



(11) **EP 3 485 979 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**17.01.2024 Patentblatt 2024/03**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B04B 11/04** <sup>(2006.01)</sup> **B04B 13/00** <sup>(2006.01)</sup>  
**B04B 11/02** <sup>(2006.01)</sup> **B04B 7/06** <sup>(2006.01)</sup>  
**B04B 1/14** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **18204116.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B04B 13/00; B04B 1/14; B04B 7/06; B04B 11/02; B04B 11/04**

(22) Anmeldetag: **02.11.2018**

(54) **VERFAHREN ZUM ERKENNEN DES BETRIEBSZUSTANDS EINER ZENTRIFUGE**  
METHOD FOR DETECTING THE OPERATING STATE OF A CENTRIFUGE  
PROCÉDÉ DE DÉTECTION DE L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRIFUGEUSE

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

(30) Priorität: **16.11.2017 DE 102017126973**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**22.05.2019 Patentblatt 2019/21**

(73) Patentinhaber: **GEA Mechanical Equipment GmbH**  
**59302 Oelde (DE)**

(72) Erfinder: **BATHELT, Thomas**  
**59302 Oelde (DE)**

(74) Vertreter: **Specht, Peter et al**  
**Loesenbeck - Specht - Dantz**  
**Patent- und Rechtsanwälte**  
**Am Zwinger 2**  
**33602 Bielefeld (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 0 724 912 WO-A1-2015/136162**  
**WO-A1-2016/008755 DE-A1- 4 004 584**  
**JP-A- 2002 343 763**

**EP 3 485 979 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Ein gattungsgemäßes Verfahren ist jeweils aus der EP 0 724 912 A2 und der WO 2015/136162 A1 bekannt. So wird in der EP 0 724 912 A1 vorgeschlagen, Schwingungsfrequenzen und -intensitäten einer Zentrifuge mit einem Meßaufnehmer als elektrische Signale zu erfassen und dann diese Signale einer Frequenzspektralanalyse zu unterziehen, woraufhin eine Auswertung erfolgt.

**[0003]** In der WO2016/008755 A1 wird vorgeschlagen, bei einer Regelung des Betriebs einer Zentrifuge die Geräuschentwicklung zu berücksichtigen. In der DE 40 04 584 A1 wird bei einer nicht gattungsgemäßen Filterzentrifuge vorgeschlagen, das Abziehen der Flüssigkeit zu überwachen und in Abhängigkeit von Änderungen dieses Vorganges ggf. zu unterbrechen. Zum technologischen Hintergrund wird zudem die JP 2002 343763 A genannt.

**[0004]** Eine mit einer Zentrifugentrommel zu verarbeitende und in eine oder mehrere Phasen zu trennende Suspension ist einer hohen Zentripetalbeschleunigung ausgesetzt, die in einem Separator mit vertikaler Drehachse mehr als das 10.000 fache der Erdbeschleunigung (mehr als 10.000 g) betragen kann.

**[0005]** Aufgrund der entsprechend dieser typischen Betriebsbedingungen auftretenden hohen Kräfte und der daraus resultierenden Belastungen des rotierenden Systems ist es wünschenswert, beim Betrieb der Zentrifuge möglichst gut deren aktuellen Betriebszustand zu erfassen, um ihn mit dieser Information beispielsweise überwachen, steuern und ggf. optimieren zu können. Zudem soll es vorzugsweise möglich sein, möglichst frühzeitig Gefahrenzustände verlässlich zu erkennen und durch geeignete Aktionen verhindern zu können.

**[0006]** Die Lösung dieses Problems ist die Aufgabe der Erfindung.

**[0007]** Die Erfindung löst diese Aufgabe durch das Verfahren des Anspruchs 1.

**[0008]** Die Erfindung schafft ein Verfahren zum Erkennen des Betriebszustands einer Zentrifuge, die zumindest eine drehbare Trommel mit einem Zulaufrohr und mit wenigstens einem Flüssigkeitsauslass und/oder einem Feststoffauslass aufweist, mit der im Betrieb ein fließfähiges Ausgangsprodukt in dem Zentrifugalfeld der sich drehenden Trommel in verschiedene Flüssigkeits- und/oder Feststoffphasen getrennt wird, mit zumindest folgenden Schritten zum Erkennen des Betriebszustandes:

100 Erfassen eines zeitlichen Verlaufs eines Körperschallsignals mit wenigstens einem an einem Bauteil der Trommel oder in der Nähe eines Bauteils der Trommel angeordneten Körperschallsensor, insbesondere mit einer vorgegebenen Tastrate;

200 Transformation des jeweils aufgenommenen Körperschallsignales in ein Schwingungs- bzw. Frequenzspektrum;

300 Vergleich des aktuell ermittelten Spektrums mit wenigstens einem oder mehreren bekannten, insbesondere vorgespeicherten Spektren zum Erkennen von Übereinstimmungen bzw. um ggf. vorhandene Übereinstimmungen zu erkennen, wobei im Schritt 300 eine Aussage über den Zustand des Ausgangsproduktes (P) aus dem Vergleich und Erkennen von Übereinstimmungen aus Schritt 300 getroffen wird.

**[0009]** Ein vorteilhafte Möglichkeit der Erfindung ist somit die Erkennung eines bestimmten Betriebszustands (z.B. Trommelüberlauf) der Zentrifuge - insbesondere eines Tellerseparators oder einer Vollmantelschneckenzentrifuge - durch eine Körperschallmessung bzw. eine entsprechende Schwingungsmessung während eines Zeitintervalls und die durch das Durchführen der Transformation - beispielsweise einer Fouriertransformation - mögliche Analyse der Messsignale durch den Vergleich des sich ergebenden Spektrums mit vorbekannten Spektren. Diese vorbekannten Spektren sind vorzugsweise durch Versuch ermittelt und dann abgespeichert worden. Es ist aber auch denkbar, dass sie durch Simulationsrechnungen ermittelt worden sind. Dabei können die vorbekannten und vorgespeicherten "Referenzspektren" sowohl solche Spektren umfassen, die einem Problem- oder Störfall entsprechen als auch solche, die einen störungsfreien Betrieb anzeigen, die also quasi als "Normalbetriebspektren" bezeichnet werden können.

**[0010]** Bei der Körperschallmessung bzw. Schwingungsmessung im Sinne dieser Erfindung kann sowohl die Messung der Schwinggeschwindigkeit als auch Beschleunigung zur Anwendung kommen. Somit können elektrodynamischer Geschwindigkeitssensoren, Laser-Doppler-Sensoren, kapazitiver Beschleunigungs-Sensoren, piezoelektrischer Beschleunigungs-Sensoren oder piezoresistiver Beschleunigungs-Sensoren zum Einsatz kommen.

**[0011]** Hierdurch wird es möglich, die Zentrifuge näher an der mechanischen Belastungsgrenze zu betreiben, bzw. bisher notwendige mechanische Reserven zu reduzieren. Auch lassen sich durch die nun erkennbaren Veränderungen des Betriebszustandes der Zentrifuge Rückschlüsse auf Veränderungen des zu verarbeitenden Produktes oder Veränderungen des verfahrenstechnischen Prozesses ziehen.

**[0012]** So ist es nach einer vorteilhaften Variante möglich - insbesondere quasi in Echtzeit - den Überlauf der Zentrifugentrommel oder Kavitation am Greifer der Zentripetalpumpe im Ablauf zu überwachen. Eine direkte Erkennung dieser Betriebszustände war nach dem Stand der Technik nicht möglich, so dass voreingestellte Parameter wie Zulaufdurchfluss

und/oder Ablaufdurchfluss und/oder Ablaufdruck ausgewertet wurden oder eine Feuchtigkeitserkennung erfolgte. Diese Systeme arbeiten teilweise zeitverzögert, so dass eine verlässliche Erkennung bestimmter Betriebszustände nicht immer möglich war und zulässige Grenzwerte der Maschine nach dem Stand der Technik nicht immer genügend ausgenutzt (im Sinne eines Vorhaltens von Reserven) werden konnten. Dies machte den Betrieb der Separatoren weniger wirtschaftlich. Dieses Problem wird mit der Erfindung verringert.

**[0013]** Nach einer Weiterbildung kann/können in Abhängigkeit von der Erkennung des Betriebszustandes gemäß Schritt 400 eine oder mehrere Aktionen initiiert werden, wobei das Initiieren der einen oder der mehreren Aktionen ein Ausgeben einer Warnmeldung umfassen kann oder wobei das Initiieren einer oder mehrerer Aktion ein Ausgeben eines Steuerungssignals zum Ändern des Betriebes der Zentrifuge umfassen kann.

**[0014]** Eine sichere Erkennung und Vermeidung unerwünschter Betriebszustände kann zu einer optimierten Betriebssteuerung genutzt werden. So kann beispielsweise auf folgende Faktoren optimierend Einfluss genommen werden:

- Geräuschentwicklung der Maschine bzw. der Flüssigkeitsströmung,
- Vermeidung von Emulsionsbildung in der zu verarbeitenden Suspension,
- Reduzierung der Beanspruchung von Bauteilen,
- weniger Gaseinschlag in die Suspension.

**[0015]** Wird ein unerwünschter Betriebszustand anhand seines typischen Schwingungsspektrums erkannt, kann die Steuerung der Maschine somit optional im Schritt 400 vorher festgelegte Reaktionen auslösen.

**[0016]** Mit Hilfe des ermittelten Spektrums und dem Vergleich dieses Spektrum mit vorbekannten Spektren können nicht nur bestimmte Maschinenzustände detektiert werden sondern es können auch Veränderungen des zu verarbeitenden Produktes sowie eine oder mehrere Abweichungen von den vorher definierten Prozessparametern erkannt werden. Wenn sich z.B. die Viskosität bzw. die Dichte der zu verarbeitenden Suspension derart verändert, dass der zulässige Wertebereich für die Zentrifuge über- oder unterschritten wird, ist dies ebenfalls aus dem an der Zentrifugentrommel - beispielsweise am Zulaufrohr - ermittelten Spektrum durch Vergleich mit den vorbekannten Spektren erkennbar.

**[0017]** Nach einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung kann im Schritt 100 ein an einem sich im Betrieb der Zentrifuge nicht drehenden Bauteil der Zentrifuge angeordneter Körperschallsensor, insbesondere ein an einem sich im Betrieb der Zentrifuge nicht drehenden Bauteil im Bereich der Zentrifugentrommel angeordneter Körperschallsensor, verwendet werden. Denn es hat sich überraschend herausgestellt, dass direkt an einem solchen Teil - an dem der jeweilige Sensor zudem relativ einfach anbringbar ist und über eine drahtgebundene Leitung oder drahtlos gut auslesbar ist - in hinreichendem Maße charakteristische Schwingungen auch des sich drehenden Systems auftreten und mit dem Körperschallsensor detektierbar sind, um verschiedene bzw. mehrere Betriebszustände der Zentrifuge erfassen und unterscheiden zu können. So kann nach vorteilhaften - da einfach umsetzbaren und zu guten Ergebnissen führenden - Varianten der Erfindung ein an einem sich im Betrieb der Zentrifuge nicht drehenden Zulaufrohr und/oder an einem Anlauf, insbesondere an einem Greifer, angeordneter Körperschallsensor verwendet werden. Alternativ ist es denkbar, einen geeigneten Körperschallsensor in der Nähe dieses Bauteils anzuordnen.

**[0018]** Es hat sich ferner überraschend herausgestellt, dass es vorteilhaft ist, wenn im Schritt 300 wenigstens eines der vorgespeicherten Spektren einem Betriebszustand "aktueller oder drohender Überlauf der Trommel" entspricht und wenn der Schritt 300 ggf. ein Erkennen dieses Betriebszustandes umfasst. Denn dieser Betriebszustand lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren besonders gut erfassen, was insofern in einfacher Weise eine Optimierung des Betriebs der Zentrifuge erlaubt.

**[0019]** Es ist ferner zweckmäßig, wenn im Schritt 300 wenigstens eines der vorgespeicherten Spektren einem Betriebszustand "aktuelle oder drohende Kavitation am Greifer der Zentripetalpumpe" entspricht und dass der Schritt 300 weiter ein Erkennen dieses Betriebszustandes umfasst.

**[0020]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0021]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dieses Ausführungsbeispiel zeigt eine besonders bevorzugte Variante der Erfindung, es sind aber im Rahmen der Ansprüche Abwandlungen und Äquivalente sowie Weiterbildungen zu dem erläuterten Ausführungsbeispiel umsetzbar. Die Verwendung des unbestimmten Artikel wie "eine" oder "einer" ist dabei nicht als beschränkende Zahlenangabe sondern im Sinne von "wenigstens eine/einer oder mehrere" zu verstehen. Es zeigt:

Figur 1: eine schematische Schnittansicht einer Zentrifuge, welche nach einem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben werden kann;

Figur 2: ein beispielhaftes Diagramm, das den Signalverlauf einer Körperschallmessung über die Zeit an einem Einlaufrohr einer Zentrifugentrommel zeigt;

Figur 3: ein mittels einer Körperschallmessung an einem Einlaufrohr einer Zentrifugentrommel aufgenommenes Schwingungsspektrum; und

Figur 4 ein Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

5 **[0022]** Fig. 1 zeigt eine Zentrifuge - hier als Separator ausgeführt - zum Klären von feststoffhaltigen, fließfähigen Ausgangsprodukten P von Feststoffen mit einer drehbaren Trommel 1 mit vertikaler Drehachse. Die Verarbeitung des Ausgangsproduktes P erfolgt im kontinuierlichen Betrieb. Der Separator ist ein selbstentleerender Separator.

**[0023]** Dies bedeutet, dass der Zulauf des Ausgangsprodukt P - das eine fließfähige Suspension ist - kontinuierlich erfolgt und auch das Ableiten wenigstens einer geklärten Flüssigkeitsphase, Klarphase L genannt, kontinuierlich erfolgt. 10 Die Trommel 1 der Zentrifuge verfügt in der Ausgestaltung als selbstentleerender Separator über einen diskontinuierlichen Feststoffauslass, wobei der aus dem Ausgangsprodukt P durch Klärung abgetrennte Feststoff intervallartig durch das Öffnen und Wiederverschließen von Auslassdüsen bzw. Auslassöffnungen 5 entfernt wird. Jede der aus dieser Trennung resultierenden Phasen kann - muss aber nicht zwingend - eine zu gewinnende Wertstoffphase bilden. Die Erfindung ist alternativ auch an Düsenseparatoren einsetzbar oder an Separatoren ohne Feststoffauslass. Sie ist zudem 15 auch an nicht kontinuierlich im Batchbetrieb arbeitenden Separatoren einsetzbar.

**[0024]** Die Trommel 1 weist ein Trommelunterteil 10 und einen Trommeldeckel 11 auf. Sie ist ferner vorzugsweise von einer Haube 12 umgeben. Die Trommel 1 ist zudem auf eine Antriebsspindel 2 aufgesetzt, die drehbar gelagert und durch einen Antriebsmotor antreibbar ist. Die Trommel 1 an sich ist drehbar bzw. bildet einen wesentlichen Teil des sich drehenden System der Zentrifuge aus, sie weist aber auch einzelne in sie hineinragendes Elemente auf, die sich im 20 Betrieb nicht drehen.

**[0025]** So weist die Trommel 1 einen Produktzulauf 4 auf, durch welchen das Ausgangsprodukt P in die Trommel 1 geleitet wird. Der Produktzulauf 4 mündet in ein Zulaufrohr 40, das hier als sich nicht mit dem rotierenden System drehendes - also im Betrieb nicht drehendes - Rohr ausgebildet ist, das von oben in die Trommel ragt und coaxial zur Drehachse D ausgerichtet ist. Alternativ wäre es auch denkbar, dass das Zulaufrohr 40 (bei entsprechend anderer 25 konstruktiver Ausgestaltung von unten in die Trommel ragt - hier nicht dargestellt).

**[0026]** Die Trommel 1 weist ferner wenigstens einen Ablauf 13 auf - der hier als eine Schälsscheibe bzw. als ein Greifer ausgebildet ist -, der zur Ableitung einer Klarphase L aus der Trommel 1 dient. Der Greifer wirkt wie bzw. bildet eine Zentripetalpumpe. Der Ablauf 13 kann konstruktiv auch auf andere Weise bzw. mit anderen Mitteln erfolgen. Es ist auch denkbar, alternativ oder ergänzend zu der Klärung von Feststoffen eine Trennung des Ausgangsproduktes P in zwei 30 Flüssigkeitsphasen verschiedener Dichte vorzunehmen. Hierzu ist dann ein weiterer Flüssigkeitsablauf - beispielsweise ein weiterer Greifer - erforderlich. Der Greifer 13 bildet somit auch ein sich im Betrieb nicht mit der eigentlichen Trommel 1 drehendes sondern stillstehendes Bauteil der Zentrifuge.

**[0027]** Die Trommel 1 weist vorzugsweise ein Tellerpaket 14 aus axial beabstandeten Trenntellern auf. Zwischen dem Außenumfang des Tellerpakets 14 und dem Innenumfang der Trommel 1 im Bereich ihres größten Innendurchmessers ist ein Feststoffsammelraum 8 ausgebildet. Feststoffe, welche im Bereich des Tellerpakets 14 von der Klarphase getrennt werden, sammeln sich in dem Feststoffsammelraum 8, aus dem die Feststoffe über Auslassöffnungen 5 aus der Trommel 1 35 ausge tragen werden können.

**[0028]** Die Auslassöffnungen 5 können dazu hier mittels eines Kolbenschiebers 6, welcher im Trommelunterteil 10 angeordnet ist und in diesem parallel zur Drehachse (insbesondere vertikal) verschiebbar ist, geöffnet und geschlossen werden. Bei geöffneten Auslassöffnungen 5 wird der Feststoff S aus der Trommel 1 in einen Feststofffänger 7 ausge- 40 lassen. Der Feststoffsammelraum 8 in der Trommel 1 weist ein definiertes Feststoffraumvolumen auf.

**[0029]** Zur Bewegung des Kolbenschiebers 6 weist die Trommel 1 einen Betätigungsmechanismus auf. Hier umfasst dieser wenigstens eine Zuleitung 15 für ein Steuerfluid wie Wasser und eine Ventilanordnung 16 in der Trommel 1 und weitere Elemente außerhalb der Trommel 1. So wird der Zulauf des Steuerfluides wie Wasser über eine außerhalb der 45 Trommel 1 angeordnete Dosieranordnung 17 ermöglicht, welche einer außerhalb der Trommel 1 angeordnete Hydraulikleitung 19 für das Steuerfluid zugeordnet ist, so dass für eine Feststoffentleerung des Feststoffs durch Freigabe der Ventilanordnung 16 das Steuerfluid in die Trommel 1 einleitbar ist oder umgekehrt der Zustrom an Steuerfluid unterbrochen werden kann, um den Kolbenschieber 6 entsprechend zu bewegen, um die Auslassöffnungen 5 freizugeben.

**[0030]** An einem Bauteil der Trommel - so an dem Zulaufrohr 40 - ist zumindest ein Körperschallsensor 22 angeordnet, die dazu ausgelegt ist, ein Schwingungsspektrum aufzunehmen. Diese Körperschallsensor 22 ist als eine Sensorein- 50 richtung zur Messung von Körperschall ausgelegt.

**[0031]** Der zu messende bzw. zu sensierende Körperschall ist der Schall, der sich in dem Bauteil ausbreitet, an welchem die Körperschallsensor 22 angeordnet ist. Als Körperschallsensoren können Beschleunigungssensoren verwendet werden, welche einen Effekt, z.B. den piezoelektrischen Effekt, nutzen, um die infolge des Körperschalls an dem Bauteil, an dem sie angeordnet sind, auftretende Beschleunigung in elektrisch verarbeitbar Signale zu wandeln. 55

**[0032]** Aber auch andere Sensoren wie elektrodynamischer Geschwindigkeitssensoren, Laser-Doppler-Sensoren, kapazitiver Beschleunigungs-Sensoren oder piezoresistiver Beschleunigungs-Sensoren sind einsetzbar.

**[0033]** Im Rahmen der Erfindung ist es auch denkbar, an dem einen Bauteil mehrere der Körperschallsensoren 22

anzuordnen und/oder an mehreren Bauteilen der Zentrifugentrommel Körperschallsensoren anzuordnen (hier nicht dargestellt) oder auch Sensoren 20 unterhalb der Trommel 1 in der Nähe eines Teils der Trommel bzw. des drehenden Systems (z.B. Spindel, Trommelunterteil usw.) anzuordnen.

**[0034]** Nach einer vorteilhaften Variante der Erfindung ist vorgesehen, den wenigstens einen Körperschallsensor 22 an einem sich im Betrieb nicht drehenden Bauteil der Zentrifugen-Trommel 1 vorzusehen, insbesondere an dem Zulaufrohr 40 (hier veranschaulicht) und/oder an dem Greifer 13 (hier nicht dargestellt).

**[0035]** Es können optional weitere Sensoreinrichtungen vorgesehen sein, so eine Sensoreinrichtung 3 zur Bestimmung des Durchflussstromes Volumen/Zeit oder eines oder mehrerer Parameters, wie z.B. Masse/Zeit, des in die Trommel 1 zu leitenden Ausgangsprodukts P. Dies ist vorteilhaft, aber nicht zwingend.

**[0036]** Der Körperschallsensor 22 weist entweder selbst direkt eine Auswertungs- und Auswerteelektronik auf oder ist mit einer solchen verbunden. Hier ist der Körperschallsensor 22 beispielhaft über eine Datenverbindung 23 mit der Steuerungs- und Auswerteeinrichtung 9 (vorzugsweise ein Steuerungsrechner der Zentrifuge) verbunden, welche die ermittelten Messwerte auswertet.

**[0037]** Das sich im Betrieb drehende System der Trommel 1 erzeugt im Betrieb Körperschallwellen sowohl an den sich im Betrieb drehenden Bauteilen der Trommel 1 als auch an den sich im Betrieb nicht drehenden Bauteilen der Trommel 1.

**[0038]** Fig. 2 verdeutlicht beispielhaft den während des Betriebs einer beispielhaften Zentrifuge aufgenommenen zeitlichen Signalverlauf einer Körperschallmessung. Fig. 3 zeigt ein durch eine Transformation daraus gewonnenes Frequenzspektrum. Im System bekannte Resonanzfrequenzen (hier um 100 Hz) zeichnen sich deutlich ab.

**[0039]** Der Körperschallsensor 22 kann bevorzugt an der Oberfläche eines der Bauteile angeordnet werden. Er kann aber auch in eine Bohrung oder dgl. in dem Bauteil eingesetzt sein. Der Körperschallsensor 22 ist vorzugsweise breitbandig ausgebildet und zur Messung eines relativ weiten Frequenzspektrums, beispielsweise zwischen 0 Hz und 1 MHz ausgelegt. Es ist aber auch denkbar, ihn relativ zielgenau auf einen kleineren zu messenden Frequenzbereich abzustimmen.

**[0040]** Vorzugsweise wird das von dem Körperschallsensor 22 aufgenommene analoge Signal von der Auswertungs- und Auswerteelektronik 9 digitalisiert und als Signalverlauf gespeichert. Durch geeignete Filterung, Transformation und anschließende Analyse des aufgenommenen Signals können Rückschlüsse über den Betriebszustand der Zentrifuge gewonnen werden. Dies wird insbesondere dadurch möglich, dass ein Vergleich mit vorbekannten Spektren erfolgt, die verschiedenen Betriebszuständen entsprechen.

**[0041]** Die Steuerungs- und Auswerteeinrichtung 9 kann auch dazu dienen, die Bewegung des Kolbenschiebers 6 und damit auch das Zeitintervall bis zur Öffnung der Auslassöffnungen 5 zu steuern. Der Betätigungsmechanismus für den Kolbenschieber 6 - hier insbesondere die Dosieranordnung 17 - kann über eine Datenverbindung 18 mit der Auswertungs- und Auswerteeinrichtung 9 verbunden sein. Die Steuerungs- und Auswerteeinrichtung weist ein Computerprogramm mit einer Programmroutine zur Überwachung und/oder Steuerung und/oder Regelung des Betriebes auf. Die Dosieranordnung 17 kann beispielsweise einen Kolben und eines oder mehrere Ventile aufweisen. Sie kann ferner nach Art der DE 10 2005 049 941 A1 ausgestaltet sein, um eine veränderbare Dosierung der Fluidmenge zur Steuerung und Veränderung der Dauer der Feststoffentleerung und damit des aktuellen Feststoffentleerungsvolumen vornehmen zu können. Mit der Dosieranordnung 17 lässt sich das Feststoffentleerungsvolumen variieren, so dass beispielsweise bei steigendem Feststoffgehalt im Zulauf das Feststoffentleerungsvolumen vergrößert werden kann. Es kann eine ansteuerbare Einrichtung - beispielsweise ein ansteuerbares Ventil - in den Zulauf geschaltet sein, mit welcher der Volumenstrom im Zulauf veränderlich ist, um die Zulaufmenge bzw. das aktuelle Zulaufvolumen  $V_{AP}$  an zu verarbeitendem Ausgangsprodukt P pro Zeiteinheit zu verändern. Diese ansteuerbare Einrichtung kann über eine Datenverbindung mit der Steuerungs- und Auswerteeinrichtung 9 verbunden (hier jeweils nicht dargestellt). Die vorgenannten Datenverbindungen ermöglichen eine Datenübertragung von oder zur Steuerungs- und Auswerteeinrichtung 9. Sie können jeweils als Leitungen ausgestaltet sein oder aber jeweils als drahtlose Verbindungen.

**[0042]** Während der Klärung des Ausgangsproduktes P unter Bildung der Klarphase L werden im Ausgangsprodukt P enthaltene Trubstoffe und andere Feststoffe im Feststoffsammelraum 8 der Trommel 1 außerhalb des Tellerpaketes 14 gesammelt, der sich füllt.

**[0043]** Das mit dem Körperschallsensor 22 aufgenommene Signal und das hieraus dann ermittelte Schwingungsspektrum ermöglicht nunmehr eine besonders einfache und gut funktionierende Bestimmung des Betriebszustandes der Zentrifuge. Dies kann wiederum beispielsweise zur Überwachung und/oder Steuerung und/oder Regelung der Zentrifuge genutzt werden.

**[0044]** Dies sei nachfolgend näher beschreiben. Der Körperschallsensor 22 am stillstehenden Zulaufrohr 40 steht beispielhaft für wenigstens einen Körperschallsensor, der außerhalb, an oder in der Trommel 1 insbesondere an einem sich im Betrieb nicht drehenden Teil der Trommel 1 angeordnet ist.

**[0045]** Es wird sodann folgendes Verfahren zum Erkennen des Betriebszustandes einer Zentrifuge während des Durchführens einer zentrifugalen Trennung einer Suspension in wenigstens eine erste Flüssigkeitsphase und wenigstens eine weitere Flüssigkeitsphase und/oder eine Feststoffphase in einer sich drehenden Trommel der Zentrifuge mit den

eingangs definierten Schritten 100 bis 300 sowie ggf. - wenn erforderlich - 400 durchgeführt:

- 100 Erfassen eines bzw. des zeitlichen Verlaufs eines Körperschallsignals mit wenigstens einem an einem Bauteil der Trommel oder in der Nähe eines Bauteils der Trommel angeordneten Körperschallsensor 22;
- 200 Transformation des jeweils aufgenommenen Körperschallsignales in ein Spektrum, insbesondere ein Frequenzspektrum;
- 300 Vergleich des aktuell ermittelten Spektrums mit wenigstens einem oder mehreren bekannten, insbesondere vorgespeicherten Spektren zum Erkennen bzw. und Erkennen von Übereinstimmungen; und
- 400 vorzugsweise Ausgeben einer Information, insbesondere einer Warnung und/oder eines Steuerungssignales in Abhängigkeit von dem Vergleich aus Schritt 300.

**[0046]** Im Schritt 300 kann der Vergleich mit den bekannten Spektren, insbesondere Frequenzspektren ein Einbeziehen eines Toleranzbereichs umfassen, um Übereinstimmungen zu erkennen. Entsprechend würde das Ausgeben einer Information in Schritt 400, beispielsweise eines Warn- und/oder Steuerungssignals nur erfolgen, wenn ein außerhalb eines zu erwartenden Toleranzbereiches liegendes Signal erfasst wird.

**[0047]** Mit dem Körperschallsensor 22 werden im Betrieb der Zentrifuge vorzugsweise fortlaufend Körperschall-Messsignale erfasst (siehe Fig. 2) und - beispielsweise mittels Fouriertransformation - in ein Spektrum (siehe beispielhaft Fig. 3) transformiert. Hierbei können je nach Sensor vorzugsweise einer oder mehrere folgender Parameter, insbesondere sämtliche, folgender Parameter erfasst werden:

- Schwingweg,
- Schwinggeschwindigkeit und/oder
- Beschleunigung

**[0048]** Typischerweise sollten der Körperschallsensor 22 und die ihm zugeordnete Signalverarbeitung der Auswertungs- und Steuerungs- und Auswerteeinrichtung 9 dazu ausgelegt und somit geeignet sein, Signale mit einer hohen Abtastrate zu erfassen und zu verarbeiten. Diese hohe Abtastrate sollte vorzugsweise größer als 50 kHz und besonders bevorzugt größer als 100 kHz sein.

**[0049]** Das jeweils aufgenommene Schwingungssignal wird digitalisiert und mittels eines geeigneten Algorithmus zum Durchführen der mathematischen Transformation wird jeweils aus dem aufgenommenen Schwingungssignal das Spektrum des Schwingungssignals erzeugt. Dieses Spektrum wird mit verschiedenen in einer Datenbank abgelegten bekannten Spektren, die vorzugsweise verschiedenen Maschinenzuständen, Produktzuständen oder Verfahrenszuständen entsprechen, verglichen. Derart können verschiedene Zustände - beispielsweise Normalzustände, die einen störungsfreien Betrieb anzeigen - und/oder Abweichungen von solchen Zuständen in Schritt 300 erkannt werden. Zudem kann bzw. können in Abhängigkeit von dieser Erkennung in Schritt 300 in einem weiteren Schritt 400 eine oder mehrere Aktion initiiert werden, mit denen z.B. ein gewünschter Zustand wieder erreicht wird.

**[0050]** So können Spektren vorgespeichert sein, welche den Betriebszuständen "aktueller oder drohender Überlauf der Trommel" oder "aktuelle oder drohende Kavitation am Greifer" entsprechen, so dass diese anhand der laufenden Körperschallmessungen und der laufenden Vergleiche der aufgenommenen Spektren mit den bekannten Spektren detektiert werden können.

**[0051]** Mit der Erkennung "Trommelüberlauf" in Echtzeit kann die Durchlaufmenge gegenüber dem alten System gefahrloser erhöht werden. Somit kann unter anderem ein unwirtschaftlicher Betriebszustand erkannt werden. Die Prozessoptimierung kann in Echtzeit stattfinden. Des Weiteren sind durch das Analysieren der Schwingungsmuster weitere Aussagen über den Betriebszustand des Separators denkbar.

**[0052]** Wird ein unerwünschter Betriebszustand anhand seines typischen Schwingungsspektrums erkannt, kann die Steuerung der Maschine vorher festgelegte Reaktionen auslösen, wie z.B. "Erkannter Betriebszustand Überlauf der Trommel" - Reaktion: "Reduzierung der Zulaufmenge und/oder Reduzierung des Ablaufdrucks" oder "Erkannter Betriebszustand Kavitation am Greifer" Aktion: "Ablaufdruck erhöhen und somit die Eintauchtiefe des Greifers erhöhen".

**[0053]** Das Frequenzspektrum kann allerdings nicht nur bestimmte Maschinenzustände detektieren, sondern kann auch Abweichungen von zuvor definierten Produkt- und/oder Prozessparametern erkennen. Wenn sich z.B. die Viskosität bzw. die Durchflussmenge der zu verarbeitenden Suspension derart verändert, dass der zulässige Wertebereich für die Zentrifuge über- oder unterschritten wird, ist dies ebenfalls an dem am Zulaufrohr ermittelten Schwingungsspektrum erkennbar.

**[0054]** Weitere Beispiele von mit dem Verfahren erkennbaren Zuständen und daraus resultierenden möglichen Maßnahmen zur Gegensteuerung: "Betrieb mit einem Produkt von zu hoher Dichte" - Aktion: "Abschalten der Zentrifuge"

oder "Betrieb mit einem Produkt mit unzureichend erfolgter Ausfällung" - Aktion: "Verlängerung der Verweilzeit des Produktes im der Zentrifuge vorgeschalteten Ausfällbehälter".

**[0055]** Insgesamt werden mit den dargestellten und beanspruchten Verfahren die Möglichkeiten der Zustandsdiagnose der Maschine, des Produktes und des verfahrenstechnischen Prozesses vorteilhaft erhöht und die Möglichkeiten von korrigierenden Aktionen ebenfalls verbessert.

## Bezugszeichenliste

### [0056]

- 1 Trommel
- 2 Spindel
- 3 Sensor
- 4 Produktzulauf
- 5 Auslassöffnungen
- 6 Kolbenschieber
- 7 Feststofffänger
- 8 Feststoffsammelraum
- 9 Steuerungs- und Auswerteeinrichtung
- 10 Trommelunterteil
- 11 Trommeldeckel
- 12 Haube
- 13 Ablauf
- 14 Tellerpaket
- 15 Leitung für Hydraulikflüssigkeit
- 16 Ventilanordnung
- 17 Dosieranordnung
- 18 Datenverbindung
- 19 Hydraulikleitung
- 20 Sensor
- 21 Datenverbindung
- 22 Körperschallsensor
- 23 Datenverbindung
- 40 Zulaufrohr

100 - 400 Verfahrensschritte

- L Klarphase
- P Ausgangsprodukt
- S Feststoff
- D Drehachse

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennen des Betriebszustands einer Zentrifuge, die zumindest eine drehbare Trommel (1) mit einem Zulaufrohr (40) und mit wenigstens einem Flüssigkeitsauslass (13) und/oder einem Feststoffauslass aufweist, mit der im Betrieb ein fließfähiges Ausgangsprodukt (P) in dem Zentrifugalfeld der sich drehenden Trommel (1) in verschiedene Flüssigkeits- und/oder Feststoffphasen getrennt wird, mit zumindest folgenden Schritten zum Erkennen des Betriebszustandes:

- 100 Erfassen eines zeitlichen Verlaufs eines Körperschallsignals mit wenigstens einem an einem Bauteil der Trommel oder in der Nähe eines Bauteils der Trommel (1) angeordneten Körperschallsensor (22, 20), insbesondere mit einer vorgegebenen Tastrate;
- 200 Transformation des jeweils aufgenommenen Körperschallsignales in ein Schwingungs- bzw. Frequenzspektrum;

(fortgesetzt)

300 Vergleich des aktuell ermittelten Spektrums mit wenigstens einem oder mehreren bekannten, insbesondere vorgeschichteten Spektren zum Erkennen von Übereinstimmungen,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

im Schritt 300 eine Aussage über den Zustand des Ausgangsproduktes (P) aus dem Vergleich und Erkennen von Übereinstimmungen aus Schritt 300 getroffen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 100 ein an einem sich im Betrieb der Zentrifuge nicht drehenden Bauteil der Zentrifuge angeordneter Körperschallsensor (22) verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 100 ein an einem sich im Betrieb der Zentrifuge nicht drehenden Bauteil der Zentrifugentrommel (1), insbesondere innerhalb der Zentrifugentrommel (1), angeordneter Körperschallsensor (22) verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 100 ein an einem sich im Betrieb der Zentrifuge nicht drehenden Zulaufrohr (40) und/oder an einem Ablauf, insbesondere an einem Greifer (13), angeordneter Körperschallsensor (22) verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 300 wenigstens eines der vorgeschichteten Spektren einem Betriebszustand "störungsfreier Betrieb" entspricht und dass der Schritt 300 ggf. ein Erkennen dieses Betriebszustandes umfasst.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 300 wenigstens eines der vorgeschichteten Spektren einem Betriebszustand "aktueller oder drohender Überlauf der Trommel" entspricht und dass der Schritt 300 ggf. ein Erkennen dieses Betriebszustandes umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 300 wenigstens eines der vorgeschichteten Spektren einem Betriebszustand "aktuelle oder drohende Kavitation am Greifer" entspricht und dass der Schritt 300 ggf. ein Erkennen dieses Betriebszustandes umfasst.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt 300 eine Aussage über den Zustand des verfahrenstechnischen Prozess aus dem Vergleich und dem Erkennen von Übereinstimmungen aus Schritt 300 getroffen wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Abhängigkeit von der Erkennung des Betriebszustandes oder des Zustandes des Ausgangsproduktes (P) oder des Zustandes des verfahrenstechnischen Prozesses gemäß Schritt 300 in einem weiteren Schritt 400 eine oder mehrere Aktionen initiiert werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Initiieren einer oder mehrerer Aktion(en) gemäß Schritt 400 ein Ausgeben einer Warnmeldung umfasst.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Initiieren einer oder mehrerer Aktion(en) gemäß Schritt 400 ein Ausgeben eines Steuerungssignals zum Ändern des Betriebes der Zentrifuge umfasst.

## Claims

1. Method for detecting the operating state of a centrifuge which has at least one rotatable drum (1) having an inlet pipe (40) and having at least one liquid outlet (13) and/or a solids outlet, by means of which, during operation, a flowable starting product (P) is separated in the centrifugal field of the rotating drum (1) into different liquid and/or solids phases, having at least the following steps for detecting the operating state:



- 100 detection of a temporal course of a structure-borne sound signal with at least one structure-borne sound sensor (22, 20) arranged on a component of the drum or in the vicinity of a component of the drum (1), in particular with a predetermined sampling rate;
- 5 200 transformation of the respectively recorded structure-borne sound signal into a vibration or frequency spectrum;
- 300 comparison of the currently determined spectrum with at least one or more known, in particular pre-stored, spectra for detecting matches,

**characterized in that**

in step 300 a statement is made about the state of the starting product (P) from the comparison and recognition of matches from step 300.

- 15 2. Method according to claim 1, **characterized in that** in step 100 a structure-borne sound sensor (22) arranged on a component of the centrifuge which does not rotate during operation of the centrifuge is used.
3. Method according to claim 2, **characterized in that** in step 100 a structure-borne sound sensor (22) arranged on a component of the centrifuge drum (1) which does not rotate during operation of the centrifuge, in particular inside the centrifuge drum (1), is used.
- 20 4. Method according to claim 3, **characterized in that** in step 100 a structure-borne sound sensor (22) arranged on an inlet pipe (40) not rotating during operation of the centrifuge and/or on an outlet, in particular on a gripper (13), is used.
- 25 5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in step 300 at least one of the pre-stored spectra corresponds to an operating state "trouble-free operation" and **in that** step 300 optionally comprises a recognition of this operating state.
- 30 6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in step 300 at least one of the pre-stored spectra corresponds to an operating state "current or threatened overflow of the drum" and **in that** step 300 optionally comprises a recognition of this operating state.
- 35 7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in step 300 at least one of the pre-stored spectra corresponds to an operating state "current or threatened cavitation at the gripper" and **in that** step 300 optionally comprises a recognition of this operating state.
8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** in step 300 a statement is made about the state of the process-engineering process from the comparison and the recognition of matches from step 300.
- 40 9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that**, depending on the detection of the operating state or the state of the starting product (P) or the state of the process-engineering process according to step 300, one or more actions are initiated in a further step 400.
- 45 10. Method according to claim 9, **characterized in that** initiating one or more action(s) according to step 400 comprises issuing a warning message.
11. Method according to one of the preceding claims 9 or 10, **characterized in that** initiating one or more action(s) according to step 400 comprises outputting a control signal for changing the operation of the centrifuge.

**Revendications**

- 55 1. Procédé de détection de l'état de fonctionnement d'une centrifugeuse qui présente au moins un tambour rotatif (1) avec un tuyau d'arrivée (40) et avec au moins une sortie de liquide (13) et/ou une sortie de matières solides, avec laquelle, en fonctionnement, un produit de départ (P) fluide est séparé en différentes phases de liquide et/ou de matières solides dans le champ centrifuge du tambour rotatif (1), comprenant au moins les étapes suivantes pour détecter l'état de fonctionnement :

- 100 détection d'une courbe temporelle d'un signal de bruit de structure avec au moins un capteur de bruit de structure (22, 20) disposé sur un composant du tambour ou à proximité d'un composant du tambour (1), en particulier à une fréquence d'échantillonnage prédéfinie ;
- 5 200 transformation du signal de bruit de structure enregistré en un spectre d'oscillations ou de fréquences ;
- 300 comparaison du spectre actuellement déterminé avec au moins un ou plusieurs spectres connus, en particulier préenregistrés, pour détecter des concordances,

**caractérisé en ce que,**

à l'étape 300, une conclusion est tirée sur l'état du produit de départ (P) à partir de la comparaison et de la détection de concordances de l'étape 300.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 100, on utilise un capteur de bruit de structure (22) disposé sur un composant de la centrifugeuse qui ne tourne pas pendant le fonctionnement de la centrifugeuse.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 100, on utilise un capteur de bruit de structure (22) disposé sur un composant du tambour centrifuge (1) qui ne tourne pas pendant le fonctionnement de la centrifugeuse, en particulier à l'intérieur du tambour centrifuge (1).

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 100, on utilise un capteur de bruit de structure (22) disposé sur un tuyau d'arrivée (40) qui ne tourne pas pendant le fonctionnement de la centrifugeuse et/ou sur une sortie, en particulier sur un préhenseur (13).

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 300, au moins l'un des spectres préenregistrés correspond à un état de fonctionnement "fonctionnement sans incident" et **en ce que** l'étape 300 comprend, le cas échéant, une détection de cet état de fonctionnement.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 300, au moins l'un des spectres préenregistrés correspond à un état de fonctionnement "débordement actuel ou imminent du tambour" et **en ce que** l'étape 300 comprend, le cas échéant, une détection de cet état de fonctionnement.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 300, au moins l'un des spectres préenregistrés correspond à un état de fonctionnement "cavitation actuelle ou imminente sur le préhenseur" et **en ce que** l'étape 300 comprend, le cas échéant, une détection de cet état de fonctionnement.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à l'étape 300, une conclusion est tirée sur l'état du processus technique à partir de la comparaison et de la détection de concordances de l'étape 300.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, en fonction de la détection de l'état de fonctionnement ou de l'état du produit de départ (P) ou de l'état du processus technique selon l'étape 300, une ou plusieurs actions sont initiées dans une étape supplémentaire 400.

10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'initiation d'une ou plusieurs action(s) selon l'étape 400 comprend l'émission d'un message d'alerte.

11. Procédé selon l'une des revendications 9 ou 10 précédentes, **caractérisé en ce que** l'initiation d'une ou plusieurs action(s) selon l'étape 400 comprend l'émission d'un signal de commande pour modifier le fonctionnement de la centrifugeuse.

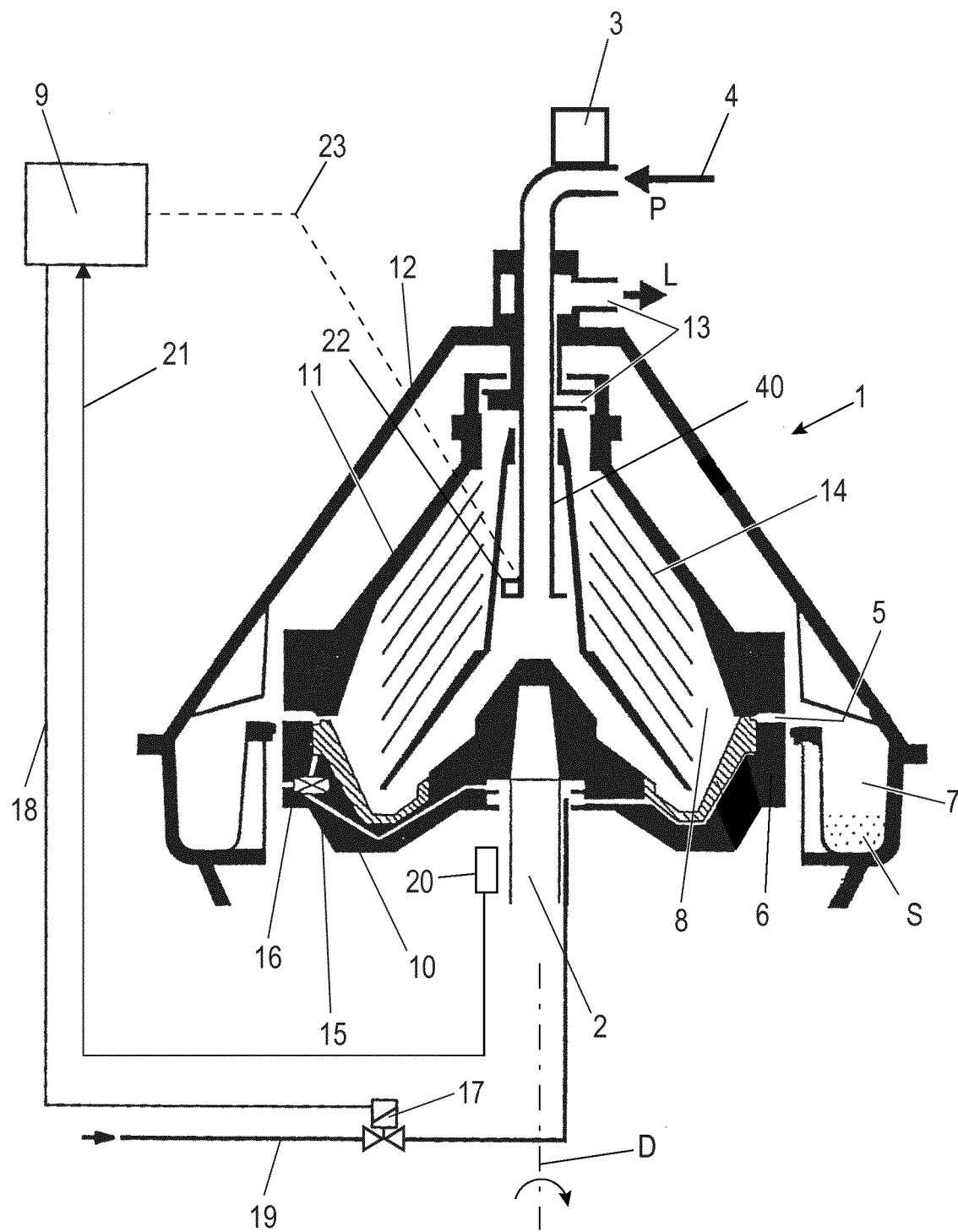


Fig. 1

Fig. 2  
Signalverlauf einer Körperschallmessung

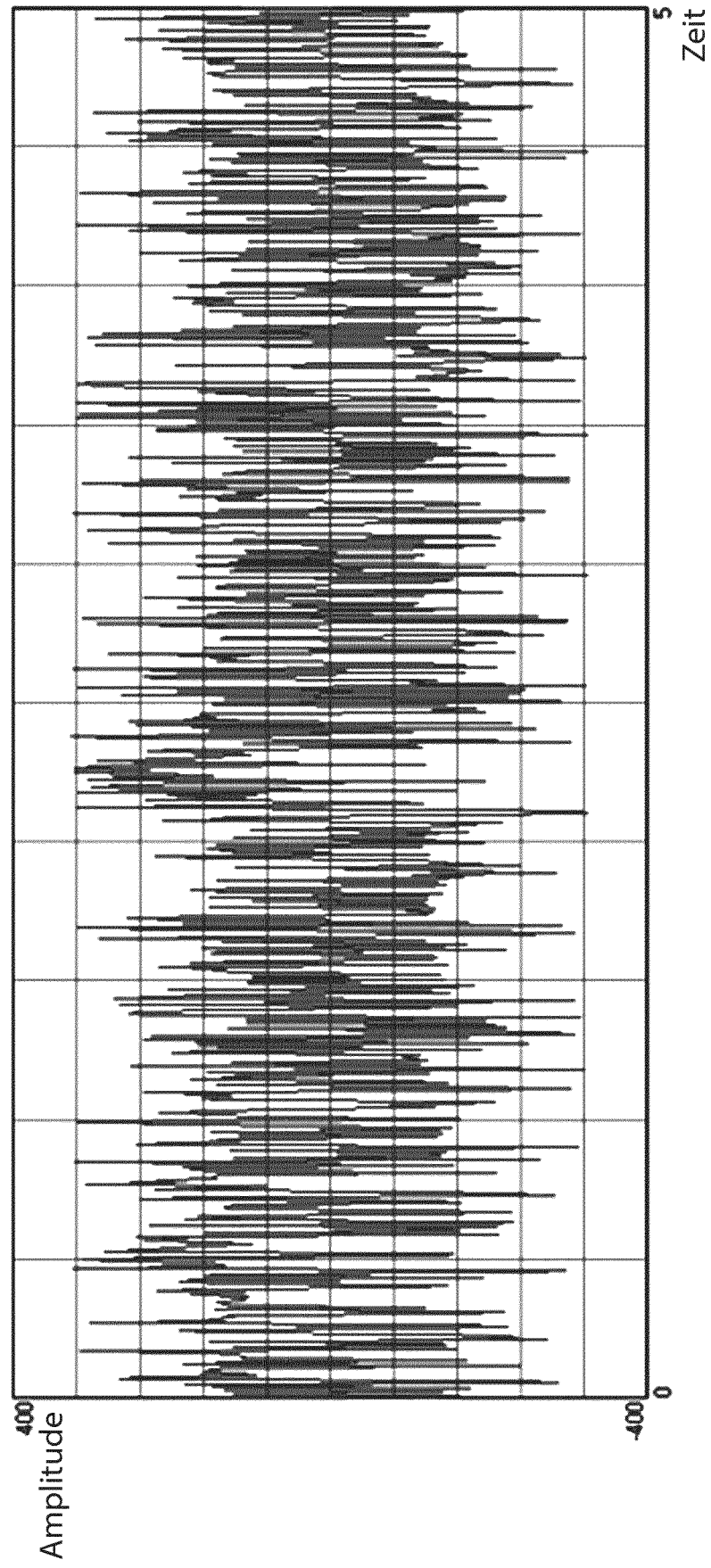


Fig. 3

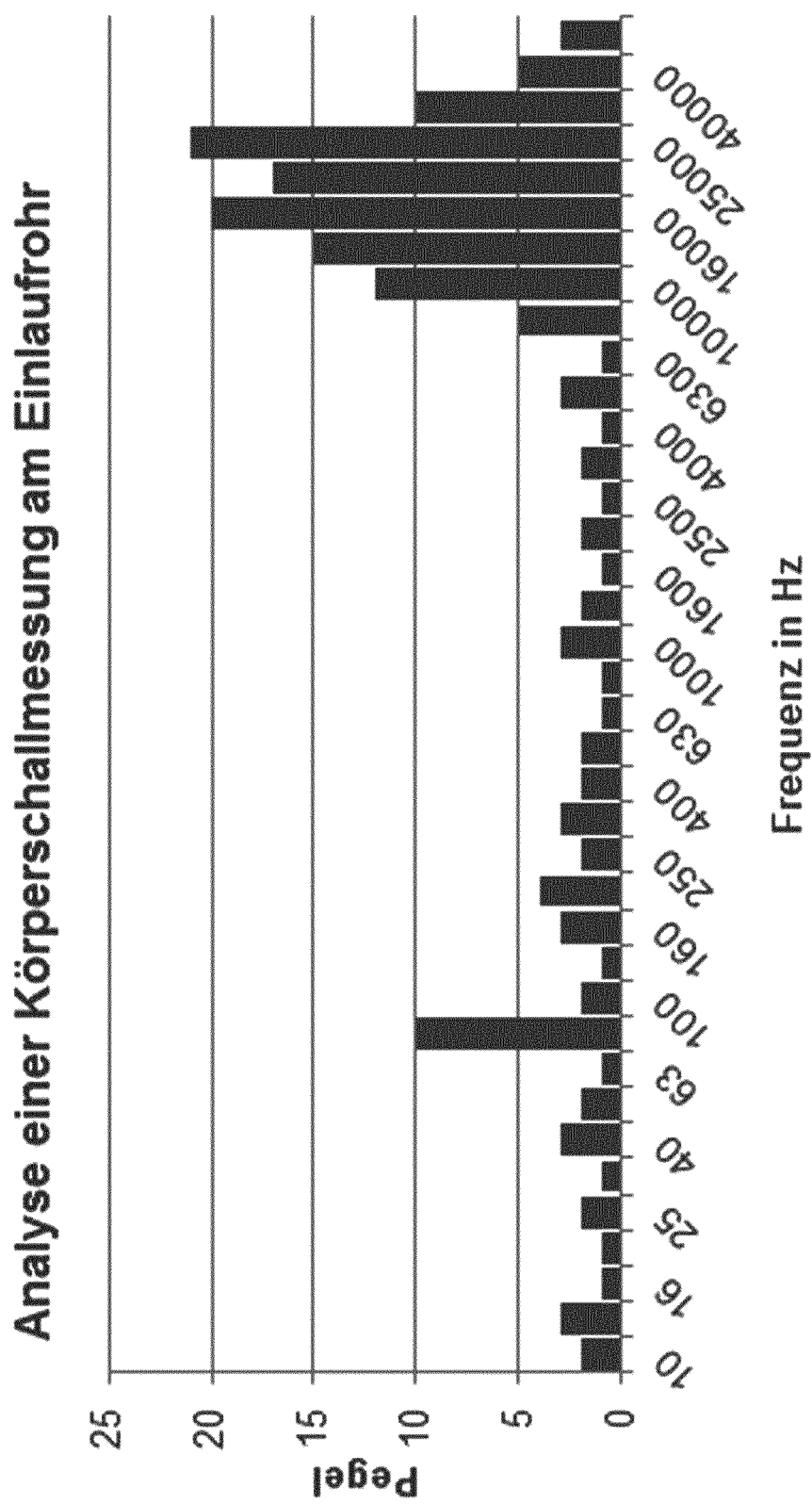
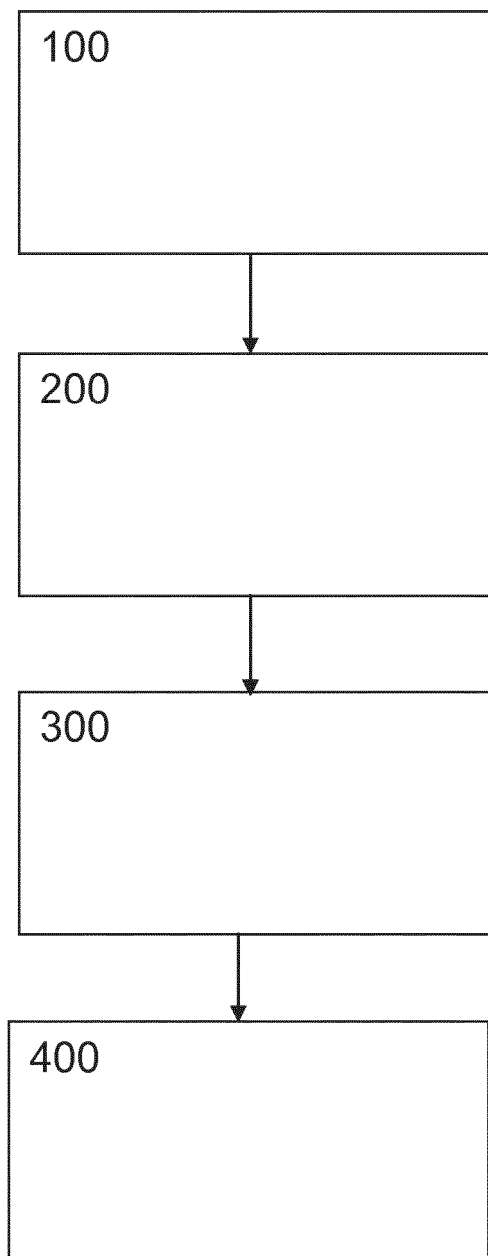


Fig. 4



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0724912 A2 [0002]
- WO 2015136162 A1 [0002]
- EP 0724912 A1 [0002]
- WO 2016008755 A1 [0003]
- DE 4004584 A1 [0003]
- JP 2002343763 A [0003]
- DE 102005049941 A1 [0041]