temperaturfühler **23**, welcher im Wegsensor **19**, **21** oder möglichst nahe am Wegsensor **19**, **21** platziert ist, gemessen. Der Schaltung **22** bzw. **24** oder der nachfolgenden Auswerteeinheit **17** wird der Temperaturmesswert zugeführt, wodurch der Einfluss der Temperatur auf die Größe des Messspaltes S weitgehend kompensiert werden kann. Die Temperaturabhängigkeit des Wegsensors wird in einem Referenzlauf empirisch ermittelt, indem bei verschiedenen konstanten Spaltgrößen die Temperatur innerhalb des Anwendungsbereiches durchfahren wird.

[0045] Zur Auswertung der Messergebnisse bzw. zur Einstellung der Dicke des Messspaltes S kann in verschiedenartiger Weise vorgegangen werden:

a) Wegsensor mit Absolutmessung:

[0046] Durch einen Abgleichvorgang kann ein Wegsensor, ausgeführt in der oben beschriebenen Art, auf eine absolute Längenskala (z.B.: mm) justiert werden. Der Nachteil liegt darin, dass für alle unterschiedliche Geometrie aufweisenden Messteile, ein eigener Abgleichvorgang durchgeführt werden muss.

[0047] Über die Hubeinrichtung und die Steuerelektronik **17** wird der gewünschte Messspalt S eingestellt, wobei der Istwert vom Wegsensor geliefert wird.

[0048] Eine Möglichkeit ist es, den Messspalt für die Dauer einer rheologischen Messung konstant zu halten, indem die Steuerelektronik den Istwert laufend mit dem Sollwert vergleicht und durch Nachregelung über die Hubeinrichtung den Messspalt S konstant hält. Die andere Möglichkeit ist es, den Istwert des Messspaltes bei der Berechnung der rheologischen Größen zu berücksichtigen. Beide Verfahren kompensieren den Einfluss der Spaltveränderung auf die rheologischen Messergebnisse.

b) Wegsensor mit Relativmessung:

[0049] Für die Spalteinstellung ermittelt die Rheometersteuerung **17** den Spaltnullpunkt, indem z.B. der Messteil **4** mit der Hubvorrichtung gegen den feststehenden Messteil **5** gefahren wird, bis die Messteile kontaktieren. Als Erkennung wird der Anstieg des Drehmoments, hervorgerufen durch Kontaktreibung, verwendet.

[0050] Ein anderes Verfahren zur Erkennung des Spaltnullpunktes beruht auf dem sprunghaften Anstieg der Kraft in axialer Richtung des Messsystems bei der Kontaktierung. Diese Kraft kann mit einer vorgesehenen Normalkraftmesseinrichtung des Rheometers detektiert werden. Andere Möglichkeiten sind durchaus vorstellbar, z.B. auch ein detektierbarer Stromschluss bei der Berührung der beiden Messteile **4**, **5**. Dieser Positionswert der Hubeinrichtung wird als Nullposition abgespeichert. Daraufhin erfolgt

- Öffnung des Spaltes auf einige mm und Einbringen der Probe,
- Absenken des Messteiles **4** zur Einstellung der vorgewählten Spaltdicke. Die Einstellung erfolgt über die Hubmesseinrichtung des Rheometers.
- Abspeichern des vom Wegsensor gelieferten Signalwertes (Spaltreferenzwert) und Start der rheologischen Messung.
- laufender Vergleich des vom Wegsensor gelieferten Signalwertes durch die Rheometersteuerung **17** mit dem Spaltreferenzwert (Sollwert). Im Falle einer Regelabweichung wird der Spalt über die Hubvorrichtung nachgestellt und damit konstant gehalten.

[0051] Die beschriebene Relativmessung ist weniger aufwendig als ein Abgleichen des Rheometers auf eine absolute Abstands-Skala, die nach jedem Wechsel eines Sensors oder Messteiles wiederholt bzw. neu kalibriert werden müsste.

Patentansprüche

1. Rotationsrheometer mit einem Messmotor (**1**), der eine ersten Messteil (**4**) tragende Messwelle (**16**) rotiert, wobei zwischen diesem ersten Messteil (**4**) und einem weiteren, feststehenden Messteil (**5**) ein Messspalt (S) ausgebildet ist, in den die zu untersuchende Substanz (**12**), insbesondere Flüssigkeit, eingebracht wird, wobei die Dicke des Messspaltes (S) durch eine Verstellung der beiden Messteile (**4**, **5**) relativ zueinander einstellbar ist, und wobei eine Einrichtung zur Bestimmung des gegenseitigen Abstandes der beiden Messteile vorhanden ist, wobei

- zur berührungslosen Bestimmung und/oder zur Einstellung und/oder zur Konstanthaltung der Dicke des Messspaltes (S) von dem weiteren Messteil (**4**, **5**) zumindest ein induktiver oder zumindest ein magnetischer Wegsensor (**19**, **21**) getragen ist, so
- dass mit dem ersten Messteil (**4**) oder mit einer auf diesem Messteil (**4**) angeordneten Einrichtung (**18**) der auf dem weiteren Messteil (**5**) angeordnete Wegsensor (**19**, **21**) abhängig vom Abstand der beiden Messteile (**4**, **5**) das Ausgangssignal dieses Wegsensors (**19**, **21**) verändert wird, und wobei
- das Ausgangssignal des Wegsensors (**19**, **21**) einer Auswerteeinheit (**22**, **24**, **17**) zugeführt wird.

2. Rotationsrheometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der von dem weiteren Messteil (**5**) getragene Wegsensor als induktiver Wegsensor mit zumindest einer Spule (**21**), insbesondere mit Spulenkern (**20**), ausgebildet ist,

- wobei von dem ersten Messteil (**4**) ein Bauteil aus weichmagnetischem Material getragen ist oder dieser erste Messteil (**4**) zumindest in dem der Spule (**21**) zugekehrten Bereich aus weichmagnetischem Material ausgebildet ist, und
- wobei die durch magnetischen Rückschluss veränderbaren Impedanzwerte (Z) der zumindest einen Spule (**21**) als Ausgangssignale des induktiven Wegsensors der Auswerteeinheit (**22**, **17**) zugeführt sind.

3. Rotationsrheometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der von dem weiteren Messteil (**5**) getragene Wegsensor als induktiver Wegsensor mit zumindest einer Spule (**21**), insbesondere mit einem Spulenkern (**20**), ausgebildet ist, und

- wobei vom ersten Messteil (**4**) zumindest ein Bauteil aus elektrisch leitendem, insbesondere nichtmagnetischem, Material getragen ist oder der erste Messteil (**4**) zumindest in dem der Spule (**21**) zugekehrten Bereich

aus elektrisch leitendem, insbesondere nichtmagnetischem, Material besteht und
 – wobei die durch Wirbelstromverluste veränderbaren Impedanzwerte (Z) der zumindest einen Spule (21) als Ausgangssignale des induktiven Wegsensors der Auswerteeinheit (22, 17) zugeführt sind.

4. Rotationsrheometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der von dem weiteren Messteil (5) getragene Wegsensor ein auf Magnetfelder ansprechendes Bauteil (19) insbesondere ein Hallsensor oder eine Feldplatte, ist, und

– wobei von dem ersten Messteil (4) ein Dauermagnet getragen oder in den ersten Messteil (4) eingebettet ist, wobei die Achse des Dauermagneten senkrecht zur zugewandten Fläche des Wegsensors ausgerichtet ist und
 – wobei durch Magnetfelder beeinflussbare Eigenschaften des Bauteiles (19), insbesondere Spannungswerte oder Widerstandswerte, der Auswerteeinheit (24, 17) zugeführt sind.

5. Rotationsrheometer nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Messung der Temperatur der Wegsensoren (19, 21) und/oder der Messteile (4, 5) und/oder deren Umgebungsbereiche ein Temperaturfühler (23) vorgesehen ist, der insbesondere von dem weiteren Messteil (5) getragen ist, auf dem der Wegsensor (19, 21) angeordnet ist, wobei die Ausgangssignale des Temperaturfühlers (23) der Auswerteeinrichtung (22, 24, 17) zur Temperaturkompensation der Ausgangssignale des Wegsensors (19, 21) zugeführt sind.

6. Rotationstheometer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Messteile (4, 5) übereinander angeordnet sind und das gleich große oder flächenmäßig größere weitere Messteil (5) unten angeordnet ist.

7. Rotationsrheometer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung des Abstandes der beiden Messteile (4, 5) Einrichtungen zur Relativbewegung der Messteile (4, 5) zueinander vorgesehen sind, die insbesondere von Linearantrieben, Spindeltrieben oder Uhing-Mutter-Antrieben gebildet sind.

8. Rotationsrheometer nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Spule(n) (21) in oder auf einen U-förmigen oder E-förmigen Kern (20) aus Weicheisen, Transformatorblech oder Ferrit, ein- oder aufgesetzt ist (sind).

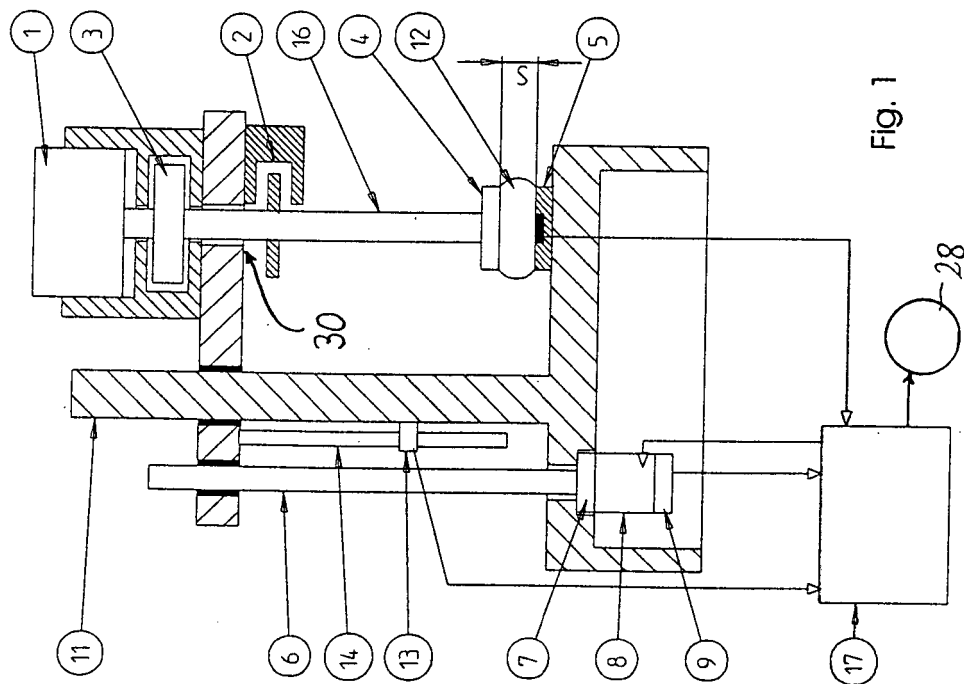
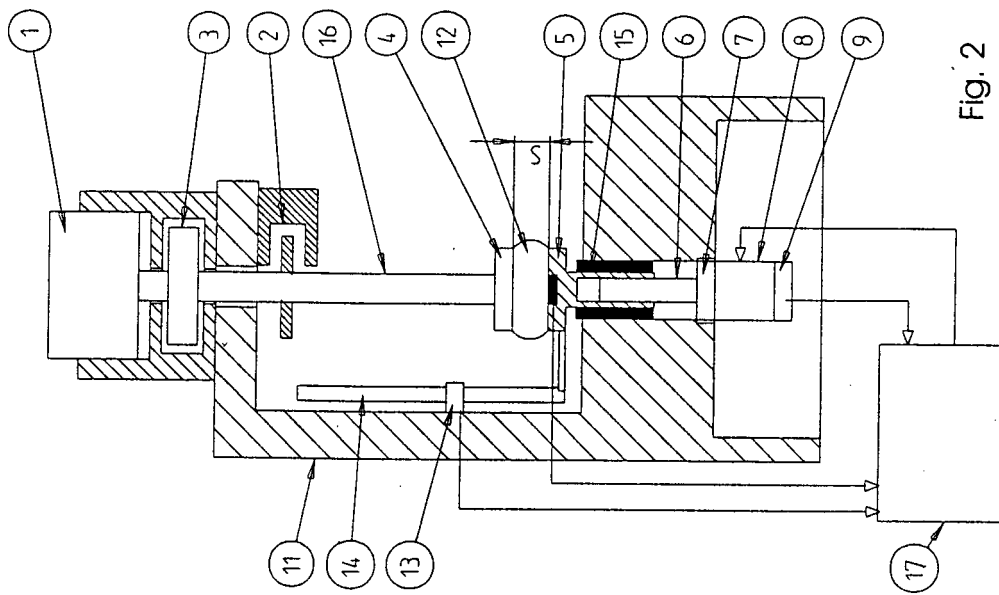
9. Rotationsrheometer nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Impedanz (Z) der Spule(n) (21) oder des Spannungs- oder Widerstandswertes des auf Magnetfelder ansprechenden Bauteiles (19) unter Berücksichtigung der mit dem Temperaturfühler (23) ermittelten Temperaturwerte, eine Recheneinheit vorgesehen oder in die Auswerteeinheit (22, 24, 17) integriert ist.

10. Rotationsrheometer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der weitere Messteil (5) aus nichtmagnetischem, elektrisch schlecht leitendem Material ausgebildet ist und dass die vom weiteren Messteil (5) getragene(n) Spule(n) (21) kernlos ausgebildet ist (sind).

11. Rotationsrheometer nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mit den Ausgangssignalen der Auswerteeinheit (17) in Abhängigkeit von den Ausgangssignalen des Wegsensors (19, 21) eine Einrichtung (6, 8; 8, 15) zur Veränderung des Messspaltes (S) durch Höhenverstellung zumindest eines der beiden Messteile (4, 5) gesteuert ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



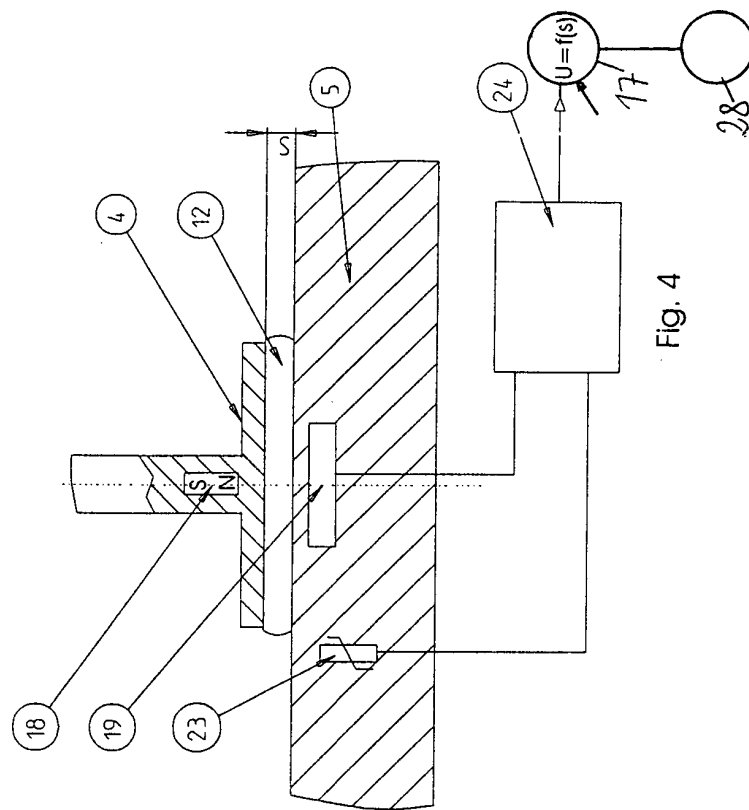


Fig. 4

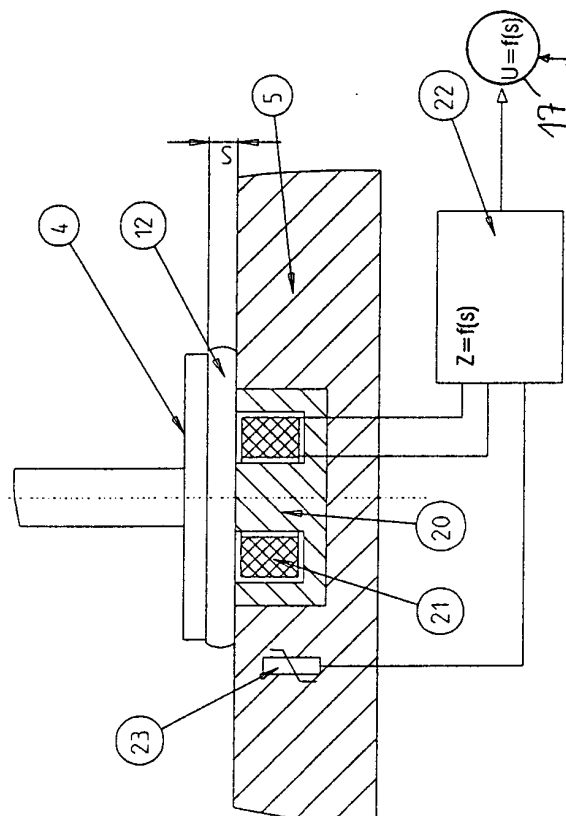


Fig. 3