

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **716 047 A2**

(51) Int. Cl.: **B02C 17/14** (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 00472/19

(71) Anmelder:
Arcolor AG, Urnäserstrasse 50
9104 Waldstatt (CH)

(22) Anmeldedatum: 08.04.2019

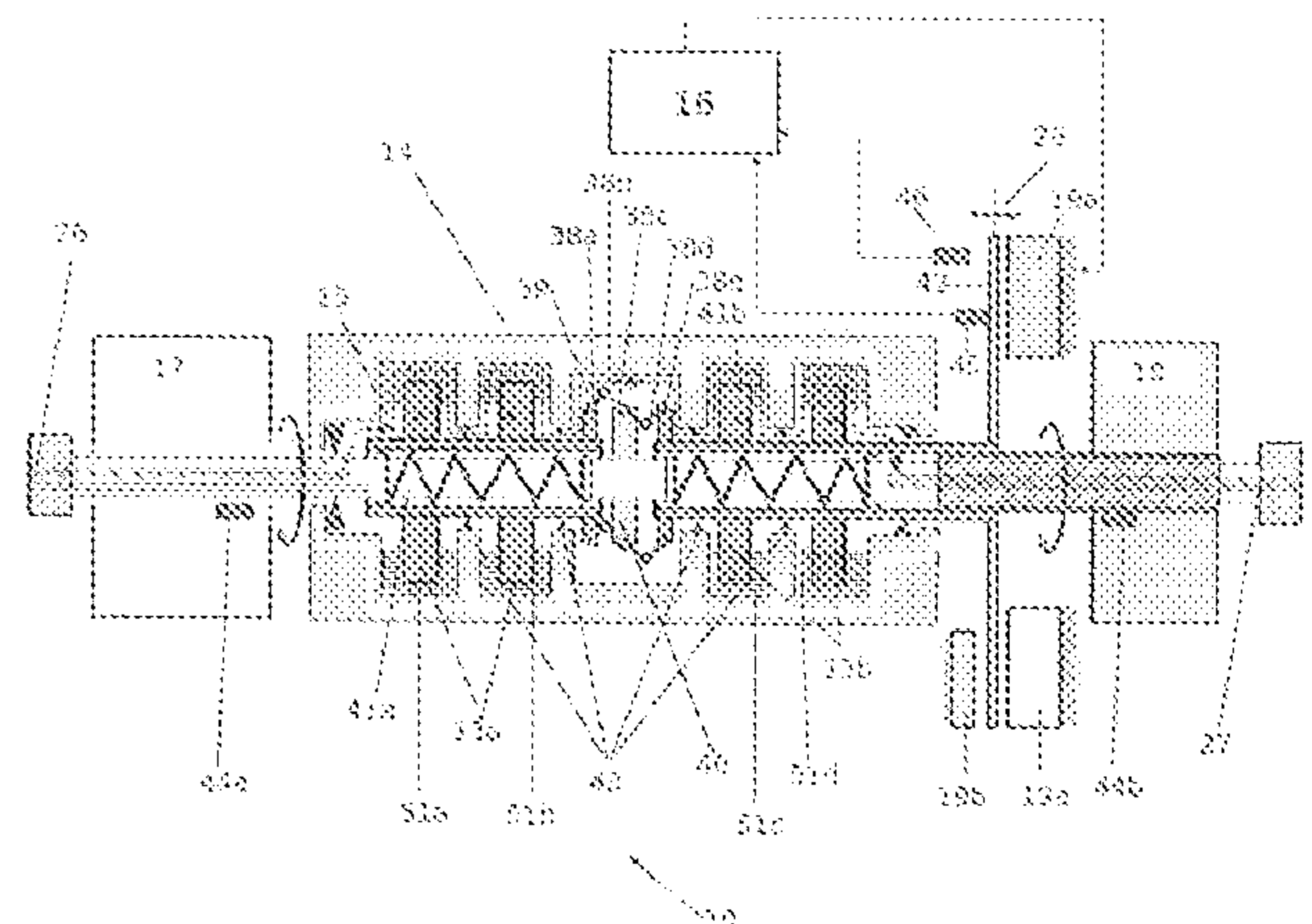
(72) Erfinder:
Boris Ouriev, 9200 Gossau (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.10.2020

(74) Vertreter:
KAMINSKI HARMANN PATENTANWÄLTE AG,
Rosenbergstrasse 60
9000 St. Gallen (CH)

(54) **Mahlvorrichtung mit einer überlagerten Rotations- und Translationsbewegung zum Zerkleinern von Partikeln in einer Flüssigkeit.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Mahlvorrichtung (10) mit einer überlagerten Rotations- und Translationsbewegung zum Zerkleinern von Partikeln in einer Flüssigkeit. Auf einem Rotorschafft sind ein erster Rotor (13a) und ein zweiter Rotor (13b) angeordnet. Diese Rotoren sind als Hohlwelle ausgeführt, welche in der Lage ist, ein Fluid oder mehrere voneinander getrennte Flüssigkeiten zu transportieren. Ein erstes Antriebsmittel (17) kann ein Statorgehäuse (14) in Bewegung versetzen, so dass der erste und der zweite Rotor (13a, 13b) und das Statorgehäuse (14) relativ zueinander in eine erste Rotationsbewegung mit einer ersten Drehzahl n_1 versetzbar sind. Der erste und der zweite Rotor (13a, 13b) stehen über einen Kniehebel (39) so in Wirkverbindung zueinander, dass sie entlang einer Maschinenachse mit einer Phasenverschiebung von 180 Grad bewegbar sind. Dazu umfasst die Mahlvorrichtung (10) ein drittes Antriebsmittel (19a, 19b), welches dazu geeignet ist, den Kniehebel (39) mit einer Schwingung mit der Amplitude A im Bereich von 0.05 bis 50 Millimetern und einer Frequenz f im Bereich von 10 Hz bis 1000 Hz zu beaufschlagen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anlage oder Maschine zum Antreiben einer Mahlvorrichtung zur Zerkleinerung von Partikeln in einer Flüssigkeit. Solche Partikel, beispielsweise Farbpartikel, weisen zu Beginn des Mahlvorgangs typischerweise eine Grösse im Mikrometerbereich auf und sollen während des Mahlvorgangs auf eine Grösse bis in den Nanometerbereich, d.h. auf 100 bis 300 Nanometer, idealerweise 1 bis 50 Nanometer, zerkleinert werden.

[0002] Ein solches Mahlverfahren sowie einige grundlegende Aspekte einer Mahlvorrichtung, welche die Herstellung derart kleiner Partikel ermöglicht, wurden in der schweizerischen Patentanmeldung 988/18 vom gleichen Anmelder offenbart, deren technische Lehre hiermit per Referenz übernommen wird. Aus Gründen der Übersichtlichkeit soll die grundsätzliche Funktionsweise des in der Anmeldung 988/18 offenbarten Mahlverfahrens mit Hilfe von Figur 1 zusammengefasst werden:

Wenn sich zwei gegenüberliegende Flächen relativ zueinander bewegen, können sich im Wesentlichen zwei verschiedene Arten von Strömungen bilden: Eine Dehnströmung, auch Quetschströmung genannt, und/oder eine Scherströmung.

[0003] Wenn sich eine stationäre Fläche 22 und eine bewegliche Fläche 21 mit konstanter Geschwindigkeit parallel zueinander bewegen, wobei eine lineare Bewegung oder eine Rotationsbewegung vorliegen kann, tritt in einer Suspension (hier eine strukturviskose Suspension mit Mahlperlen), die sich zwischen den Flächen 22 und 21 befindet, eine Scherströmung auf.

[0004] Ob eine Fläche als stationär oder als beweglich bezeichnet wird, hängt von der Differenzgeschwindigkeit zwischen den Flächen 21 und 22 ab. Wenn sich ein Rotor schneller als ein Stator bewegt, wird die Fläche 22 beweglich und die Fläche 21 stationär, und im umgekehrten Fall, d.h. falls der Rotor langsamer ist als der Stator, wird aus der Fläche 22 eine stationäre Fläche und aus der Fläche 21 eine bewegliche Fläche. Das bedeutet, dass sich je nach Vorzeichen der Differenzgeschwindigkeit zwischen den Flächen 21 und 22 die Definition für eine bewegliche und eine stationäre Fläche ändern kann.

[0005] Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass sich eine stationäre Fläche 22 und eine Fläche 21 aufeinander zu und voneinander weg bewegen. Bei dieser Relativbewegung wird die Suspension, welche sich zwischen den Flächen 22 und 21 befindet, zu den Seiten herausgepresst oder hereingesaugt, und es entsteht eine sogenannte Dehnströmung. Man spricht von einem beidseitigen Verdrängungsprinzip: Zunächst erfolgt eine Ausdehnung der Suspension in eine Richtung und dann eine Kontraktion in die entgegengesetzte Richtung. Dabei ändert sich sowohl der Betrag als auch die Richtung der Geschwindigkeit der Suspension in Abhängigkeit von der Zeit. Wenn die bewegliche Fläche 21 mit einer periodischen, beispielsweise einer sinusförmigen, Schwingung oder mit periodischen Impulsen oder auch mit in ihrer Frequenz und/oder Amplitude kontrollierbaren Schlägen beaufschlagt wird, wird die Suspension periodisch bewegt. Der Frequenzbereich dieser Schwingung liegt typischerweise zwischen 1 Hz und 1000 Hz.

[0006] Diese beiden Bewegungen können auch überlagert auftreten. Daraus resultieren die in Figur 4 dargestellten Newtonschen Fliesseigenschaften aus der synchron induzierten Vibration und der Scherung.

[0007] In Figur 1 ist dargestellt, an welchen Stellen die beiden vorgenannten Strömungsarten während des Betriebs der Mahlvorrichtung auftreten. Im Bereich B tritt eine Scherströmung auf: Bei der stationären Fläche 22 handelt es sich hier um die Innenwandung 30 des Statorgehäuses 14, und bei der beweglichen Fläche 21 handelt es sich um diejenige Aussenfläche des Rotors 13, welche sich parallel zur Maschinenachse 11 befindet. Die Flächen bilden also zwei konzentrische Zylinder. Wenn der Rotor 13 innerhalb des Statorgehäuses 14 rotiert, bewegen sich die beiden Flächen 22 und 21 relativ zueinander mit konstanter Geschwindigkeit. Hierbei ist wieder zu beachten, dass sich je nach Differenzgeschwindigkeit zwischen den Flächen 21 und 22 die Definitionen für bewegliche und stationäre Flächen ändern können.

[0008] In dem Bereich C liegt die folgende Situation vor: Der Rotor 13 und das Statorgehäuse 14 rotieren relativ zueinander und bewegen sich zusätzlich aufgrund der Schwingung aufeinander zu und voneinander weg in Analogie zu zwei Parallelplatten mit einem Spalt. Die Suspension füllt den gesamten Raum zwischen dem Rotor 13 und dem Statorgehäuse 14 aus. Wenn sich der Rotor 13 entlang der Maschinenachse 11 bewegt, dann findet in dem Bereich C jeweils eine Verdrängung nach aussen in Richtung des Bereichs B und nach innen statt. Die Folge ist eine periodische Dehnströmung. Gleichzeitig entsteht eine Scherströmung in einem ringförmigen Kanal zwischen dem Rotor 13 und dem Statorgehäuse 14.

[0009] Man kann mit folgenden Massnahmen Einfluss darauf nehmen, wie gross der Anteil der Dehnströmung und der Scherströmung ist:

- Wahl der Geometrie des Spalts sowie der Oberflächentopologie der Flächen 21 und 22 (z.B. asymmetrische, exzentrische oder kurvige Oberflächen) und Dimensionierung der Breite zwischen der beweglichen Fläche 21 und der stationären Fläche 22;
- Einsatz von elastisch deformierbaren Wänden, besonders auf den Flächen 21 und 22, und/oder losen, den Mahlperlen beigemischten deformierbaren Objekten;

- Einsatz von begrenzenden Bereichen zwischen dem Fluid und der Wand oder Einsatz von durchgehenden Wandbereichen oder trennenden Membranen, welche mehrere Mahlzonen, auch Mahlpassagen genannt, voneinander abtrennen;
- Wert der Amplitude A und der Frequenz f und somit der Schwingungsintensität, welche sich als das Produkt der Amplitude A und der Frequenz f berechnet, sowie die Differenz der Rotationsgeschwindigkeiten n_1 und n_2 (auch als Umfangsgeschwindigkeit bezeichnet, bezogen auf eine schneller drehende Oberfläche) vom Rotor 13 und dem Statorgehäuse 14;
- Signalform des beaufschlagten periodischen Signals (Schwingung), z.B. sinusförmig, puls förmig, dreiecksförmig, Sägezahn oder Schläge;
- Schwingungsimpulse, d.h. Wechsel zwischen einem Schlag und einer Sinusschwingung, oder Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Amplituden, oder Kombinationen davon, mit oder ohne zeitlichen Abständen zwischen den unterschiedlichen Signalformen.

[0010] Die Amplitude A und die Frequenz f werden so gewählt, dass eine Reduktion der Fließgrenze der Suspension erfolgt sowie eine starke Reduktion der Scherviskosität. Bei der erfindungsgemässen Mahlvorrichtung ist der Rotorschaft 12 mit Amplituden von 0.05 bis 50 mm 0-to-P, d.h. von 0 bis zur maximalen Amplitude, oder von 0.1 bis 100 mm P-to-P beaufschlagbar.

[0011] Weiterhin wird die maximal beaufschlagbare Amplitude A von dem Durchmesser der Mahlperlen bestimmt. Die maximale Amplitude A sollte in etwa mindestens das Doppelte des Durchmessers der Mahlperlen betragen. Grundsätzlich sind möglichst hohe Amplituden A und/oder Frequenzen f erwünscht, da mit steigender Frequenz und/oder Amplitude A auch die Dispergiertgeschwindigkeit zunimmt. Dabei trägt eine steigende Frequenz mehr zu einer steigenden Geschwindigkeit bei als die Amplitude A.

[0012] Die durch die lineare Verdrehung entstehenden Druckspitzen im Fluidkanal werden durch flexible Wände, d.h. Grenzflächen zwischen Fluid und Wasser, oder flexible Wandelemente teilweise oder vollständig kompensiert. Auch kann die Präsenz von Luft dazu beitragen Druckspitzen abzubauen; allerdings wird dabei die Luft nach innen verdrängt.

[0013] Der mechanische Aufbau der erfindungsgemässen Mahlvorrichtung erlaubt es, eine Rotations- und eine Translationsbewegung gleichzeitig auszuführen, und dabei für beide Bewegungen die Bewegungsparameter unabhängig wählen zu können, da die beiden Bewegungen getrennt, aber nicht gekoppelt sind.

[0014] Solche Mahlvorrichtungen sind grundsätzlich bekannt. Eine Mahlvorrichtung, bei der zwei Bewegungen überlagert sind, ist beispielsweise in der Patentschrift US2693320 (Veröffentlichungsdatum: 1952-11-02) offenbart. In der offenbarten Mahlvorrichtung ist mittig zwischen zwei Mahlkammern ein Antrieb angeordnet, welcher die beiden Mahlkammern mit einer translatorischen und einer rotatorischen Bewegung beaufschlagt. Die beiden Mahlkammern werden dabei in Resonanz versetzt. Allerdings sind die Mahlkammern komplett voneinander getrennt und erfordern somit pro Mahlkammer jeweils eine Lagerung und eine Dichtung.

[0015] In der Patentschrift GB689453 (Veröffentlichungsdatum: 1953-03-25) wird eine Kugelmühle mit zwei Massen entlang einer Achse vorgestellt. Auch hier handelt es sich um zwei separate Mahlvorrichtungen, die jeweils eigene Dichtungen und Lager erfordern. Ausserdem dient die Überlagerung der translatorischen und der rotatorischen Bewegung lediglich dazu, den Energiebedarf zu reduzieren und nicht dazu, in einer kontrollierbaren Weise eine Dehnströmung mit einer Scherströmung zu überlagern. Konkrete Angaben zum mechanischen Aufbau eines Antriebs für eine Kugelmühle mit überlagerten Bewegungen macht die GB1115515 (Veröffentlichungsdatum: 1968-05-29). Demnach wirkt ein Elektromagnet mit einem Federpaket zusammen, um eine translatorische Bewegung auf die Kugelmühle zu bringen. Allerdings sind auch hier wieder zwei separate Gehäuse vorgesehen, und es werden keine gezielten Massnahmen, wie etwa eine aktive Dämpfung, zum Verhindern von Vibrationen ergriffen.

[0016] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Antrieb für eine Mahlvorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, welcher eine Überlagerung einer Rotations- und einer Translationsbewegung bei geringem konstruktivem Aufwand ermöglicht. Dieser Antrieb soll möglichst energieeffizient arbeiten und intern auftretende Schwingungen kompensieren.

[0017] Ein solcher Antrieb erhöht die Zuverlässigkeit von Mahlvorrichtungen gegenüber dem Stand der Technik.

[0018] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs gelöst.

[0019] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile des Gegenstandes der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der zugehörigen Figuren, in denen beispielhaft bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt sind.

[0020] In den Zeichnungen zeigen:

Figur 1: Strömungsarten in einer Mahlzone (auch als Mahlpassage bezeichnet) während des Betriebs der Mahlvorrichtung.

Figur 2: Querschnitt durch eine Mahlvorrichtung mit erfindungsgemäsem Antrieb.

Figur 3: Detailansicht der Trennvorrichtung.

Figur 4: Reduktion der Struktur-Scherviskosität einer Mischung aus einer Suspension von einer Flüssigkeit und Partikeln sowie Mahlperlen. Linie L1: bei axialer Oszillation und Scherung; Linie L2: bei einer Scherung ohne Oszillation.

[0021] In Figur 2 ist der mechanische Aufbau der erfindungsgemässen Mahlvorrichtung 10 zu sehen. In einem gemeinsamen Statorgehäuse 14 befinden sich ein erster Rotor 13a und ein zweiter Rotor 13b. Jeder der beiden Rotoren 13a, 13b ist innerhalb des Statorgehäuses 14 auf einem entlang einer Maschinenachse 11 drehbar gelagerten gemeinsamen Rotorscheft 12 verschiebbar angeordnet. Auf diese Weise entstehen zwei linear bewegliche Verfahrenszonen mit einer synchronen, mechanisch gekoppelten Drehmomentübertragung. Der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b schwingen zeitgleich mit um 180 Grad versetzter Phase, so dass die Kräfte, die auf die Mahlvorrichtung 10 wirken, durch die zueinander bewegten Massen der Rotoren 13a und 13b eliminiert werden. Grundsätzlich lässt sich eine Kompensation der Kräfte der sich zueinander bewegenden Massen auch bei einer Mahlvorrichtung mit nur einem Rotor, beispielsweise dem Rotor 13a, erreichen, indem eine einfache, in Schwung versetzte Gegenmasse anstelle des zweiten Rotors 13b verwendet wird.

[0022] Die Innenwandung des Statorgehäuses 14 ist jeweils von dem ersten Rotor 13a, dem zweiten Rotor 13b und dem Rotorscheft beabstandet. Dieser Abstand entspricht mindestens dem Durchmesser der während des Mahlvorgangs verwendeten Mahlperlen und beträgt vorzugsweise 0,05 bis 50 mm O-to-P. Der erste Rotor 13a und das Statorgehäuse 14 bilden einen ersten Arbeitsbereich der Mahlvorrichtung 10, und der zweite Rotor 13b und das Statorgehäuse 14 bilden einen zweiten Arbeitsbereich der Mahlvorrichtung 10. In den Zwischenraum zwischen dem Rotorscheft und dem Statorgehäuse 14 ist über einen Fluideinlass 26 eine Suspension 15, d.h. ein heterogenes Stoffgemisch aus einer Flüssigkeit und darin fein verteilten Festkörpern (Partikeln), einführbar. Ebenfalls einführbar sind ein Kühlmittel und ein Dispersionsmittel. Insgesamt sind es drei Kanäle, die durch den Fluideinlass in der Verfahrenszone eingeleitet werden. Die Anzahl der Kanäle kann auch grösser als drei, nicht aber grösser als 10 sein. Die Fluide verlassen das Statorgehäuse 14 auf der gegenüberliegenden Seite an einem Fluidauslass 27 wieder.

[0023] Um eine Drehzahldifferenz zwischen dem ersten Rotor 13a und dem zweiten Rotor 13b sowie dem Statorgehäuse 14 zu erreichen, ist das Statorgehäuse 14 über ein erstes Antriebsmittel 17 mit einer Drehzahl n_1 drehbar. Über ein zweites Antriebsmittel 18 werden der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b mit einer Drehzahl n_2 angetrieben, d.h. der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b sind über eine verzahnte Welle mechanisch gekoppelt und bewegen sich mit gleicher Drehzahl. Die Drehzahl n_1 wird üblicherweise kleiner gewählt als die Drehzahl n_2 . Dabei beträgt n_2 maximal 40.000 Umdrehungen pro Minute, und n_1 nimmt einen maximalen Wert von 20.000 Umdrehungen pro Minute ein. Die Minimalwerte für n_1 und n_2 betragen Null, wenn der Rotorscheft und das Statorgehäuse 14 still stehen. Möglich ist auch, dass sich der Rotorscheft und das Statorgehäuse 14 mit gleicher Drehzahl drehen, d.h. $n_2 - n_1 = 0$.

[0024] Im Betrieb der Mahlvorrichtung kann auch $n_1 > n_2$ sein. Im Falle einer Blockade der Mahlvorrichtung 10 durch die Mahlperlen bei hoher radialer Beschleunigung kann die Drehzahl des ersten Rotors 13a und/oder des zweiten Rotors 13b gegenüber der Drehzahl des Statorgehäuses 14 erhöht werden. In solch einem Fall kann n_1 einen Wert von 20.000 Umdrehungen pro Minute oder sogar den Wert von n_2 überschreiten.

[0025] Bei den Antriebsmitteln 17, 18 handelt es sich um bekannte Motoren, z.B. Elektromotoren mit oder ohne Hohlwellen in Kombination mit einem geeigneten Getriebe oder einer Riemenübertragung. Denkbar sind auch hydraulische und/oder pneumatische Aktoren, und das Getriebe kann über Zahnräder, Kettenantriebe oder mechanische Umlenkvorrichtungen realisiert sein. Wenn für das Antriebsmittel 18 ein Elektromotor eingesetzt wird, funktioniert er beim Abbremsen wie ein Generator und reduziert somit zumindest teilweise die Leistungsaufnahme des Antriebsmittels 17.

[0026] In einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Mahlvorrichtung drehen sich sowohl der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b als auch das Statorgehäuse 14. Möglich ist auch eine Ausführungsform, bei der sich zwar der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b drehen, nicht aber das Statorgehäuse 14 oder umgekehrt, d.h. der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b stehen, und das Statorgehäuse 14 dreht sich. Entscheidend ist die Relativbewegung von dem ersten Rotor 13a, dem zweiten Rotor 13b und dem Statorgehäuse 14.

[0027] Der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b stehen über einen Kniehebel 39 zueinander in Wirkverbindung. Der Kniehebel 39 setzt sich zusammen aus drei Elementen, welche durch ein zweites Gelenk 38b und ein viertes Gelenk 38d miteinander verbunden sind. Ein erstes Gelenk 38a verbindet den Kniehebel 39 mit dem ersten Rotor 13a, und ein fünftes Gelenk 38e stellt eine Verbindung zwischen dem Kniehebel 39 und dem zweiten Rotor 13b her. An einem dritten Gelenk 38c ist der Kniehebel 39 mit einer Halterung 40 verbunden, welche wiederum fest mit dem Rotorscheft verbunden ist, während der erste Rotor 13a sowie der zweite Rotor 13b verschiebbar auf dem Rotorscheft gelagert sind. Wenn auf den zweiten Rotor 13b mittels einer dritten Antriebsvorrichtung 19 eine translatorische Bewegung wirkt, führt eine Drehbewegung des Kniehebels 39 um die Gelenke 38a - 38e dazu, dass der erste Rotor 13a und zweite Rotor 13b

synchron aufeinander zu bzw. voneinander weg bewegt werden. Aus Gründen erhöhter mechanischer Stabilität können auch zwei oder mehr Kniehebel 39 eingesetzt werden, wie in Figur 2 dargestellt.

[0028] Konstruktionsbedingt erfolgt die Relativbewegung zwischen dem ersten Rotor 13a und dem zweiten Rotor 13b mit einem Phasenwinkel von 180 Grad. Dadurch heben sich die auf den ersten Rotor 13a und den zweiten Rotor 13b wirkenden Kräfte nach aussen hin auf, und die Mahlvorrichtung 10 gerät nicht in Vibration.

[0029] An dem zweiten Rotor 13b ist eine ferromagnetische Scheibe 42 senkrecht zur Richtung der Maschinenachse befestigt. Die Befestigung der ferromagnetischen Scheibe an den zweiten Rotor 13b kann entweder lösbar, beispielsweise über Schrauben oder Blindnieten, oder unlösbar, beispielsweise über ein Schweiss- oder ein Lötverfahren oder durch Fertigung in einem Drehverfahren zusammen mit der Achse, erfolgen. Auf die ferromagnetische Scheibe 42 wirkt ein drittes Antriebsmittel 19, vorzugsweise ein Elektromagnet. Der Elektromagnet ist in der Lage, den Abstand zur ferromagnetischen Scheibe 42 zu verringern, aber er kann diesen Abstand von sich aus nicht vergrössern. Um dies zu kompensieren, ist ein erstes Federpaket 41a mit dem ersten Rotor 13a und ein zweites Federpaket 41b mit dem zweiten Rotor 13b verbunden. Das erste Federpaket 41a und das zweite Federpaket 41b ziehen jeweils den ersten Rotor 13a und den zweiten Rotor 13b in Richtung der Halterung 40. Die Federpaketkonstante des ersten Federpakets 41a und des zweiten Federpakets 41b ist unter Berücksichtigung der Dämpfung, welche durch die Mahlperlen, die Flüssigkeit und weitere Dämpfungselemente gegeben ist, so gewählt, dass der erste Rotor 13a und der zweite Rotor 13b in Resonanz schwingen. Daraus resultiert eine gewünschte Resonanzfrequenz oder ein Frequenzbereich. Bei den weiteren Dämpfungselementen kann es sich um eine Beschichtung der Oberflächen des Statorgehäuses oder der Rotoren handeln, beispielsweise mit Mahlperlen, Polyurethan oder mit Kunststoffkügelchen, die zusammen mit den Mahlperlen in die Flüssigkeit gegeben werden. Wie in Figur 2 dargestellt, können auch zwei Elektromagnete 19a und 19b als drittes Antriebsmittel 19 verwendet werden. Die Elektromagnete 19b und 19a können mit einer Verzögerung von $1/f$ geschaltet werden. Das bedeutet, dass der Elektromagnet 19a die Scheibe 28 anzieht und sich der Elektromagnet 19b ausschaltet. Sobald der Elektromagnet 19a ausgeschaltet ist, schaltet sich der Elektromagnet 19b ein und zieht die Scheibe 28 in die Gegenrichtung. Solch eine Anordnung kann eine höhere Dämpfung, die durch die Mahlperlen und das Fluid erzeugt wird, überwinden. Mit einer solchen Anordnung lässt sich auch eine Mahlvorrichtung mit nur einem Rotor 13a oder 13b realisieren, beispielsweise mit dem ersten Rotor 13a, welcher die Mahlpassagen 51a und 51b enthält.

[0030] Das Statorgehäuse 14 ist permanent über den Fluideinlass 26 gekühlt, und es sind insgesamt mindestens zwei separate, aber durch ein Trennsieb 47 (siehe Figur 3) abgetrennte Mahlpassagen vorhanden. In jeder der Mahlpassagen können die Mahlperlen, welche zwischen 100 Mikrometer und 50 mm gross sind, monodispers oder polydispers sein.

[0031] Eine Steuer- und Regelungseinheit 16 stellt sicher, dass sich die Antriebsmittel 17, 18, 19 mit der gewünschten Drehzahl bzw. mit der gewünschten Frequenz bewegen. Dafür sind in der Mahlvorrichtung 10 zwei Drehgeber 44a, 44b vorgesehen.

Die Vibrationsregelung erfolgt über eine Steuer- und Regelungseinheit 16, indem jeweils ein Istwert aus einer Beschleunigungssonde 45 und/oder einer Abstandssonde 46 ausgewertet wird. Dabei ist die Abstandssonde 46 aussen montiert, und die Beschleunigungssonde 45 ist auf dem Rotor montiert. Über diese Sonden und eine ferromagnetische Scheibe 42 können die Drehbewegung der Rotorachse und die Vibration erfasst werden. Die Steuer- und Regelungseinheit 16 kann über die Istwerte des Abstands oder der Beschleunigung die Amplitude, Phase, Intensität und Frequenz regeln, wie in Figur 2 dargestellt.

[0032] Über den Fluideinlass 26 werden auch Dispergiermittel sowie andere oberflächenaktive Substanzen (OAS), bei denen es sich primär um Feststoffteilchen handelt, in die Mahlzone direkt dosiert eingeleitet. Je nach Grösse der Mahlperlen wird für jeden Dispergierbereich eine eigens angepasste Konzentration von Dispergiermittel und/oder OAS zugeführt. Es ist wichtig, die Entstehung von neuen Oberflächen mittels des Dispergiermittels innert der Verweilzeit von dem bearbeiteten Fluid (Farbe) in der jeweiligen Mahlpassage zu unterstützen, sowie neue Oberflächen, die durch den Dispergierprozess entstehen, gleich am Ort zu belegen, so dass keine Reagglomeration stattfinden kann. Es besteht auch die Möglichkeit, das Dispergiermittel in zyklisch wiederholbaren Dosierschüben einzubringen, die die Oberfläche der Mahlperlen mit der Dispergiermischung belegen, so dass die Mahlperlen eine Zeitlang in den Kontaktstellen die verstärkte Dispergierwirkung erbringen.

[0033] In Figur 3 ist die gleitende Trennvorrichtung 43 dargestellt, welche am ersten Rotor 13a oder am zweiten Rotor 13b oder am Statorgehäuse 14 so angeordnet ist, dass ein Trennspace 50 entsteht. Die Trennvorrichtung besteht im Wesentlichen aus einem Trennsieb 47, welches in einem Trennsiebgehäuse 48 befestigt ist. Das Trennsiebgehäuse 48 ist konisch aufgebaut, so dass die Mahlperlen 49 einen Stau vor dem Trennsieb 47 verursachen, welcher den direkten Kontakt zwischen den Mahlperlen 49 und dem Trennsieb 47 stark reduziert.

Bezugszeichenliste

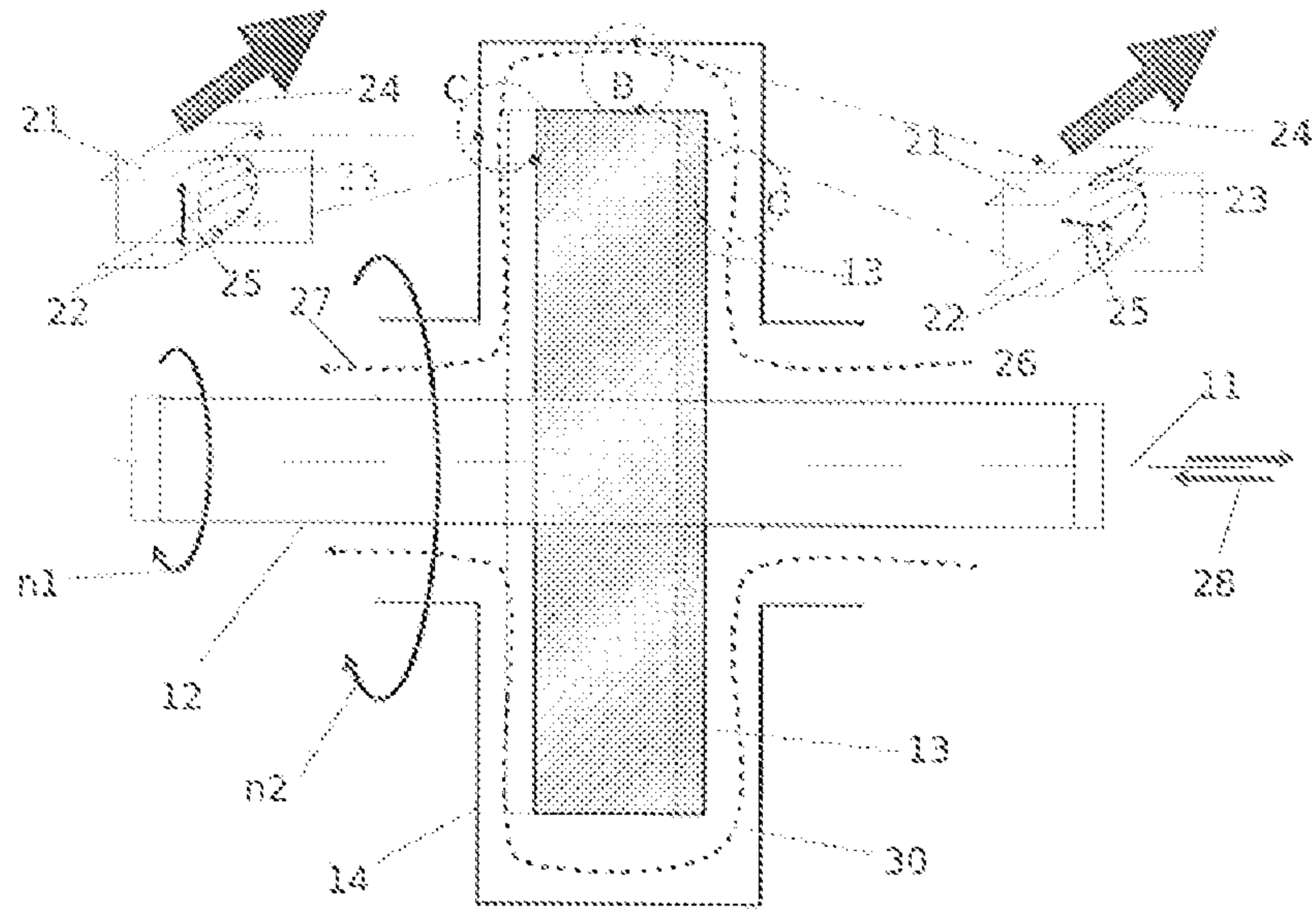
[0034]	
10	Mahlvorrichtung
11	Maschinenachse
12	Rotorschacht
13a, 13b	erster Rotor, zweiter Rotor

14	Statorgehäuse
15	Suspension
16	Steuer- und Regelungseinheit
17	erstes Antriebsmittel
18	zweites Antriebsmittel
19, 19a/19b	drittes Antriebsmittel, Elektromagnete
21	bewegliche Fläche
22	stationäre Fläche
23	Strömungsprofil
24	Scherrichtung
25	Richtung der Oszillation
26	Fluideinlass
27	Fluidauslass
28	Vibrationsrichtung
30	Innenwandung
38a - 38e	erstes, zweites, drittes, viertes und fünftes Gelenk
39	Kniehebel
40	Halterung
41a, 41b	erstes Federpaket, zweites Federpaket
42	ferromagnetische Scheibe
43	Trennvorrichtung
44a, 44b	Drehgeber Motor 1, Drehgeber Motor 2
45	Beschleunigung Sonde
46	Abstandssonde (kontaktlos, Laser, Induktiv oder Ultraschall)
47	Trennsieb
48	Trennsiebgehäuse
49	Mahlperlen
50	Trennspalt
51a - 51d	Mahlzone, auch Mahlpassage genannt

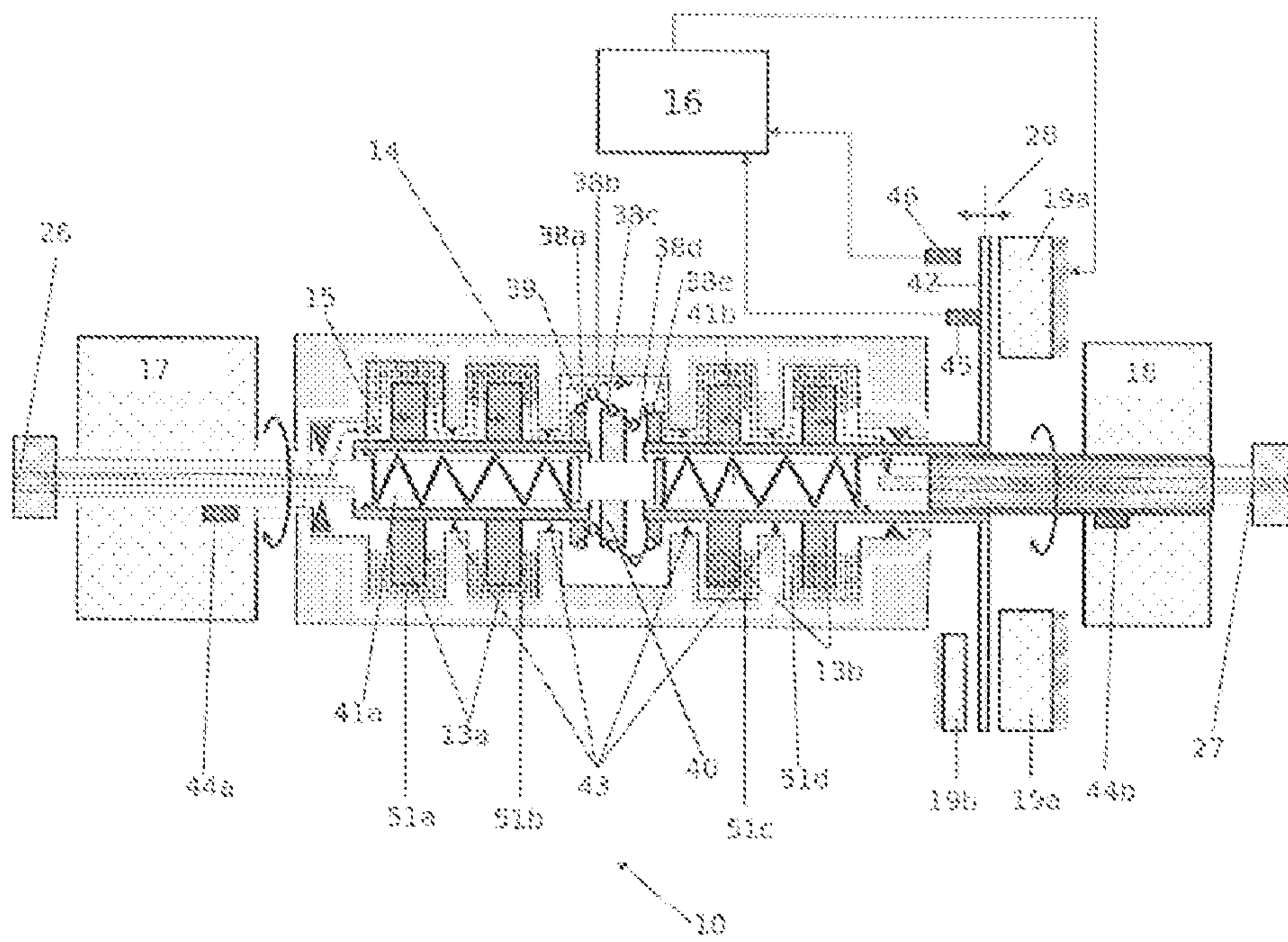
Patentansprüche

- Mahlvorrichtung (10) zum Zerkleinern von Partikeln in einer Flüssigkeit, umfassend einen Fluideinlass (26) zum Einleiten der Partikel und der Flüssigkeit, einen Fluidauslass (27) zum Ausleiten der Partikel und der Flüssigkeit, und mindestens zwei Mahlpassagen (51a - 51d), wobei jede Mahlpassage (51a - 51d) sowie der Fluidauslass (27) eine Trennvorrichtung (43) aufweist, welche in der Lage ist, Mahlperlen (49) von den Partikeln und der Flüssigkeit zu trennen, einen Rotorschaft (12), einen mit dem Rotorschaft (12) verbundenen ersten Rotor (13a) und einen auf dem Rotorschaft (12) angeordneten zweiten Rotor (13b), wobei der erste Rotor (13a) und der zweite Rotor (13b) jeweils einen Durchmesser d und eine Dicke D aufweisen sowie eine Aussenfläche, und wobei der erste Rotor (13a) und der zweite Rotor (13b) als Hohlwelle ausgeführt sind, welche in der Lage ist, ein Fluid oder mehrere voneinander getrennte Flüssigkeiten zu transportieren, ein Statorgehäuse (14) mit einer Innenwandung (30), ein erstes Antriebsmittel (17), mit welchem der erste und der zweite Rotor (13a, 13b) und das Statorgehäuse (14) relativ zueinander in eine erste Rotationsbewegung mit einer ersten Drehzahl n_1 versetzbar sind, und eine Steuer- und Regelungseinheit (16), welche dazu eingerichtet ist, die Drehzahl n_1 des ersten Antriebsmittels (17) einzustellen, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Rotor (13a, 13b) über einen in einem Gelenk (38) gelagerten Kniehebel (39) so in Wirkverbindung zueinander stehen, dass sie entlang einer Maschinenachse (11) mit einer Phasenverschiebung von 180 Grad bewegbar sind, und dass die Mahlvorrichtung (10) ein drittes Antriebsmittel (19) umfasst, welches dazu geeignet ist, den Kniehebel (39) mit einer Schwingung mit einer Amplitude A im Bereich von 0.05 bis 50 Millimetern und einer Frequenz f im Bereich von 1 Hz bis 1000 Hz zu beaufschlagen, wobei die Amplitude A und die Frequenz f über die Steuer- und Regelungseinheit (16) einstellbar sind, und dass über den Fluideinlass (26) zusätzlich Dispergiermittel sowie andere oberflächenaktive Substanzen einleitbar sind, und dass das dritte Antriebsmittel (19) entweder durch zwei Elektromagnete (19a und 19b) realisiert ist, welche mit einer zeitlichen Verzögerung von $1/f$ schaltbar sind, oder durch eine Getriebevorrichtung, welche die Rotationsbewegung der Rotoren (13a, 13b) oder des Statorgehäuses (14) in eine translative Bewegung umwandelt.
- Mahlvorrichtung (10) gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Antriebsmittel (17) auf die Rotoren (13a, 13b) entweder direkt oder über einen Riemenantrieb oder über eine mechanische Übertragung in Form eines Getriebes wirkt, und dass ein zweites Antriebsmittel (18) vorhanden ist, mit welchem das Statorgehäuse (14) in eine zweite Rotationsbewegung mit einer zweiten Drehzahl n_2 versetzbar ist.

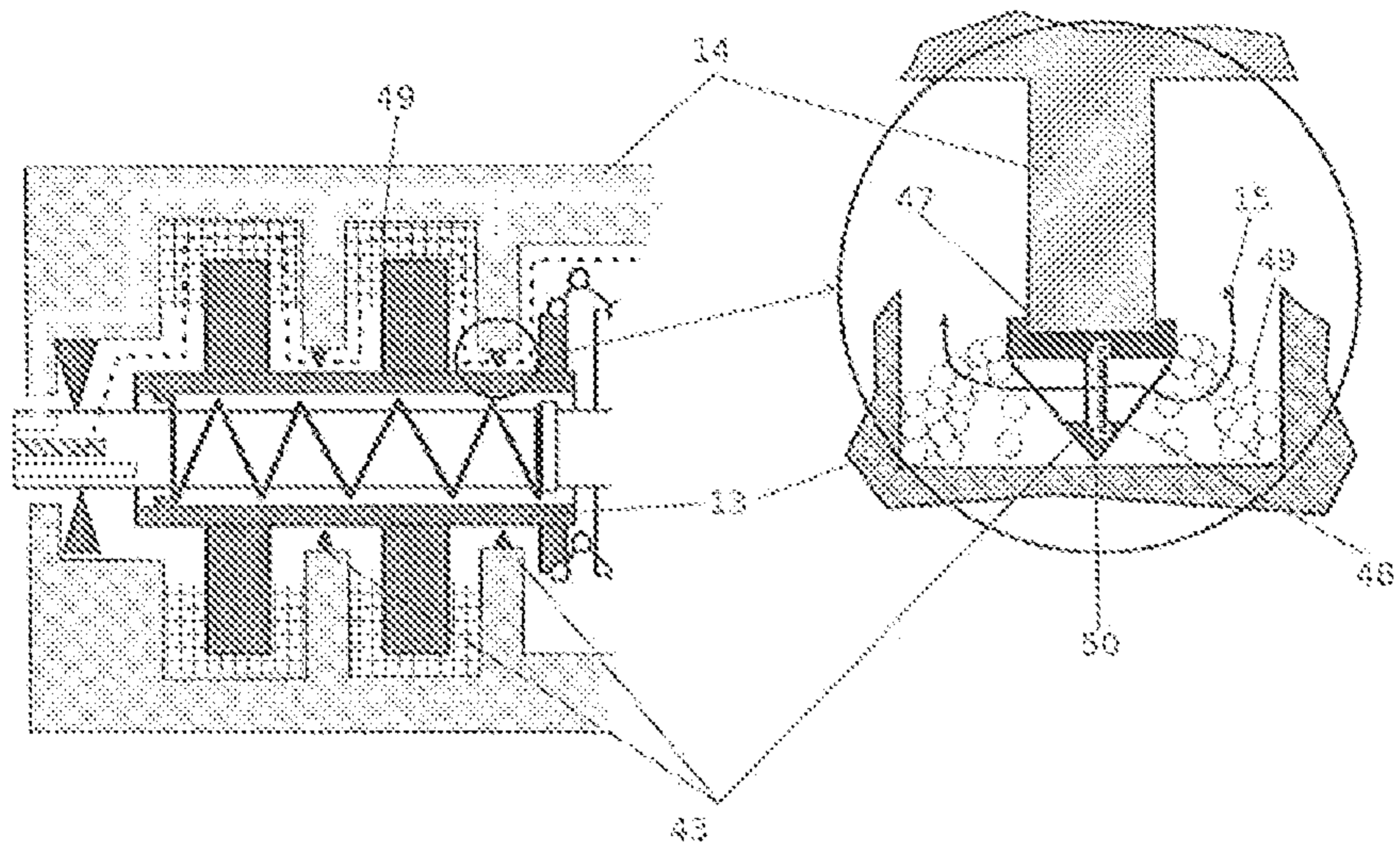
3. Mahlvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen der Innenwandung (30) des Statorgehäuses (14) und der Aussenfläche der als Hohlwelle ausgeführten Rotoren (13a, 13b) 0,4 bis 200 mm beträgt.
4. Mahlvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Drehzahl n_1 zwischen 0 und 40.000 Umdrehungen pro Minute und die zweite Drehzahl n_2 zwischen 0 und 40.000 Umdrehungen pro Minute beträgt.
5. Mahlvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Regelungseinheit (16) dazu ausgelegt ist, die Mahlvorrichtung (10) so anzusteuern, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit und/oder das Schwingungsverhalten, insbesondere die Phasenwinkel, die Amplitude, die Frequenz und die Resonanzfrequenzen der Mahlvorrichtung (10) durch eine Messung eines Abstandswertes und/oder eines Beschleunigungswertes optimierbar sind.
6. Mahlvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwingungsverhalten der Mahlvorrichtung (10) von einem ersten vorgespannten Federpaket (41a) und einem zweiten vorgespannten Federpaket (41b) bestimmt ist, wobei das erste und das zweite Federpaket (41a, 41b) jeweils verschiedene Federn umfassen kann und jede Feder eine eigene Resonanzfrequenz aufweisen kann, so dass verschiedene Resonanzfrequenzen anregbar sind, welche auf die von der Fluidviskosität gegebene Dämpfung abgestimmt ist, wobei elastische Grenzflächen, oder durchgehende Wandbereiche, Membranen, welche die Mahlpassagen (51a - 51d) trennen, oder verformbare Mahlperlen und druckentlastende Stellen zu einer Reduktion der Dämpfung gezielt einsetzbar sind, und wobei das Statorgehäuse (14) permanent gekühlt ist und die Mahlpassagen (51a - 51d) durch ein Trennsieb (47) abgetrennt sind, und wobei die Mahlperlen (49) in jeder der Mahlpassagen (51a - 51d) monodispers oder polydispers sein können und zwischen 100 μm und 10 mm gross sind.
7. Mahlvorrichtung (10) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektromagnete (19a, 19b) mit elektromagnetisch passiven oder aktiven und mit beweglichen oder stationären Komponenten versehen sind, wobei die Elektromagnete (19a, 19b) periodisch mit oder ohne zeitlich voneinander getrennten Impulsen eine harmonische Schwingung oder eine harmonische Schwingung in Kombination mit stochastischen Schlägen generieren können, indem zur Ansteuerung der Elektromagnete (19a, 19b) einzelne Resonanzfrequenzen oder mehrere modulierte Resonanzfrequenzen oder Schläge, welche Reihen von Eigenfrequenzen beinhalten, vorgesehen sind.
8. Mahlvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektromagnete (19a, 19b) mit der Resonanzfrequenz des ersten Rotors (13a) und des zweiten Rotors (13b) ansteuerbar sind.
9. Mahlvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass am ersten Rotor (13a) oder am zweiten Rotor (13b) oder am Statorgehäuse (14) eine gleitende Trennvorrichtung (43) angeordnet ist, die aus einem Trennsieb (47) besteht, welches in einem Trennsiebgehäuse (48) befestigt ist, wobei die Trennvorrichtung (43) so angeordnet ist, dass ein Trennschalt (50) zwischen dem Trennsiebgehäuse (48) und dem ersten Rotor (13a) oder dem zweiten Rotor (13b) entsteht, wobei das Trennsiebgehäuse (48) konisch aufgebaut ist, so dass die Mahlperlen (49) einen Stau vor dem Trennsieb (47) verursachen, welcher den direkten Kontakt zwischen den Mahlperlen (49) und dem Trennsieb (47) stark reduziert.
10. Mahlvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Regelungseinheit (16) dazu ausgelegt ist, eine Zuleitung von oberflächenaktiven Substanzen in die Mahlpassagen (51a - 51d) in Abhängigkeit von einer Verweilzeit der Partikel und der Flüssigkeit in den Mahlpassagen (51a - 51d) zu dosieren.
11. Mahlvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmittel (17 - 19) in der Lage sind, jeweils bei einem Abbremsvorgang elektrische Energie zu gewinnen.
12. Mahlvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mahlpassagen (51a - 51d) mit elastisch adaptiven, d.h. auf eine Normalkraft reagierenden Schichten ausgekleidet sind, so dass die Oberfläche der Mahlpassagen (51a - 51d) einen kleinen Reibungswiderstand aufweist, verschleissfest ist und sich je nach Belastung entweder passiv oder aktiv deformieren lässt, so dass die Topologie der Rotoren (13a, 13b) oder/und des Statorgehäuses (14) abänderbar ist.



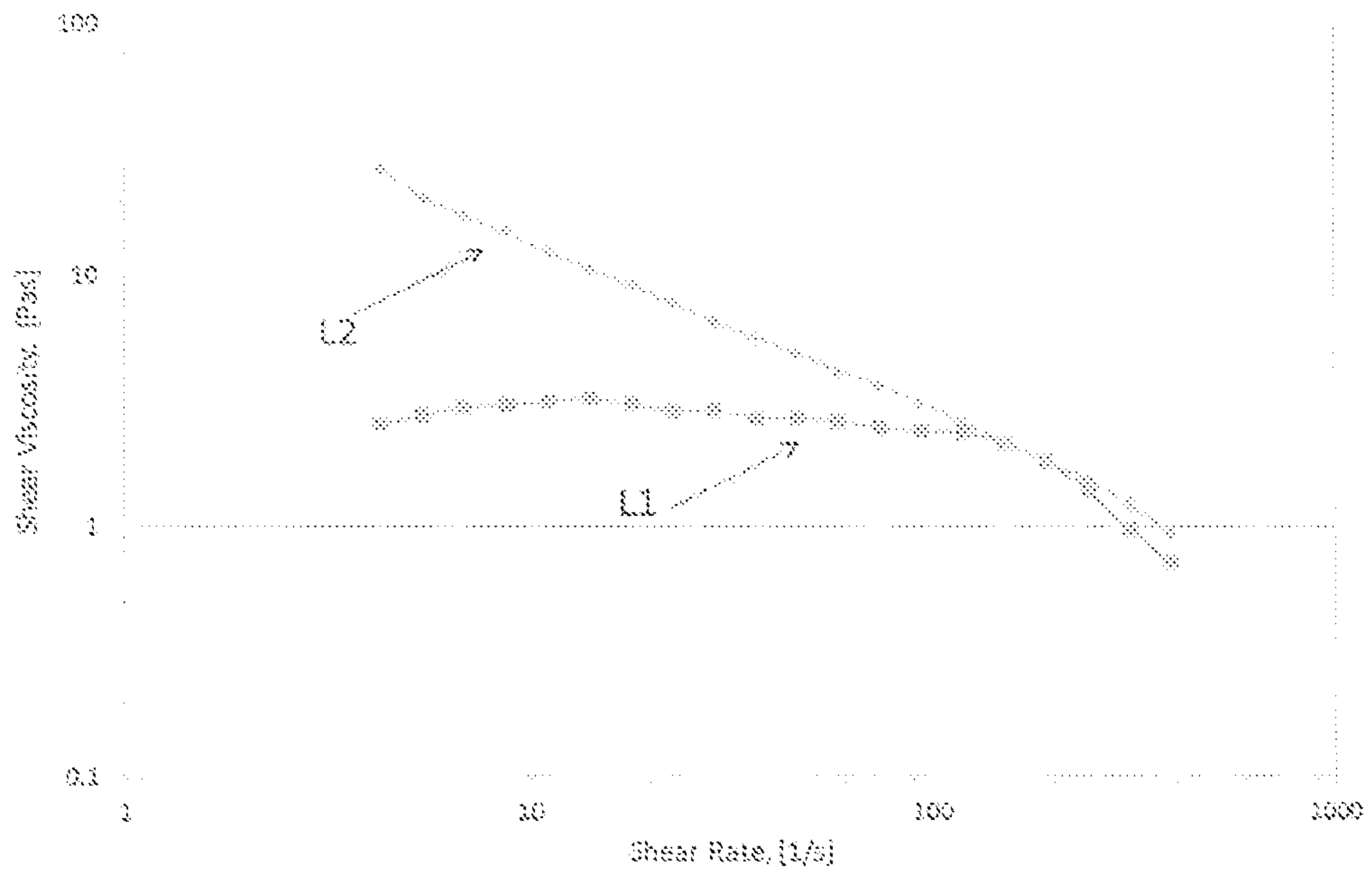
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4