

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50562/2013  
(22) Anmeldetag: 06.09.2013  
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2015

(51) Int. Cl.: **G01N 11/14** (2006.01)  
**G01N 19/02** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 8371182B1 (ISRAELACHVILI,  
AT 508706 A1  
AT 505938 B1  
EP 2150800 A1

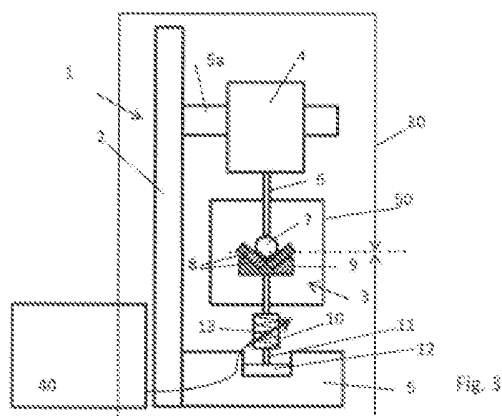
(71) Patentanmelder:  
ANTON PAAR GMBH  
8054 GRAZ-STRASSGANG (AT)

(72) Erfinder:  
Wolf Frederik Dr.Ing.  
70197 Stuttgart (DE)  
Bauer Bernhard  
8403 Lebring (AT)  
Krenn Michael  
8141 Zettling (AT)

(74) Vertreter:  
WILDHACK & JELLINEK PATENTANWÄLTE  
OG  
WIEN

(54) **Tribometer**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung tribologischer Messwerte von Probekörpern (7, 8) mit einem Rheometer (1), wobei die Messteile des Rheometers (1) durch Probekörper (7, 8) ersetzt werden und die Oberflächen der Probekörper (7, 8) in Reibkontakt relativ zueinander bewegt werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass alle die Probekörper (7, 8) in Kraftschluss und Reibkontakt haltenden bzw. die den Rheometer-Kraftkreis ausbildenden Teile des Rheometers (1), einschließlich der die Probekörper (7, 8) gegeneinander drückenden Federeinheit (3), als Schwingkreis (30) angesehen werden, dass die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) als für die Schwingungseigenschaften dieses Schwingkreises (30) relevant angesehen werden, und dass die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) unter Berücksichtigung der bei der jeweiligen Messung erwarteten, durch sich verändernde, unterschiedliche Messbedingungen bedingte Resonanzschwingungen bzw. -effekte eingestellt werden.



## Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung tribologischer Messwerte von Probekörpern (7, 8) mit einem Rheometer (1), wobei die Messteile des Rheometers (1) durch Probekörper (7, 8) ersetzt werden und die Oberflächen der Probekörper (7, 8) in Reibkontakt relativ zueinander bewegt werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass alle die Probekörper (7, 8) in Kraftschluss und Reibkontakt haltenden bzw. die den Rheometer-Kraftkreis ausbildenden Teile des Rheometers (1), einschließlich der die Probekörper (7, 8) gegeneinander drückenden Federeinheit (3), als Schwingkreis (30) angesehen werden, dass die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) als für die Schwingungseigenschaften dieses Schwingkreises (30) relevant angesehen werden, und dass die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) unter Berücksichtigung der bei der jeweiligen Messung erwarteten, durch sich verändernde, unterschiedliche Messbedingungen bedingte Resonanzschwingungen bzw. -effekte eingestellt werden.

(Fig. 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung tribologischer Parameter und Messwerte gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Modul, d.h. eine Tribologiezelle, zum Einsatz in einem derartigen Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 8. Schließlich betrifft die Erfindung ein Rheometer gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 13 zur Durchführung des Verfahrens, allenfalls unter Einsatz eines erfindungsgemäßen Moduls.

Die Rheologie beschäftigt sich definitionsgemäß mit der Deformation und dem Fließverhalten von Substanzen. Rotationsrheometer sind Messgeräte zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften von unterschiedlichen Materialproben. Dabei wird die zu untersuchende Messprobe in einen im allgemeinen engen Messspalt zwischen zwei Messteilen eingebracht, die beiden Messteile werden relativ zueinander rotiert und/oder oszilliert und die Materialprobe wird zwischen den Messteilen einer Scherbelastung unterzogen. Elastische Materialfunktionen erhält man zusätzlich aus den Axialkräften, die beim Kegel-Platte- und Platte-Platte-Rheometer senkrecht zur Scherebene wirken. Rotationsrheometer ermöglichen die Kombination einer Vielzahl unterschiedlicher Versuchsführungen, bei denen entweder Schubspannung, Scherdeformation oder Schergeschwindigkeit vorgegeben werden können. Rotationsrheometer können prinzipiell unterschiedliche Ausführungen mit einem Messmotor, einem Rotationsmotor und separatem Messmotor oder die Kombination zweier Messmotoren besitzen und sind beispielsweise in der AT508706 B1 der Anmelderin beschrieben.

Die Drehmomentbestimmung im Rotationsrheometer kann mit für Antrieb und Drehmomentbestimmung ausgelegten (Mess-)Motoren erfolgen oder auch über zwei voneinander getrennte Motoreinheiten für Antrieb/Rotation und Drehmomentbestimmung, die jeweils einem der Messteile zugeordnet werden. Ferner sind auch Doppelmotorsysteme mit zwei Messmotoren bekannt, siehe z.B. AT 508 706 B1. Darüber hinaus sind unterschiedliche Systeme zur Bestimmung der auftretenden Normalkräfte (Axialkräfte) bekannt.

Die Tribologie beschäftigt sich allgemein mit der Relativbewegung von Oberflächen von Probekörpern unter Krafteinwirkung aufeinander. Untersucht werden Reibung, Verschleiß und Schmierung mit dem Ziel, die Bewegungssysteme zu charakterisieren und gegebenenfalls zu optimieren. Die Messung der Reibungskoeffizienten erfolgt hierbei insbesondere über größere Zeiträume an Gleitpaarungen aus verschiedenen Werkstoffen mit und ohne Schmierung, wobei die Parameter Normalkraft bzw. Druck, Gleitgeschwindigkeit und Temperatur während der Messung variiert werden können.

Tribometer sind Geräte zum Messen von tribologischen Größen, die bis auf die Halterung der Probekörper Rheometern gleichen können.

Für tribologische Messungen ist der Reibkontakt zwischen den zu untersuchenden Flächen ausschlaggebend. Gemessen wird praktisch der Kontakt, geschmiert oder ungeschmiert, d.h. mit oder ohne Zwischenlage eines Materials, zwischen zwei Probekörpern aus dem zu vermessenden Material bzw. den zu vermessenden unterschiedlichen Materialien.

Aufgrund der äußerst vielfältigen Fragestellungen in der Tribologie sind zahlreiche Tribometer für bestimmte Anwendungsfälle und Messaufgaben entwickelt worden. Die Interpretation und Übertragbarkeit von auf Tribometern gewonnenen Ergebnissen ist anspruchsvoll. Da es sich bei tribologischen Kennwerten immer um Systemkennwerte handelt, ist die Angabe von Einzelwerten wie Reibwerten ohne Angabe der exakten Prüfbedingungen meist nicht zielführend. Die Ergebnisse werden beispielsweise für die Charakterisierung von Schmierstoffen oder die Konstruktion von Lagern verwendet und finden in vielen Fachgebieten von der Medizintechnik, über die Kosmetik-, Lebensmittelindustrie, die Antriebs- und Steuerungstechnologie, bis hin zum Maschinenbau Anwendung.

Aufgrund derselben auftretenden Größenordnung der Messwerte, der Möglichkeit der Vorgabe der Normalkräfte sowie der präzisen Vorgabe und Messung von Drehzahl und Drehmoment eignen sich Rheometer vom Aufbau her prinzipiell zum Einsatz in hochpräzisen, tribologischen Systemen, insbesondere dann, wenn die Messteile des Rheometers austauschbar angeordnet und durch Halter für Probekörper ersetzbar sind. Es wurden dazu auch schon die zu untersuchenden Probekörper in Form von Messteilen ausgeführt oder an Messteilen von Rheometern angebracht bzw. spezielle Probenhalter mit den Messwellen des Rheometers verbunden oder als solche ausgeführt und in direkten Kontakt miteinander gebracht. Eine derartige Anordnung ist für den Spezialfall der Charakterisierung von Kugellagern in der AT 505938 beschrieben. Eine Anwendung zur Charakterisierung der Reibungseigenschaften von Lebensmitteln mit speziellen Grenzflächen ist in der EP 2150800 A1 beschrieben.

Für den Umbau eines Rheometers in ein Tribometer ist es somit lediglich erforderlich, die den Messspalt des Rheometers begrenzenden Messteile durch die zu vermessenden Probekörper oder ein die Probekörper aufnehmendes Modul zu ersetzen, und die Probekörper in Reibungskontakt zu bringen. Die bei Rheometern vorhandenen

Einrichtungen zur Ausübung einer Axialkraft bzw. zur Vermessung der aufgebrachten Axialkraft werden eingesetzt, um den Druck der einander gegenüberliegenden Flächen der Probekörper einzuregeln. Um die aneinander mit Reibkontakt anliegenden Probekörper zu zentrieren bzw. in Anlage zu halten, können Federn bzw. Federeinheiten oder flexible drehsteife Kupplungen wie beispielsweise Kardangelenke vorgesehen werden, die direkt an die Probekörper, allenfalls über Probehalter, anschließen und gegebenenfalls über Träger mit den Antriebswellen oder Lagern des Rheometers verbunden werden, bei welchem Rheometer die Messteile ausgebaut wurden.

Bei Durchführung rheologischer Versuche soll die Höhe des Spaltes zwischen den Messteilen des Rheometers, zwischen die die zu vermessende Probe eingebracht wird, mit hoher Präzision konstant gehalten werden. Damit dies gelingt, werden die Rheometer axial sehr steif ausgeführt. Die verbleibende geringe Nachgiebigkeit wird durch die sogenannte Compliance des Systems charakterisiert. Damit zeigt ein Rheometer in seinem Kraftkreis praktisch eine Federkonstante mit großer Steifigkeit. Im tribologischen Versuch sollen die Oberflächen aller im Reibkontakt stehenden Probekörper mit möglichst gleicher und zeitlich konstanter Kraftwirkung aneinander gepresst werden. Die Größe der Kraft soll dabei entsprechend den zu untersuchenden Materialpaarungen und der Größe der Kontaktfläche frei eingestellt werden können. Die Flächenpressung wird über die Normalkraftregelung des Rheometers bewirkt. Das Rheometer bzw. die Rheometersteifigkeit bzw. Compliance kann in diesem dynamischen Schwingsystem als Feder mit hoher Steifigkeit abgebildet werden. Unebenheiten in der Probenoberfläche und Abweichungen von der Idealgeometrie bewirken Normalkräfte, die die Kraftaufbringung verändern und damit die Messung verfälschen. In konventionellen Tribologiemessgeräten wird dies normalerweise nicht berücksichtigt. Insbesondere gilt dies auch beim Auftreten von Stick-Slip-Effekten.

Gleichzeitig sollen die sich drehenden Teile des Messsystems bei sämtlichen tribologischen Drehversuchen mit dem Rheometer radial so genau wie möglich ausgerichtet werden, um das Auftreten von Querkräften, die die Messergebnisse verfälschen, zu verhindern. Speziell im Falle mehrerer Kontaktflächen ist es nötig, die Anordnung aller Messteile exakt zu zentrieren, um eine gleichmäßige Belastung der tribologischen Kontakte zu gewährleisten. Darüber hinaus besitzen Rotationsrheometer in ihrem Aufbau möglichst reibungsfrei gelagerte Messwellen, die häufig nur geringe Toleranz gegen Querkräfte besitzen, da die Lagerung nur geringe Querkräfte aufnehmen kann.

Im Stand der Technik werden diese Probleme beispielsweise durch die Verwendung von Kardangelenken oder Federn in der Messteilachse gelöst. Diese Elemente ermöglichen einen Radialversatz zwischen Messsystem und Luftlager, so dass der Messkörper der sich evtl. ändernden Oberflächen und/oder Kraftwirkungen folgen kann

Speziell bei höheren Drehzahlen bieten diese Systeme wenig Stabilität und können ggf. unrund laufen bzw. schlagen.

Mit Federn und flexiblen drehsteifen Kupplungen bringt man aber ein Element mit einer zusätzlichen Federwirkung bzw. einer weiteren Compliance in den Kraftfluss bzw. Kraftkreis des Messsystems ein. Diese zusätzliche Compliance wird durch eine andere Federkonstante als die Rheometercompliance charakterisiert.

Diese zusätzliche Feder im System bringt allerdings das Problem mit sich, dass bestimmte Eigenfrequenzen des Systems zu Resonanzen führen können, die zum Aufschwingen des Rheometers bzw. Systems bei bestimmten Kräften, Oszillationen bzw. Winkelgeschwindigkeiten und wechselnder Oberflächengestalt, insbesondere aufgrund ungleichmäßiger Teilchen einer Zwischenlage führen können – damit kann ein Teil des prinzipiell überstreichbaren Messbereichs verfälschte Ergebnisse bringen und nicht genutzt werden.

In kommerziellen Rheometern werden zumeist Kräfte von 1 mN bis 70 N und Drehzahlen von 0 bis 3000 rpm vorgegeben und/oder gemessen. Prinzipiell sind diese Bereiche auch für tribologische Messungen zugänglich, insbesondere bei Verwendung und Einbau geeigneter Motoren und Lager können diese Bereiche auch erweitert werden. Für tribologische Messungen werden im Allgemeinen Gesamtanpresskräfte von 0,1 N bis 70 N verwendet, die Drehversuche zur tribologischen Charakterisierung können mit den zur Verfügung stehenden Winkelgeschwindigkeiten und Winkelbeschleunigungen durchgeführt werden

Die zusätzlich vorgesehene Feder kann durch dynamische Effekte den prinzipiell verfügbaren Messbereich durch das Auftreten von Resonanzen beschränken. Welche Kombinationen aus Drehzahl und Kraft hiervon betroffen sind, hängt stark von der tatsächlichen Probenkombination ab. Eine sichere Vorhersage dieser nicht verwendbaren bzw. auszublenkenden Messbereiche ist sehr schwierig bzw. häufig nicht möglich. Dies gilt insbesondere bei der Untersuchung von Stick-Slip-Effekten an Probekörpern.

Ein Rheometer, kann bei Einsatz für tribologische Messungen daher prinzipiell als System mit zwei Federn 10, 20 betrachtet werden, so wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Die Feder 20 charakterisiert die Federeigenschaften des Geräts bzw. des Kraftschlusses, ohne die zusätzlich eingebaute Feder 10 einer Federeinheit 3 zu berücksichtigen. Das Rheometer kann hier wie im Stand der Technik üblich einen oder zwei Motoren zur Rotation und/oder Drehmomentmessung und/oder Normalkraftvorgabe besitzen, die über ein Stativ 2 höhenverstellbar verbunden sind. Die Motoren werden dabei mit der Basis 5 und/oder dem auskragenden Arm 5a fest verbunden bzw. austauschbar fixiert und sind in dieser Darstellung nicht separat berücksichtigt, die Lager der Messwellen tragen zur Gesamt-Compliance des Rheometers bei.

Durch Verweis auf die eingangs genannte AT 508706 B1 und AT 505938 B1 und EP 2150800 A1 wird der Aufbau bzw. werden die Merkmale der dort beschriebenen Rheometer als grundlegender und möglicher Aufbau eines erfindungsgemäßen Rheometers in diese Anmeldung übernommen und sollen als in vorliegender Anmeldung geoffenbart angesehen werden.

Die zusätzliche, gegenüber der Feder 20 relativ weiche Feder 10 im System bringt allerdings das Problem mit sich, dass bestimmte Resonanzfrequenzen im Drehzahlbereich des Systems zum Aufschwingen führen können. Diese gilt auch für allfällige zusätzliche Federwirkungen in Zusammenhang mit einem eingesetzten Kardangelenk, da auch hier gewisse Compliance auftritt, die kleiner als die Compliance des Systems ist.

Betrachtet man das System bzw. den durch den Kraftschluss vorgegebenen bzw. bedingten Schwingkreis genauer, erkennt man, dass diese durch die Federeinheit 3 bedingte Wirkung zu berücksichtigen ist und es stellt sich die Aufgabe, Resonanzeffekte des Systems bzw. Schwingkreises zu verändern, zu charakterisieren, und gegebenenfalls abzumildern bzw. auszuschalten. Hier setzt die Erfindung an.

Die Nachgiebigkeit bzw. Gesamt-Compliance eines Rheometers ist prinzipiell im Kraftschlusssystem zu bewerten. Diese Gesamt-Compliance kann durch die Federkonstante des Systems  $C_{ges}$  charakterisiert werden. Aufgrund der großen Federkonstante ( $C_1$ ) der Feder 20 (des Schwingkreises) wird diese bei Bestimmung der Gesamtfedersteifigkeit  $C_{ges}$  aufgrund der im Vergleich dazu großen Nachgiebigkeit und damit kleinen Federkonstante ( $C_2$ ) der Feder 10 der Federeinheit 3 nach dem Zusammenhang  $1/C_{ges} = 1/C_1 + 1/C_2$  vernachlässigt bzw. nicht mehr separat

berücksichtigt. Die Gesamtsteifigkeit des Rheometers entspricht somit näherungsweise der Steifigkeit der eingesetzten weicheren Feder 10, näherungsweise charakterisiert durch die Federkonstante  $C_2$ . Betrachtet man das System genauer, muss auch die Dämpfungswirkung der Federeinheit in Betracht gezogen werden.

Fig. 2 zeigt ein vereinfachtes Ersatzschaltbild für den tribologischen Kontakt zwischen einem oberen und unteren Probekörper 7, 8 mit Federwirkung (10) und Dämpfungswirkung (10') in z-Richtung unterhalb des unteren Probekörpers 8. Die beiden Probekörper 7, 8 werden mit der Kraft  $F$  aneinandergedrückt. Ändert sich der Abstand zwischen den Probekörpern 7, 8 durch Bauteilmängel, Resonanzen, Stick-Slip-Effekte, Aufschwimmeffekte etc. oder auch Variation einer der Oberflächen durch Unebenheit, so resultiert eine dynamische Kraft. Für diese zusätzliche dynamische bzw. zeitlich veränderliche Kraft  $F(t)$  gilt die folgende Bewegungsgleichung in z-Richtung mit Abstand  $z$ , Geschwindigkeit  $v = dz/dt$  und Beschleunigung  $a = d^2z/dt^2$ :

$$F(t) = m \cdot a + d \cdot v + c \cdot z,$$

wobei  $d$  die viskose Dämpfung,  $c$  die Federkonstante, und  $m$  die Gesamtmasse der bei einer Abstandsänderung der Probekörper 7, 8 beweglichen bzw. bewegten Teile ist. Diese besagten Teile sind vor allem die Probekörper 7, 8, sowie die Feder 10 und allfällige Halter für die Probekörper 7, 8.

Wenn die Kraftwirkung dabei möglichst konstant bleiben soll, so muss der dynamische Kraftanteil möglichst klein bzw. gering gegenüber  $F$  bleiben. Dies ist der Fall, wenn

- a) der bewegte Teil der Federeinheit insgesamt möglichst wenig Masse aufweist, um den Anteil  $m \cdot a$  gering zu halten,
- b)  $a$ ,  $v$  und  $z$  möglichst klein bleiben.

Die sich bewegenden Massen sollen also so sein, dass sie den Bewegungen des Probekörpers in x-y- und z-Richtung unter möglichst geringen Kräften folgen können.

Das Federelement 3 sollte somit kleine Masse besitzen und bevorzugt nahe am tribologischen Kontakt angeordnet sein, um Verbindungsteile zu vermeiden bzw. möglichst massearm zu halten.

Vorteilhafterweise soll das Federelement 3 nur in z-Richtung wirken.

Für die Eigenfrequenz des Systems gilt  $\omega^2 = c/m$ . Die Verstärkungsfunktion eines derartigen Systems bzw. Schwingkreises kann hinsichtlich der Amplitude über die Dämpfung beeinflusst werden, gleichzeitig ändert sich die Resonanzfrequenz in gewissem Ausmaß, eine Änderung der Resonanzfrequenz kann durch Anpassung der Federkonstante bzw. Federsteifigkeit und/oder der Masse im Schwingkreis erfolgen.

Erfindungsgemäß wird somit vorgeschlagen, das Problem der Resonanzeffekte bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch zu regeln, zu minimieren oder zu beseitigen, dass alle die Probekörper in Kraftschluss und Reibkontakt haltenden bzw. die den Rheometer-Kraftkreis ausbildenden Teile des Rheometers, einschließlich der Federeinheit, als Schwingkreis angesehen werden, dass die Schwingungseigenschaften der Federeinheit als für die Schwingungseigenschaften dieses Schwingkreises relevant und ausreichend repräsentant angesehen werden, und dass vor Beginn und/oder während der Ermittlung der Messwerte die Schwingungseigenschaften der Federeinheit unter Berücksichtigung der bei der jeweiligen Messung erwarteten, durch sich verändernde, unterschiedliche Messbedingungen, insbesondere unterschiedliche Masse besitzende Probekörper, Änderungen des Reibschlusses und/oder Änderungen der auftretenden Achsialkräfte, bedingte Resonanzschwingungen bzw. -effekte eingestellt bzw. angepasst bzw. ausgeschaltet werden. Die erhaltenen Messwerte werden ausgewertet.

Für die Definition des in dem Rheometer ausgebildeten Schwingkreises, dessen Compliance oder Steifigkeit in Relation zu der Steifigkeit oder Nachgiebigkeit des Federelements gesetzt wird, ist es zweckmäßig, wenn in den Schwingkreis sämtliche an dem Rheometer-Kraftkreis zur Kraftaufbringung auf die in Reibkontakt stehenden Oberflächen der Probekörper beteiligten bzw. sich in diesem Kraftkreis befindlichen Teile des Rheometers, insbesondere Gerätebasis, Stativ, Tragarm, Antriebs- und Messwellen, Probenhalter und Lager, einbezogen werden.

Für eine Abschätzung der zu berücksichtigenden Größen bzw. der Schwingungseigenschaften ist es von Vorteil, wenn als für die Schwingungseigenschaften der Federeinheit relevant, die federelastischen beweglichen Abschnitte der zumindest einen Feder der jeweiligen Federeinheit, die Masse eines von der jeweiligen Feder getragenen Halters und/oder eines auf der Feder befindlichen Haltebereichs für die Probekörper, die Masse der federelastisch unbeweglichen Teile der Federeinheit zwischen der Befestigungsstelle bzw. dem ortsfesten, unbeweglichen Fußpunkt der Feder und der tribologischen Kontaktstelle des von der Feder abgestützten Probekörpers und

gegebenenfalls die Masse der Probekörper angesehen bzw. für eine allfällige Abänderung herangezogen werden.

Für die Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn zur Einstellung der Schwingungseigenschaften der Federeinheit die Steifigkeit der Feder bzw. die Federkonstante der Feder, vorzugsweise durch Änderung der Federlänge bzw. des federwirksamen Anteils der Gesamtfederlänge der Feder, verändert wird, und/oder die Masse der Probekörper und/oder die Masse der federelastisch unbeweglichen Teile der Federeinheit verändert wird, insbesondere durch Hinzufügen oder Wegnehmen von an den Probekörpern bzw. den federelastisch unbeweglichen Teilen der Federeinheit, vorzugsweise dem Halter bzw. Haltebereich, anbringbare bzw. abnehmbare Massen, und/oder wenn die Schwingungsbewegung der Feder durch ein an der Feder und/oder an dem jeweiligen Probekörper und/oder an den federelastisch unbeweglichen Teilen (9) angreifendes Dämpfungselement gebremst bzw. gedämpft wird.

Es wird nunmehr auch möglich, dass zwischen die in Reibkontakt stehenden Oberflächen der Probekörper eine Zwischenlage bzw. -schicht aus die Reibung zwischen den Oberflächen beeinflussendem Material eingebracht wird, ohne dass unerwünschte Resonanzschwingungen auftreten. Durch verschiedene eingebrachte Materialien bedingte Schwingvorgänge können erfolgreich beeinflusst und untersucht werden.

Eine einfache Durchführung von Messungen ergibt sich, wenn die Kraft, mit der die Probekörper gegeneinander gedrückt werden, mit einem Regelkreis eingeregelt wird.

Die Messung und die Messvorbereitungen werden vereinfacht, wenn die Federkonstante bzw. Nachgiebigkeit der den Schwingkreis ausbildenden Teile des Rheometers bei der Einstellung bzw. Anpassung der Schwingungseigenschaften der Federeinheit unberücksichtigt bzw. unverändert bleiben.

Ein erfindungsgemäßes Modul der eingangs genannten Art ist dadurch gekennzeichnet, dass die Feder und der Halter oder Haltebereich als Teile eines mechanischen Schwingensystems angesehen werden und dessen Schwingungseigenschaften bestimmen, und dass eine Stelleinheit vorgesehen ist, mit der die Schwingungseigenschaften dieses Schwingensystems verstellbar bzw. abänderbar sind. Ein derartiges Modul ist vorteilhafterweise geeignet, das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen bzw. in ein Rheometer eingesetzt zu werden, um mit einem herkömmlichen Rheometer tribologische

Messungen vornehmen zu können und dabei im Messbetrieb Resonanzschwingungen zu beeinflussen. .

Bei einem derartigen Modul ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass mit der Stelleinheit die Federkonstante der Feder abänderbar ist und die Stelleinheit gegebenenfalls zumindest einen an die Feder anlegbaren bzw. belastenden Bauteil aufweist, der die federwirksame Länge der Feder verstellt , und/oder dass mit der Stelleinheit die von der Feder getragene Masse abänderbar ist und die Stelleinheit gegebenenfalls einen an der Feder und/oder an dem Halter befindlichen Behälter zur definierten Eingabe oder Entnahme eines Mediums, vorzugsweise einer Flüssigkeit, aufweist, und/oder dass die Stelleinheit ein die Bewegung der Feder und/oder des Halters und/oder des Probekörpers mechanisch durch Reibschluss dämpfendes Element, gegebenenfalls in Form von sich an der Feder abstützenden Reibteilen, umfasst. Damit kann eine Verstellung bzw. Abänderung der Schwingungseigenschaften des Moduls einfach erreicht werden, wodurch der Messbereich vergrößert bzw. Resonanzfrequenzen vermieden werden.

Bei speziellen Ausführungsformen des Moduls ist vorgesehen, dass der Träger zumindest eine Platte trägt, von der zumindest eine Feder, vorzugsweise eine Mehrzahl von Federn, jeweils in Form einer parallel zur Platte ausgerichteten Blattfeder abgeht, die in ihrem freien Endbereich, gegebenenfalls über einen Halter, einen Probekörper trägt, wobei für jede Blattfeder ein Klemmbauteil vorgesehen ist, mit dem der Körper der Feder in bezüglich ihres Plattenabstands unterschiedlichen, insbesondere kontinuierlich veränderbaren, Anlagestellungen belastbar bzw. feststellbar ist, wobei gegebenenfalls der Klemmbauteil die Form von um den Halter rotierbaren Speichen besitzt, die gegen die im Wesentlichen in Umfangsrichtung der Platte ausgerichtete Blattfedern anlegbar und gegebenenfalls in unterschiedlichen Anlagestellungen fixierbar sind. Bei einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Feder in Form einer insbesondere horizontal angeordneten Blattfeder ausgebildet ist, die in beiderseits ihres Längsmittelbereichs liegenden Auflagen abgestützt ist, dass der Halter für die Probekörper, gegebenenfalls über einen in x-y-Richtung beweglich geführten Gleitstein, im Längsmittelnbereich der Blattfeder abgestützt ist, und dass die Auflagen längs der Blattfeder, insbesondere gleichzeitig und mit gleichem Vorschub, verstellbar sind, wozu gegebenenfalls die Auflagen in spiralförmigen Nuten einer unterhalb der Blattfeder angeordneten Grundplatte geführt sind und bei Verdrehung der spiralförmigen Nuten in Längsrichtung der Blattfeder aufeinander zu bzw. voneinander weg verschiebbar angeordnet sind.

Ein einfacher Aufbau ergibt sich, wenn der Probekörper an der Feder in einem Haltebereich der Feder mit einem Halter gehalten oder an der Feder direkt befestigt, z.B. eingeschraubt, geklemmt oder angeschweißt, ist.

Ein erfindungsgemäßes Rheometer umfasst einen rheometernahen Träger und einen rheometernahen Träger, die jeweils einen Probekörper abstützen, wobei die Träger von den Messteilnahmen bzw. -anschlüssen oder Mess- oder Antriebswellenanschlüssen des Rheometers aufgenommen sind oder von abnehmbaren oder einsetzbaren Messwellen gebildet sind, wobei zumindest einer der beiden Träger jeweils zumindest eine Feder abstützt, die über einen Halter oder Haltebereich zumindest einen Probekörper abstützt, Antriebseinheiten zur Rotation zumindest eines Trägers mit vorgegebener Drehzahl und/oder vorgegebenem Drehmoment, Messeinheiten zur Messung der aufgebracht und/oder auftretenden Drehzahlen und Drehmomente, und eine die Probekörper in gegenseitigen Reibkontakt drückende Druckkrafteinheit, die gegebenenfalls eine Regeleinheit für die aufzubringenden Druckkräfte aufweist, wobei zumindest einer der Träger sowie die von diesem abgestützte, zumindest eine Feder und der auf der Feder befindliche Halter bzw. Haltebereich in Form eines Moduls gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11 ausgebildet sind.

Ganz allgemein wird nunmehr zu dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. Modul bzw. Rotationsrheometer Folgendes ausgeführt:

Von jeder Federeinheit können ein oder mehrere Probekörper getragen werden. Die Federeinheiten besitzen Federn, die jeweils einen der Probekörper belasten oder Federn, die alle Probekörper gemeinsam belasten. Es ist ferner möglich, den beidseits der tribologischen Kontaktfläche liegenden Probekörpern jeweils eine Federeinheit zuzuordnen. Damit verdoppelt sich zwar die Möglichkeit von unerwünschten Resonanzen; durch entsprechende Änderung der Federcharakteristiken einer oder beider Federeinheiten sind diese Resonanzen jedoch beherrschbar bzw. veränderbar. Dazu können die beidseits der tribologischen Kontaktfläche liegenden Federeinheiten bezüglich ihres Schwingungsverhaltens verändert werden.

Die Federeinheiten können unterschiedliche Arten von Federn, z.B. Blattfedern, Spiralfedern, Schraubendruckfedern od. dgl., aufweisen.

Die Federeinheiten können rotationsinvariant angeordnet werden oder mit dem jeweiligen Probekörper mit der vorgegebenen Drehzahl mitrotiert werden.

Die Anordnung und der Aufbau der Federn bzw. der die Federn abstützenden Träger ist derart, dass bei Rotation der Probekörper keine radialen Schwingungen eintreten. Vorteilhafterweise besitzen die Federeinheiten symmetrischen Aufbau oder umfassen deckungsgleich aufgebaute Abschnitte.

Die Erfindung ermöglicht es, ein Verstellen bzw. eine Einstellung der Federkonstante der Feder und/oder der Masse des Federelements in Abhängigkeit vom Messproblem gegebenenfalls auch automatisiert durchzuführen.

Prinzipiell können die Federn der Federeinheiten auch ausgetauscht und durch dünnere, weichere oder durch dickere, härtere Federn ersetzt werden. Zusätzlich oder alternativ dazu können die schwingenden Massen der Federeinheit verändert werden, womit sich das Schwingungsverhalten der Federeinheiten verändert.

Für den Fachmann ist es einfach möglich, die erforderliche Einstellung der Schwingungseigenschaften der Federeinheiten vorzunehmen. Es reicht für die Praxis aus, eine kleine Anzahl meist nicht mehr als zwei, Probemessungen vorzunehmen, vorzugsweise mit der für die Messung vorgegebenen Kraftbeaufschlagung der eingesetzten Probekörper und den vorgegebenen Messparametern bzw. den vorgegebenen Drehzahlen bzw. Drehmomenten. Dabei erkennt man ohne Weiteres die Messbereiche, in denen Resonanzschwingungen auftreten. Diese Resonanzschwingungen werden sodann durch Abänderung der Federkonstanten bzw. der Masse der Federeinheit bzw. Einstellung von Dämpfungsgliedern aus dem Messbereich eliminiert und daraufhin wird der Messvorgang gestartet. Alternativ können die Resonanzschwingungen auch gezielt untersucht werden.

Es besteht auch die Möglichkeit, unterschiedlich aufgebaute Module zu wählen und einzusetzen, d.h. Module, die sich bzgl. der Federcharakteristiken und/oder Massen und/oder Dämpfung unterscheiden und damit an unterschiedliche Probekörper angepasst sind.

Sofern die zu untersuchenden Probekörper gleiche Masse besitzen, ist es einfach möglich, vorab Kalibrierungsmessungen vorzunehmen und abhängig von einer Kalibrierungstabelle passende Federeinheiten bzw. Module zu wählen, um störungsfreie Messbereiche für unterschiedliche Versuchsbedingungen aufzufinden.

Die Probekörper können in Halter eingesetzt werden, die mit der Feder verbunden oder an dieser direkt ausgebildet sind. Es ist auch möglich, die Probekörper direkt an der Feder anzubringen, z.B. einzuklemmen, anzuschweißen, anzuschrauben oder anzukleben usw. In diesen Bereichen kann die Feder nicht schwingen und diese Haltebereiche sind somit der Masse des Federelements zuzurechnen, die Haltebereiche stellen Abschnitte der Feder dar, die nicht federelastisch sind. In diesen Haltebereichen der Feder und an Haltern kann vorteilhafterweise die Anbringung von Zusatzmassen einfach und wenig störend erfolgen. Auch am Probekörper kann die Anbringung von Zusatzmassen erfolgen.

Die Änderung der Federcharakteristik der Feder kann vorteilhafterweise durch Veränderung ihres schwingfähigen Teils bzw. Abschnitts erfolgen. Vorteilhafterweise kann der dem Träger naheliegende oder fernliegende Abschnitt der Feder über eine mehr oder weniger große Länge mit einem Halteteil festgehalten und an Schwingungen gehindert werden.

Es besteht des Weiteren die Möglichkeit, die Federsteifigkeit des Federelements durch Austausch oder Hinzufügen von Federn oder Federpaketen zu verändern.

Vom Prinzip her ist es möglich, das Federelement, das die Probekörper in Reibkontakt hält, elektromagnetisch, magnetisch, pneumatisch oder hydraulisch auszuführen. Alle derartigen Systeme besitzen ihre eigene Schwingungscharakteristik bzw. können Resonanzschwingungen bedingen, welche die Messverhältnisse verändern. Auch derartige Systeme können vor Messbeginn bezüglich ihrer Schwingungseigenschaften eingestellt werden und es sind derartige Systeme als einer mechanischen Federeinheit äquivalent anzusehen.

Die Federwirkung eines pneumatischen Systems kann beispielsweise durch Volums- und/oder Druckänderungen in den die Probekörper belastenden Kolben bzw. Druckräumen und/oder Masseänderungen der bewegten Massen beeinflusst bzw. verändert werden. Eine Abänderung der Schwingungseigenschaften einer Magnetspule kann z.B. durch Abänderungen von Versorgungsspannung und/oder -strom und/oder Masseänderungen erfolgen.

Es ist z.B. auch möglich, die Federkonstante einer Spiralfeder mittels Verstellmechanismen anzupassen, indem die wirksame Federlänge der Spiralfeder gegebenenfalls durch kontinuierliche Längenveränderung des federelastischen Körpers, verändert wird.

Es kann auch die Lage der Abstützpunkte einer Feder, beispielsweise einer Blattfeder, über die Federlänge verändert werden, da durch Veränderung der Lage der Anlagepunkte der Abstützung an die Feder die Federeigenschaften der Feder entsprechend verändert werden.

Von Vorteil kann es sein, wenn die Federsteifigkeit mittels eines Verstellmechanismus automatisch verstellt werden kann, sodass vor der Versuchsdurchführung in einfacher Weise, allenfalls gesteuert von einer vorgesehenen Auswerte- und Steuereinheit, eine gewünschte Veränderung bzw. Einstellung durchgeführt werden kann.

Eine Möglichkeit zur Einstellung der Federcharakteristik besteht in der Anpassung der Schwingungseigenschaften durch Änderung der Masse, was ganz allgemein durch Einbau oder Ausbau von Masseelementen allenfalls unterschiedlicher Größe in die bzw. aus der Federeinheit erfolgen kann. Z.B. können Fluide in Behälter eingefüllt bzw. aus diesen entnommen werden. Die eingesetzten Behälter und/oder Massen, insbesondere Flüssigkeiten, können ein vorgegebenes, von Fall zu Fall unterschiedliches Volumen belegen und/oder unterschiedliche Dichte besitzen.

Ein für tribologische Messungen eingesetztes Rheometer besitzt Aufnahmen für erfindungsgemäße Module bzw. Tribozellen, an die die Träger der Probekörper und/oder der Federeinheiten angepasst sind.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert:

**Fig. 3** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Rheometers 1. **Fig. 4** und **4a** zeigen eine Ausführungsform eines Moduls im Schnitt. **Fig. 5** und **5a** zeigen Details aus Fig. 4. **Fig. 6, 6a, 6b, 6c** und **6d** zeigen ein Modul in unterschiedlichen Ansichten und Details. **Fig. 7** zeigt ein Modul ähnlich dem in der Fig. 6 bis 6d dargestellten Modul in einer Tribozelle. **Fig. 8 bis 10** zeigen unterschiedliche Möglichkeiten zur Änderung der Schwingungseigenschaften durch Masseänderung oder Dämpfung.

Das in Fig. 3 dargestellte Rheometer 1 umfasst einen Messmotor 4 und eine an diesen angeschlossene Messwelle 6, an deren unterem Ende ein oben liegender Probekörper 7 in Form einer Kugel angebracht ist. Mit einer z.B. in einer Auswerte- und Steuereinheit 40 angeordneten Normalkraftregeleinheit kann, insbesondere durch vorheriges Absenken des auskragenden Arms 5a, der Probekörper 7 mit definierter Kraft an den unten

befindlichen Probekörper 8 angedrückt werden.. Drei symmetrisch zueinander angebrachte untere Probekörper 8 in Form von Blättchen stehen in tribologischem Kontakt mit der Kugel 7. Die Blättchen 8 werden von einem Halter 9 abgestützt, der in weiterer Folge von einer Feder 10 abgestützt wird. Der Halter 9 und die Feder 10 definieren die mit 3 bezeichnete Federeinheit, die sich über die Länge des Pfeils 3' erstreckt. Die Federkonstante dieser Federeinheit 3 kann vorteilhafterweise über die Steuer – und Auswerteeinheit 40 mittels eines Verstellmechanismus bzw. Stelleinheit 13 , allenfalls automatisch, abgeändert werden. Die Federeinheit 3 befindet sich auf einem Träger 11, der in ein basisnahes Lager 12 des Rheometers 1 einsetzbar und gegebenenfalls antreibbar ist. Im vorliegenden Fall wird der Probekörper 7 mit der Messwelle 6 rotiert.

Die Federeigenschaften dieser Federeinheit 3 sind repräsentant für die Federeigenschaften des gesamten Rheometers 1 bzw. des Schwingkreises 30, der, wie mit dem Pfeil angedeutet, sämtliche im Kraftkreis liegenden, beweglichen, insbesondere federelastisch beweglichen, Teile des Rheometers 1 umfasst, welche bei der Kraftaufbringung auf die Probekörper 7, 8 verformbar sind und damit die Möglichkeit besitzen, federwirksam in Erscheinung zu treten bzw. Kräfte auf die Probekörper 7, 8 auszuüben, die Resonanzen bzw. Schwingungen im Schwingkreis 30 erzeugen können.

Gemeinsam mit dem Träger 11 stellt die Federeinheit 3 ein erfindungsgemäßes Modul bzw. eine in ein Rheometer 1 einsetzbare tribologische Messzelle dar. Die Federeinheit 3 mit dem Träger 11 kann in das Rheometer 1 austauschbar integriert werden bzw. stellt eine ein- und ausbaubare Baugruppe dar, und zumindest einer der Messteile des Rheometers 1 kann gegen diese Baugruppe bzw. gegen das erfindungsgemäße Modul ausgetauscht werden. Der andere Messteil des Rheometers 1 wird durch einen Probekörper oder ebenfalls ein Modul ersetzt. Es kann somit auch für den in Fig. 3 dargestellten oberen Probekörper 7 eine Federeinheit 3 vorgesehen sein, sodass die Probekörper 7, 8 insgesamt von zwei Federeinheiten 3 belastet werden, bei denen die Federcharakteristik abgeändert bzw. eingestellt werden kann.

Werden die Messungen im extremen Temperaturbereich durchgeführt, so ist es von Vorteil, die Feder 10 außerhalb des für den tribologischen Kontakt temperierten Bereich vorzusehen, um Temperatureinflüsse zu vermeiden. Die Probekörper 7, 8 können innerhalb einer Temperierkammer 50 angeordnet sein, welche den tribologischen Kontakt umgeben. Die Temperierteile können auch in den Haltern 9 für die Probekörper 7, 8

integriert sein. Hierfür kommen insbesondere Widerstandsheizungen oder Peltierelemente in Frage.

In der Federeinheit 3 kann die Feder 10 derart angeordnet sein, dass sie beispielsweise mittels Einspannvorrichtung mit Schnellverschluss ausgetauscht werden kann und durch Einsatz bzw. Austausch von unterschiedliche Federcharakteristik aufweisenden Federn eine Anpassung der Federeinheit 3 erfolgen kann. Es kann somit eine Anzahl von Modulen zur Verfügung gestellt werden, die zur Anpassung der Federcharakteristik des jeweiligen Rheometers an die jeweils gegebene Messsituation ausgetauscht werden können.

In den Fig. 4 und 4a ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Moduls dargestellt, das in ein Rheometer einsetzbar ist. Die Federeinheit 3 umfasst eine Blattfeder 10, die im Wesentlichen in einer horizontalen Ebene ausgerichtet ist und in ihrem Längsbereich über ein Stützelement 72 einen Gleitstein 38 und einen Aufnahmeteil 39 den Halter 9 der Probekörper 8 abstützt. Die Probekörper 8 sind von Plättchen gebildet, ähnlich wie sie in Fig. 3 dargestellt sind. In den Aufnahmeteil 39 kann der Halter 9 eingesteckt bzw. auswechselbar befestigt werden. Der Aufnahmeteil 39 ist mit dem Gleitstein 38 verbunden, der mit möglichst geringer Reibung in x-y-Richtung in dem Stützelement 72 zur Zentrierung des Halters 9 bzw. der Probekörper 8 verschiebbar gelagert ist, z.B. durch Kombination von zwei Linearführungen. Das untere Ende des Stützelements 72 kann mit der Blattfeder 10, insbesondere mit ihrem Mittelbereich, verbunden, z.B. verschraubt bzw. verschweißt, sein. Die Blattfeder 10 ruht auf zwei Auflagen 31, 33, die in einer Nut 75 einer Grundplatte 37 gegeneinander verschiebbar geführt sind. Dazu sind die Auflagen 31, 33 mittels Stiften 36 in spiralförmig verlaufenden Nuten 35 in einem – wie aus Fig. 5 und 5a ersichtlich – gegenüber der Grundplatte 37 verdrehbaren Bauteil 34 gelagert. Durch Verdrehen des Bauteils kann die Position bzw. der Abstand der Auflagen 31, 33 in Bezug auf den Mittenbereich der Blattfeder 10 verändert werden, womit die Charakteristik der Blattfeder 10 bzw. deren Schwingungseigenschaften verändert wird. Die Verdrehung des Bauteils 34 kann händisch oder mit einem Stellmotor automatisch erfolgen.

Fig. 6 zeigt ein erfindungsgemäßes Modul, das einen Träger 11 aufweist, der in ein Lager 12 in der Basis 5 oder in einen Kragarm 33 oder in eine Antriebs- oder Messwelle 6 eines Rheometers 1 einsetzbar bzw. damit verbindbar ist. Dieser Träger 11 stützt zumindest eine Platte 41 der in Fig. 6a gezeigten Art ab, an deren Umfang in Plattenausnehmungen eine Anzahl von, im vorliegenden Fall drei, sich etwa in Umfangsrichtung erstreckenden

Blattfedern 10 befestigt ist. Diese Blattfedern 10 könnten allenfalls auch mit der Platte 41 einstückig ausgeführt sein. In ihrem freien Endbereich tragen die jeweiligen Blattfedern 10 Probekörper 8, die im vorliegenden Fall als Stifte ausgeführt sind. Ohne Weiteres können diese Probekörper auch als Kugeln ausgebildet sein oder andere Form besitzt. Auf jeden Fall wird dafür Sorge getragen, dass die Anordnung radial ausgewogen bzw. ausgewuchtet ist. Die einzelnen Sektoren, die im vorliegenden Fall  $120^\circ$  betragen, der Platte 41 sind dazu deckungsgleich ausgebildet. Diese Probekörper 8 werden mit den Federn 10 gegen einen gegenüberliegenden Probekörper 7, z.B. eine Scheibe oder einen Ring, gedrückt, der in Fig. 6b dargestellt ist. Fig. 6a zeigt eine schematische Draufsicht auf die Platte 41 und Fig. 6b einen Detailausschnitt durch eine Feder 10 mit eingesetztem, stiftförmigem Probekörper 10. Zusätzlich kann zwischen den Federn kann auch ein Elastomer als Dämpfungselement eingesetzt werden, um die Amplitude des Schwingensystems zu dämpfen und die Schwingungscharakteristik zusätzlich zu ändern.

Fig. 6c zeigt einen am Träger 11 befestigten Halteteil 45 für zwei Platten 41. Die beiden Platten 41 werden parallel zueinander in Umfangsnuten des Halteteils 45 eingesetzt. Des Weiteren trägt der Halteteil 45 eine Anzahl von im Wesentlichen radial verlaufenden, stegförmigen Klemmbauteilen 46, entsprechend Fig. 6d, deren Anzahl insbesondere der Anzahl der vorgegebenen Blattfedern 10 entspricht, sodass jede Freilänge der Feder 10 mit einem eigenen etwa die Form einer Speiche aufweisenden Klemmbauteil 46 eingestellt werden kann. Diese Klemmbauteile 46 sind relativ zu den Federn 10 bzw. zu den Platten 41 um die Achse des Trägers 11 rotierbar. Je nach der Länge des Abschnitts der Blattfeder 10, der von dem jeweiligen Klemmbauteil 46 eingestellt wird, ändert sich das Schwingungsverhalten der Blattfedern 10.

Bei der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform eines Moduls bzw. Rheometers 1 erfolgt somit eine separate Abfederung der einzelnen Probekörper 8. Wie aus Fig. 6 und 7 hervorgeht, kann die Platte 41 doppelt vorgesehen sein und die beiden parallelen Platten 41 können mittels der Halter 9 miteinander verbunden werden, sodass jeder Probekörper 8 über seinen Halter 9 mit zwei Federn 10 verbunden bzw. von diesen abgedeutet ist, die über den Halter 9 Probekörper 8 tragen. Das Modul wird mit einem Antriebs- und/oder Messmotor bei der Messung rotiert.

Fig. 7 zeigt ein in ein Rheometer 1 eingebautes Modul gemäß Fig. 6 bis 6d. Dieses Modul unterscheidet sich geringfügig von dem in den Fig. 6 bis 6d dargestellten Modul, und zwar im Hinblick auf die Belastung der Blattfedern 10 durch die Speichen 46 sowie auf die Form der Platte 41 und der Blattfedern 10. Die Blattfedern 10 sind einstückig aus der

Platte 41 geformt und zeigen Umfangsschlitze 82 für die Durchführung von Spannstiften und Festlegung der Speichen 46 in beliebiger Umfangslage. Die Speichen 46 können bei dieser abgeänderten Ausführungsform mittels eines Schwenkverschlusses 80 fest mit den Blattfedern 10 in einer definierten Stellung verbunden werden.

Ferner ist in Fig. 7 der in Form einer Platte ausgebildete, untere Probekörper 7 zu erkennen. Bei dieser Ausführungsform ist der Träger 11 von dem auskragenden Arm 33 eines Rheometers abgehängt und wird rotiert. Zur Temperierung der oberen Probekörper 8 können nicht näher erläuterte Temperatureinheiten 82 vorgesehen sein, die allenfalls Temperierfluid in den Raum mit den Probekörpern 8 einbringen. Der plattenförmige Probekörper 7 kann mit einer den Raum um die Probekörper 8 bzw. um das Modul ausbildenden Wandung 83 festgelegt bzw. gehalten werden.

Wie aus Fig. 7 hervorgeht, kann der Probekörper 7, der in Form einer Platte ausgebildet ist bewegungsinvariant, auf einem Temperierteil 81 aufliegen und bildet bei dieser Ausführungsform den unten liegenden Probekörper. Der im diesem Fall oben liegende Probekörper 8 wird über den Träger 11 relativ zu dem Probekörper 7 rotiert, wobei die Probekörper 8 in tribologischen Kontakt mit dem als Scheibe ausgebildeten Probekörper 7 stehen.

Verwendet man ein Rheometer mit voneinander getrennten Rotationsmotor und Messmotor kann die Bewegung des Moduls mit den oberen Probekörpern 8 auf eine Kraftrückstellung beschränkt und der untere Probekörper 7 in Form der Platte 41 rotiert werden. Insbesondere wenn das Modul bei der Messung rotiert wird, ist es von Vorteil, wenn die gesamte federnde Anordnung bzw. das Modul leicht und rotationssymmetrisch zur Vermeidung von Unwuchtigkeiten ausgeführt wird.

Fig. 8 zeigt eine Ausführungsform eines Rheometers 1 mit einem Federelement, bei dem die Dämpfung von Schwingungen durch einen an der Feder 10 befestigten bzw. von dieser getragenen Topf oder Bügel 66 erfolgt. Der Bügel 66 ist mit einem Elastomer-Ring 67 abgestützt, der auf der Basis 5 ruht und gegen den der Bügel 66 entweder andauernd anliegt oder im Bereich des unteren Totpunktes der Schwingung der Feder 10 anlegbar ist. Je nach der Härte des eingesetzten Elastomers wird die Dämpfung des Schwingkreises unterschiedlich verändert. Ein Wechsel der Elastomer-Ringe 67 kann beispielsweise nach Öffnung oder Abnahme des Bügels und Austausch der Elastomere vorgenommen werden.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 9 wird der kugelförmige Probekörper 7 mit einer Antriebswelle 6 rotiert. Der Probekörper 8 in Form einer Anzahl von Plättchen liegt auf einem Halter 9. Die Winkel der Platten gegen die Horizontale sind dabei beliebig einstellbar. In der Antriebswelle 6 des Probekörpers 7 ist ein Kardangelenk 70 ausgebildet, um den von der Messwelle 6 angetriebenen Probekörper 7 zu zentrieren. Prinzipiell sind an Stelle des dargestellten Kardangelenks auch andere drehsteife gelenkige Wellenverbindungen wie z.B. cv-Gelenke oder Ballenkupplungen einsetzbar. Auch derartige Gelenke und Kupplungen können den erforderlichen Radial- und Winkelversatz ermöglichen, bedingen jedoch ebenfalls eine herabgesetzte bzw. veränderte Compliance des Rheometers.

Das Dämpfungselement bei dieser Ausführungsform besteht aus einem Topf 68 und einem Kolben 69, der innerhalb des Topfes 68 höhenverschiebbar ist. Der Topf 68 und der Kolben 69 sind mit der den Halter 9 tragenden Feder 10 verbunden, und zwar an voneinander beabstandeten Bereichen der Feder 10. Bei einer Bewegung bzw. Schwingung der Feder 10 dämpft der in dem Topf 68 verschiebbare Kolben 69 die Federschwingungen. Der Kolben 69 kann sich in einem Schmiermittel oder Öl bewegen, das sich innerhalb des Topfes 68 befindet. Diese Anordnung könnte als stark vereinfachte Form eines hydraulischen Stoßdämpfers betrachtet werden, der mit den Enden der Feder 10 verbunden ist. Die Dämpfungscharakteristik kann über die Drosselung der Fluidströmung beispielsweise durch ein Drosselventil im Dämpfer beeinflusst werden.

Fig. 10 zeigt eine Anordnung, bei der in ein Rheometer 1 eine Tribologiezelle bzw. Modul eingesetzt ist, die zwei plattenförmige, gegeneinander gedrückte Probekörper 7, 8 aufweist, wobei zwischen den Probekörper Kontaktmaterial 91 eingefügt ist, das den Reibungskontakt zwischen den Probeflächen 7, 8 mitbestimmt. Der Probekörper 8 ist dabei von einem als Behälter 62 ausgebildetem Halter abgestützt, in dem ein Kolben 63 auf und ab bewegbar ist. Dabei kann je nach Bewegungsrichtung des Kolbens Fluid aus einem Reservoir 64 in den Behälter 62 einströmen bzw. ausströmen und die Behältergröße an das Volumen des Fluids angepasst werden. Der Halter 9 sowie der Kolben 63 und der Behälter 62 sind von der Feder 10 abgestützt. Die automatische Anpassung der Schwingungscharakteristik erfolgt also über die Befüllung des Behälters 62 bzw. die dadurch einhergehende Massenänderung.

Ein in den Behälter 62 mündender, hochflexibler Schlauch 65 ändert das Schwingungsverhalten der Federeinheit 3, die die Feder 10 und den Halter 10 umfasst, nur geringfügig und verbindet das Reservoir 64 mit dem Behälter. Die Art der

Druckaufbringung und Befüllung kann sowohl durch Bewegung des Kolbens als auch durch Druckaufbringung am Reservoir 64 automatisiert über die Auswerte- und Steuereinheit 40 erfolgen und wird hier nicht näher dargestellt.

Eine weitere Alternative wäre die Verwendung von sich dehnenden Gefäßen wie beispielsweise Membrane, Ballons und dergleichen, die analog zum Behälter 62 befüllbar sind und ihr Volumen an die Fluidmenge anpassen.

Die Veränderung der Masse der Federeinheit 3 kann beispielsweise auch durch magnetisch anbringbare Teilchen erfolgen. In der Regel handelt es sich um relativ kleine Teile, die ohne Weiteres in die erfindungsgemäßen Module eingefügt werden können.

Bei den Bauteilen kann es sich beispielsweise auch um aufblasbare Behälter handeln, die je nach ihrem Innendruck mehr oder weniger stark gegen den Halter 9 der Probekörper 7, 8 anlegbar sind und damit die der Federeinheit 3 dämpfen.

## Patentansprüche:

1. Verfahren zur Ermittlung tribologischer Messwerte von Probekörpern (7, 8) mit einem Rheometer (1), wobei die Messteile des Rheometers (1) durch Probekörper (7, 8) ersetzt werden und die Probekörper (7, 8) einander gegenüberliegend, insbesondere in vertikaler Richtung übereinander liegend, angeordnet werden und die Oberflächen der Probekörper (7, 8) unter Krafteinwirkung in Reibkontakt relativ zueinander bewegt, insbesondere rotiert und/oder rotierend oszilliert, werden, wobei zumindest einer der einander gegenüberliegenden Probekörper (7, 8) mit einer Feder (10) einer Federeinheit (3) abgestützt und gegen den jeweils anderen Probekörper (8, 7) gedrückt wird, und wobei die Drehzahl der Probekörper (7, 8) und/oder das auf die Probekörper (7, 8) aufgebrachte Drehmoment mittels im Rheometer vorgesehenen Antrieben vorgegeben wird und das resultierende Drehmoment und/oder die resultierende Drehzahl der jeweiligen Probekörper (7, 8) als Messwert ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet,
  - dass alle die Probekörper (7, 8) in Kraftschluss und Reibkontakt haltenden bzw. die den Rheometer-Kraftkreis ausbildenden Teile des Rheometers (1), einschließlich der Federeinheit (3), als Schwingkreis (30) angesehen werden,
  - dass die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) als für die Schwingungseigenschaften dieses Schwingkreises (30) relevant und ausreichend repräsentant angesehen werden, und
  - dass vor Beginn und/oder während der Ermittlung der Messwerte die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) unter Berücksichtigung der bei der jeweiligen Messung erwarteten, durch sich verändernde, unterschiedliche Messbedingungen, insbesondere unterschiedliche Masse besitzende Probekörper (7, 8), Änderungen des Reibschlusses und/oder Änderungen der auftretenden Achsialkräfte, bedingte Resonanzschwingungen bzw. -effekte eingestellt bzw. angepasst bzw. ausgeschaltet werden.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass in den Schwingkreis sämtliche an dem Rheometer-Kraftkreis zur Kraftaufbringung auf die in Reibkontakt stehenden Oberflächen der Probekörper (7, 8) beteiligten bzw. sich in diesem Kraftkreis befindlichen Teile des Rheometers (1), insbesondere Gerätebasis (5), Stativ (2), Tragarm (3), Antriebs- und Messwellen (6), Probenhalter (9) und Lager (20), einbezogen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass als für die Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) relevant, die federelastischen beweglichen Abschnitte der zumindest einen Feder (10) der jeweiligen Federeinheit (3), die Masse eines von der jeweiligen Feder (10) getragenen Halters (9) und/oder eines auf der Feder (10) befindlichen Haltebereichs für die Probekörper (7, 8), die Masse der federelastisch unbeweglichen Teile der Federeinheit (3) zwischen der Befestigungsstelle bzw. dem ortsfesten, unbeweglichen Fußpunkt der Feder (10) und der tribologischen Kontaktstelle des von der Feder (10) abgestützten Probekörpers (7, 8) und gegebenenfalls die Masse der Probekörper (7, 8) angesehen bzw. für eine allfällige Abänderung herangezogen werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 dadurch gekennzeichnet,

- dass zur Einstellung der Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) die Steifigkeit der Feder (10) bzw. die Federkonstante der Feder (10), vorzugsweise durch Änderung der Federlänge bzw. des federwirksamen Anteils der Gesamtfederlänge der Feder (10), verändert wird, und/oder
- dass die Masse der Probekörper (7, 8) und/oder die Masse der federelastisch unbeweglichen Teile (9) der Federeinheit (3) verändert wird, insbesondere durch Hinzufügen oder Wegnehmen von an den Probekörpern (7, 8) bzw. den federelastisch unbeweglichen Teilen der Federeinheit (3), vorzugsweise dem Halter (9) bzw. Haltebereich, anbringbare bzw. abnehmbare Massen, und/oder
- dass die Schwingungsbewegung der Feder (10) durch ein an der Feder (10) und/oder an dem jeweiligen Probekörper (7, 8) und/oder an den federelastisch unbeweglichen Teilen (9) angreifendes Dämpfungselement gebremst bzw. gedämpft wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 dadurch gekennzeichnet, dass zwischen die in Reibkontakt stehenden Oberflächen der Probekörper (7, 8) eine Zwischenlage bzw. -schicht (91) aus die Reibung zwischen den Oberflächen beeinflussendem Material eingebracht wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, dass die Kraft, mit der die Probekörper (7, 8) gegeneinander gedrückt werden, mit einem Regelkreis eingeregelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass die Federkonstante bzw. Nachgiebigkeit der den Schwingkreis (30) ausbildenden Teile des

Rheometers (1) bei der Einstellung bzw. Anpassung der Schwingungseigenschaften der Federeinheit (3) unberücksichtigt bzw. unverändert bleiben.

8. Modul bzw. Tribologiezelle für ein Rheometer, insbesondere für eine Verwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Modul bzw. die Tribologiezelle einen in einen Antriebs- und/oder Aufnahmeteil (12) des Rheometers (1) einsetzbaren oder daran anschließbaren Träger (11) aufweist, der zumindest eine Feder (10) trägt, die über einen Halter (9) oder einen Haltebereich zumindest einen Probekörper (8) abstützt, dadurch gekennzeichnet,

- dass die Feder (10) und der Halter (9) oder Haltebereich als Teile eines mechanischen Schwingensystems angesehen werden und dessen Schwingungseigenschaften bestimmen, und
- dass eine Stelleinheit (13) vorgesehen ist, mit der die Schwingungseigenschaften dieses Schwingensystems verstellbar bzw. abänderbar sind.

9. Modul nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet,

- dass mit der Stelleinheit (13) die Federkonstante der Feder (10) abänderbar ist und die Stelleinheit (13) gegebenenfalls zumindest einen an die Feder anlegbaren bzw. belastenden Bauteil (31, 33, 46) aufweist, der die federwirksame Länge der Feder (10) verstellt, und/oder
- dass mit der Stelleinheit (13) die von der Feder (10) getragene Masse abänderbar ist und die Stelleinheit (13) gegebenenfalls einen an der Feder (10) und/oder an dem Halter (9) befindlichen Behälter (19) zur definierten Eingabe oder Entnahme eines Mediums (62), vorzugsweise einer Flüssigkeit, aufweist, und/oder
- dass die Stelleinheit (13) ein die Bewegung der Feder (10) und/oder des Halters (9) und/oder des Probekörpers (7, 8) mechanisch durch Reibschluss dämpfendes Element, gegebenenfalls in Form von sich an der Feder (10) abstützenden Reibteilen (68, 69), umfasst.

10. Modul nach Anspruch 8 oder 9 dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (11) zumindest eine Platte (14) trägt, von der zumindest eine Feder (10), vorzugsweise eine Mehrzahl von Federn (10), jeweils in Form einer parallel zur Platte (14) ausgerichteten Blattfeder (10) abgeht, die in ihrem freien Endbereich, gegebenenfalls über einen Halter (9), einen Probekörper (7, 8) trägt, wobei für jede Blattfeder (10) ein Klemmbauteil (46) vorgesehen ist, mit dem der Körper der Feder (10) in bezüglich ihres Plattenabstands unterschiedlichen, insbesondere kontinuierlich veränderbaren, Anlagstellungen belastbar bzw. feststellbar ist, wobei gegebenenfalls der Klemmbauteil (46) die Form von um den

Halter (9) rotierbaren Speichen besitzt, die gegen die im Wesentlichen in Umfangsrichtung der Platte (14) ausgerichtete Blattfedern (10) anlegbar und gegebenenfalls in unterschiedlichen Anlagstellungen fixierbar sind.

11. Modul nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet,

- dass die Feder (10) in Form einer insbesondere horizontal angeordneten Blattfeder ausgebildet ist, die in beiderseits ihres Längsmittelbereichs liegenden Auflagen (31, 33) abgestützt ist,
- dass der Halter (9) für die Probekörper (7, 8), gegebenenfalls über einen in x-y-Richtung beweglich geführten Gleitstein (38), im Längsmittelnbereich der Blattfeder (10) abgestützt ist, und
- dass die Auflagen (31, 33) längs der Blattfeder (10), insbesondere gleichzeitig und mit gleichem Vorschub, verstellbar sind, wozu gegebenenfalls die Auflagen (31, 33) in spiralförmigen Nuten (35) einer unterhalb der Blattfeder (10) angeordneten Grundplatte (37) geführt sind und bei Verdrehung der spiralförmigen Nuten (35) in Längsrichtung der Blattfeder (10) aufeinander zu bzw. voneinander weg verschiebbar angeordnet sind.

12. Modul nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Probekörper (7, 8) an der Feder (10) in einem Haltebereich der Feder (10) mit einem Halter (9) gehalten oder an der Feder direkt befestigt, z.B. eingeschraubt, geklemmt oder angeschweißt, ist.

13. Rheometer, insbesondere umfassend ein Modul nach einem der Ansprüche 8 bis 12, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, umfassend

- einen rheometernahen Träger (6) und einen rheometernahen Träger (11), die jeweils einen Probekörper (7, 8) abstützen, wobei die Träger (6, 11) von den Messteilaufnahmen bzw. -anschlüssen oder Mess- oder Antriebswellenanschlüssen des Rheometers (1) aufgenommen sind oder von abnehmbaren oder einsetzbaren Messwellen gebildet sind, wobei zumindest einer der beiden Träger (6, 11) jeweils zumindest eine Feder (10) abstützt, die über einen Halter (9) oder Haltebereich zumindest einen Probekörper (7, 8) abstützt,
- Antriebseinheiten zur Rotation zumindest eines Trägers (6, 11) mit vorgegebener Drehzahl und/oder vorgegebenem Drehmoment,
- Messeinheiten zur Messung der aufgebrachtten und/oder auftretenden Drehzahlen und Drehmomente, und

- eine die Probekörper (7, 8) in gegenseitigen Reibkontakt drückende Druckkrafteinheit, die gegebenenfalls eine Regeleinheit für die aufzubringenden Druckkräfte aufweist, wobei zumindest einer der Träger (6, 11) sowie die von diesem abgestützte, zumindest eine Feder (10) und der auf der Feder (10) befindliche Halter (9) bzw. Haltebereich in Form eines Moduls gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11 ausgebildet sind.

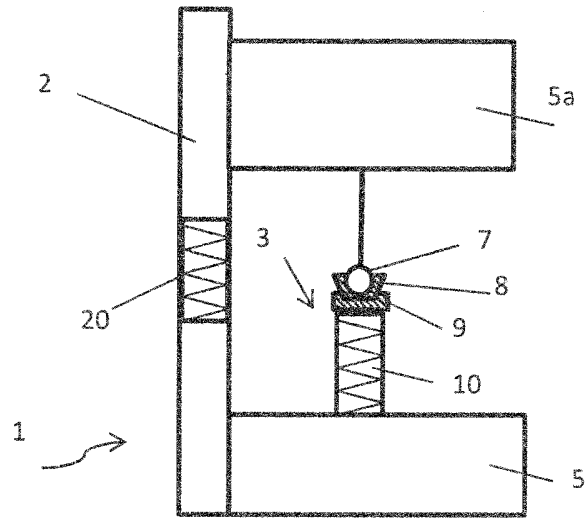


Fig. 1

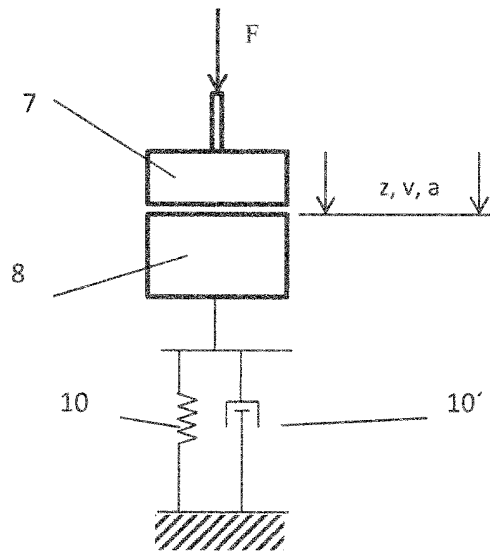
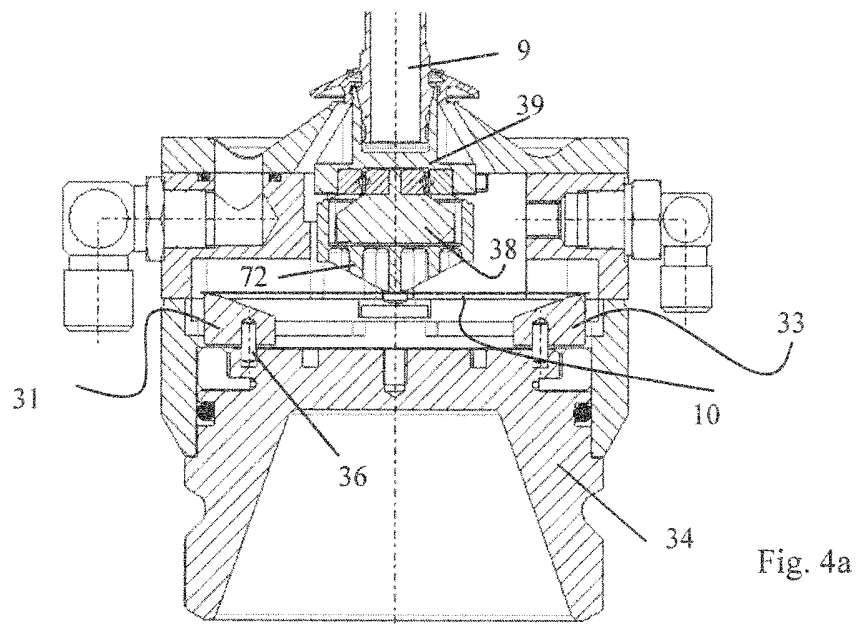
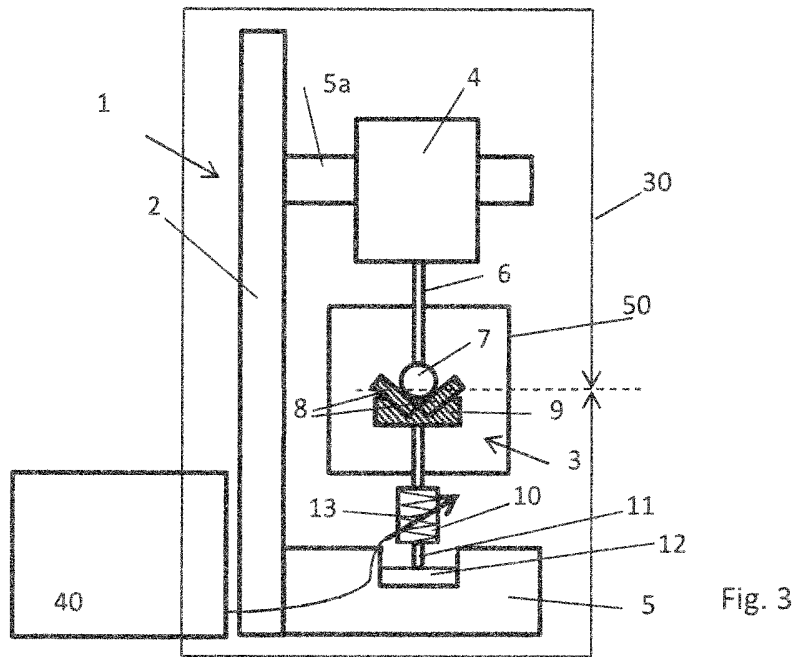


Fig. 2



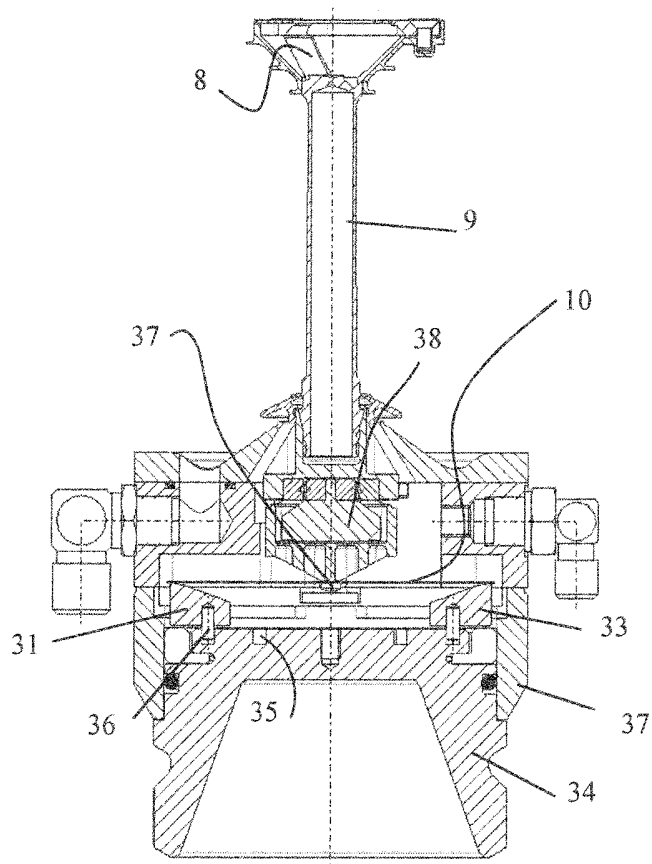
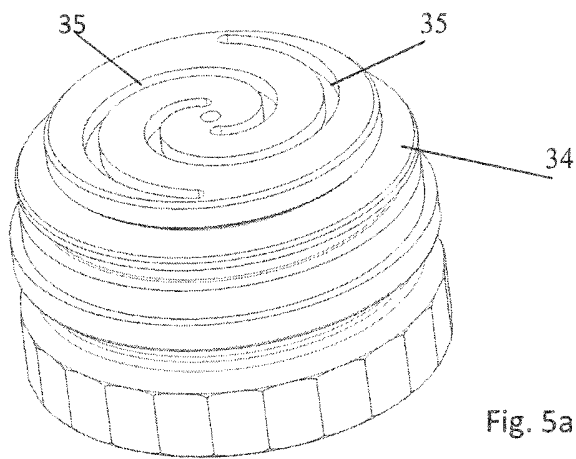
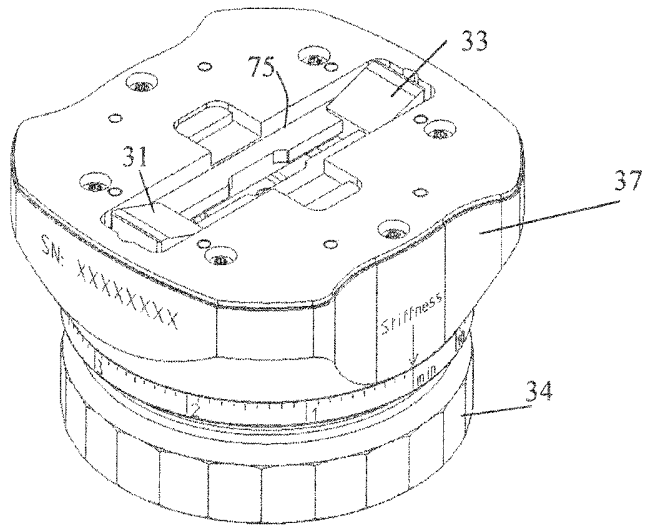
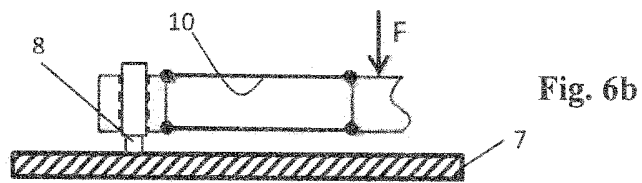
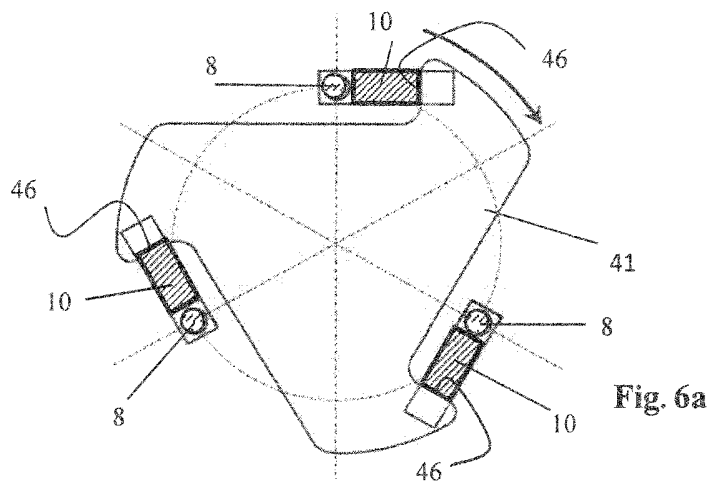
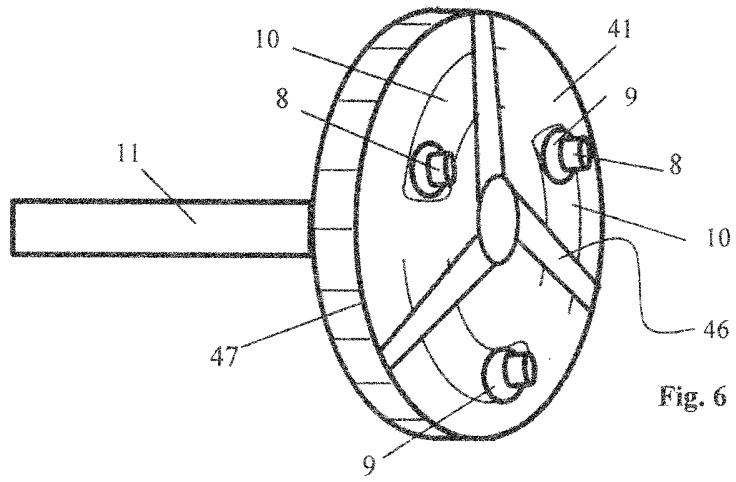


Fig. 4





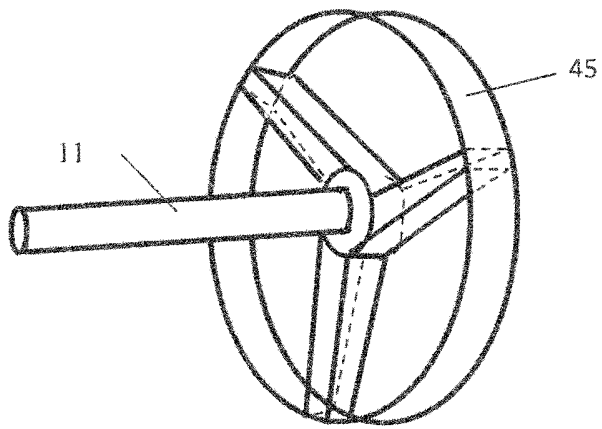


Fig. 6c

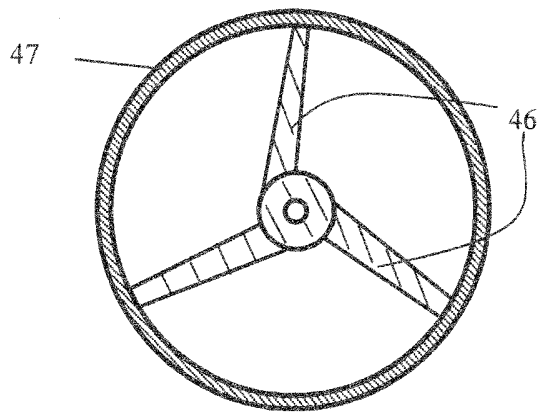


Fig. 6d

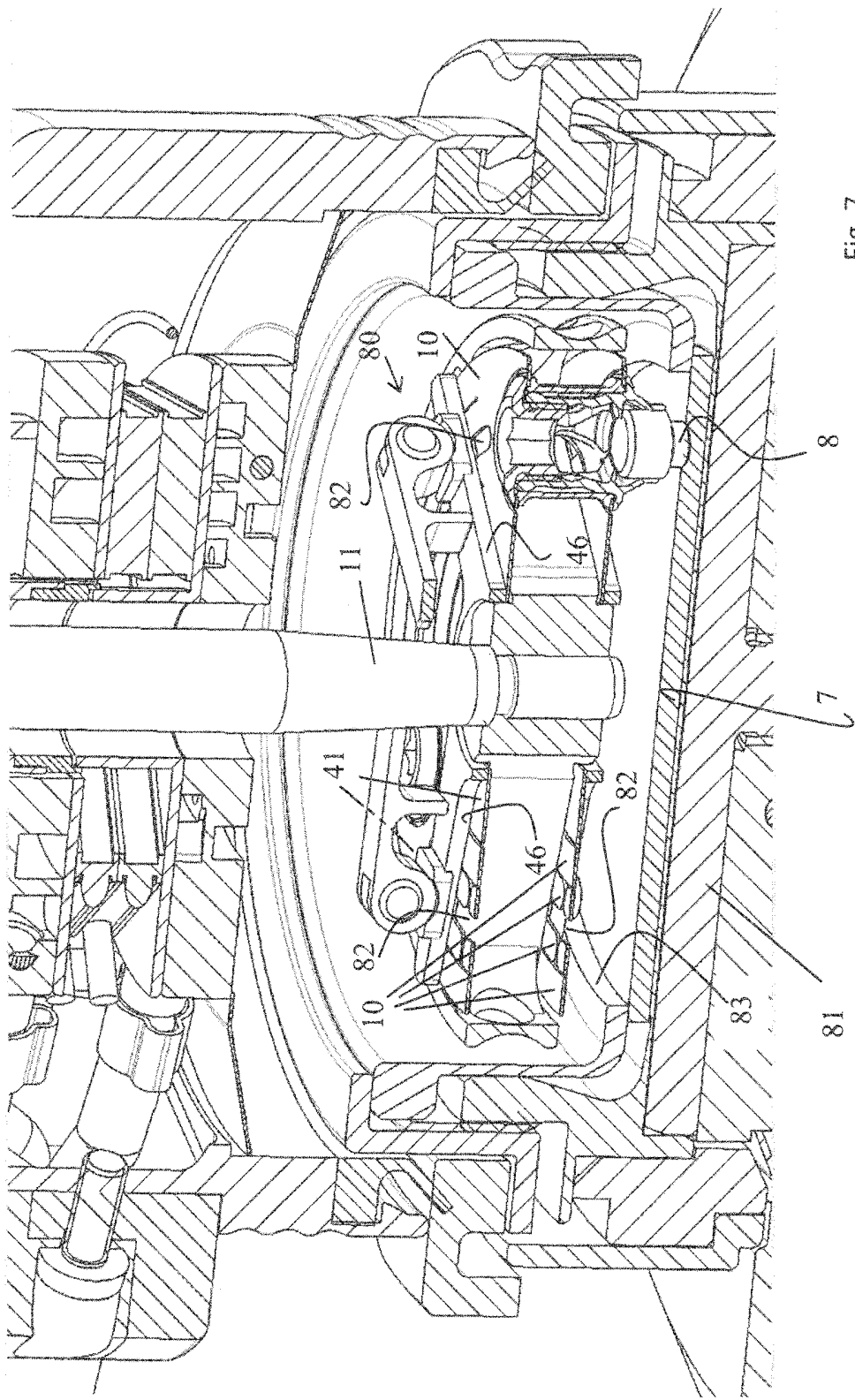


Fig. 7

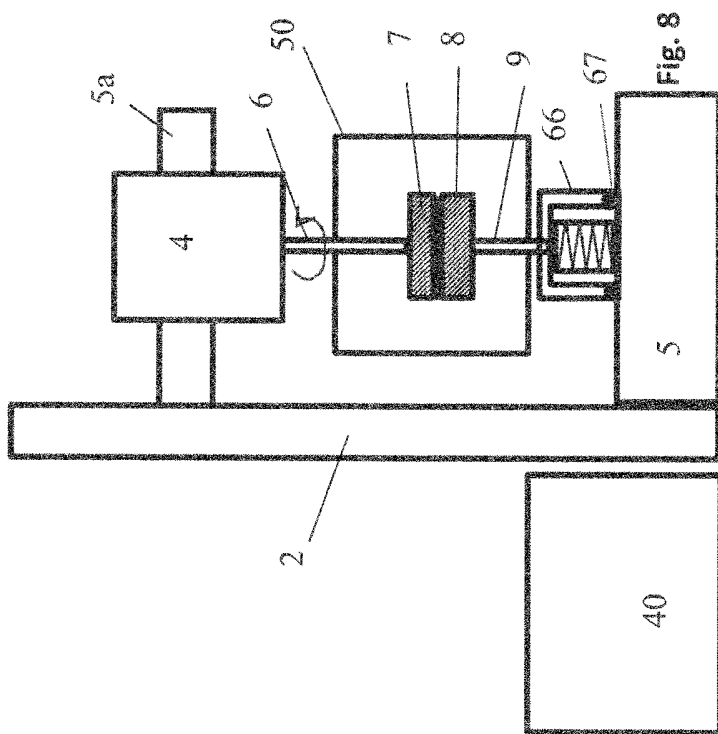


Fig. 8

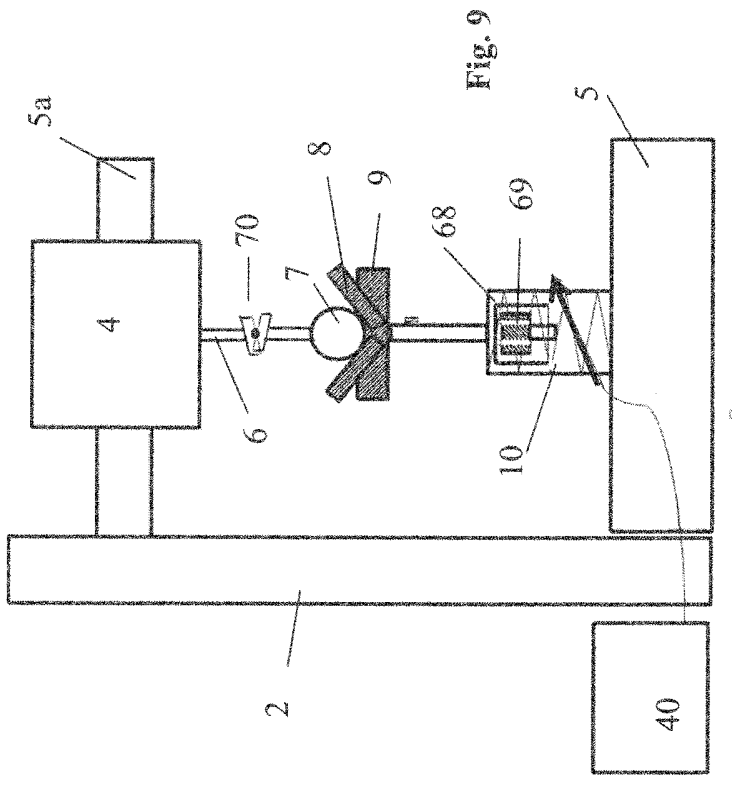


Fig. 9

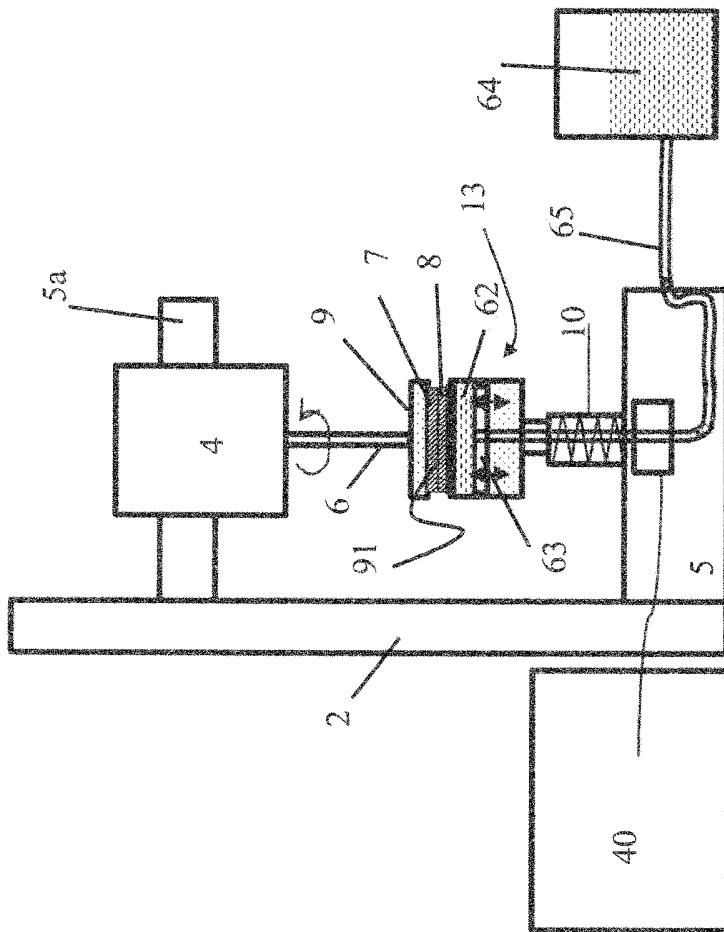


Fig. 10

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: <b>G01N 11/14</b> (2006.01); <b>G01N 19/02</b> (2006.01)
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC: <b>G01N 11/142</b> (2013.01); <b>G01N 19/02</b> (2013.01)
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): G01N
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **06.09.2013** eingereichten Ansprüchen **1 - 13** erstellt.

Kategorie <sup>*)</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 8371182B1 (ISRAELACHVILI, J.) 12. Februar 2013 (12.02.2013) Zusammenfassung; Fig. 1, 2, 4; Spalte 2, Zeilen 22 - 41; Spalte 5, Zeile 44 - Spalte 6, Zeile 43.	1 - 10, 12 - 13
A	AT 508706 A1 (ANTON PAAR GMBH) 15. März 2011 (15.03.2011) Zusammenfassung; Fig. 2.	1 - 13
A	AT 505938 B1 (ANTON PAAR GMBH) 15. Mai 2009 (15.05.2009) das gesamte Dokument.	1 - 13
A	EP 2150800 A1 (CARGILL INC) 10. Februar 2010 (10.02.2010) Zusammenfassung; Fig. 1.	1 - 13

Datum der Beendigung der Recherche: 18.06.2014	Seite 1 von 1	Prüfer(in): SEYRINGER Christian
---	---------------	------------------------------------

<sup>*)</sup> <b>Kategorien</b> der angeführten Dokumente: <b>X</b> Veröffentlichung <b>von besonderer Bedeutung</b> : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. <b>Y</b> Veröffentlichung <b>von Bedeutung</b> : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese <b>Verbindung für einen Fachmann naheliegend</b> ist.	<b>A</b> Veröffentlichung, die den allgemeinen <b>Stand der Technik</b> definiert. <b>P</b> Dokument, das von <b>Bedeutung</b> ist (Kategorien <b>X</b> oder <b>Y</b> ), jedoch <b>nach dem Prioritätstag</b> der Anmeldung veröffentlicht wurde. <b>E</b> Dokument, das <b>von besonderer Bedeutung</b> ist (Kategorie <b>X</b> ), aus dem ein „ <b>älteres Recht</b> “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). <b>&amp;</b> Veröffentlichung, die Mitglied der selben <b>Patentfamilie</b> ist.
---	---