

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen eines Mehrphasengemisches in wenigstens eine Flüssigkeitsphase und eine Trockenphase mit einer vor-

- eine ringförmige Tauchscheibe, die an ihrem inneren Umfang mit einer Welle verbunden ist und deren Außendurchmesser kleiner ist als der Innendurchmesser einer Zentrifugentrommel; und
- wenigstens ein endseitig an der Zentrifugentrommel angeordnetes Flüssigkeitswehr mit einem Wehrspalt, durch den die Flüssigkeitsphase aus der Zentrifugentrommel ableitbar ist, und mit einer Teichtiefeneinstellvorrichtung, mit der die Teichtiefe x_T der in der Zentrifugentrommel rotierenden Flüssigkeitsphase einstellbar ist,

mit folgenden Schritten:

- a) Anlaufen der Zentrifugentrommel auf eine Starttrommeldrehzahl $n_{Z,1}$ und Einstellen der Teichtiefe x_T auf eine Startteichtiefe $x_{T,1}$;
- b) Einleiten des Mehrphasengemisches in die rotierende Zentrifugentrommel;
- c) Abzug der Trockenphase durch die wenigstens eine Trockensubstanzaustragsausnehmung und Abzug der Flüssigkeitsphase durch den Wehrspalt;
- d) Regeln der Teichtiefe x_T mittels der Teichtiefeneinstellvorrichtung in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration C_{TS} in der abgezogenen Trockenphase bis zum Erreichen einer vorgegebenen Soll-Trockensubstanzkonzentration $C_{TS,1}$.

[0002] Die Teichtiefe ist definiert als die Differenz zwischen Außen- und Innendurchmesser des in der Zentrifugentrommel rotierenden Flüssigkeitsrings.

[0003] Eine Dekantierzentrifuge mit wenigstens teilweise hydraulischer Förderung, wie Sie für die Durchführung des Verfahrens vorausgesetzt wird, ist aus der DE 43 20 265 C2 bekannt. Hierbei wird in der rotierenden Zentrifugentrommel ein Flüssigkeitsring zwischen Tauchscheibe und Flüssigkeitswehr mit bestimmter Füllstandshöhe, der sogenannten Teichtiefe, eingestellt und somit durch die Flüssigkeitsphase ein hydrostatischer Druck erzeugt, der zum Austrag der Trockenphase beiträgt. Die hydraulische Förderung kann zusätzlich oder anstelle des Austrags mit einer mit Differenzdrehzahl rotierbaren Schnecke erfolgen.

[0004] Das Wehr ist im wesentlichen zweiteilig ausgebildet ist. Eine Wehrplatte schließt den zylinderförmigen Mantel der Zentrifugentrommel ab und rotiert mit dieser. Sie ist mit wenigstens einem Durchlass zum Ablassen einer Flüssigkeit aus der Zentrifugentrommel versehen. Der Wehrplatte ist eine parallele Drosselscheibe zugeordnet, die axial verschiebbar an der orts-

festen Lagerung der rotierbaren Zentrifugentrommel angeordnet ist. Zwischen der rotierenden Wehrplatte und der ortsfesten Drosselscheibe bildet sich ein Spalt aus, der sich in radialer Richtung erstreckt und durch den die Flüssigkeitsphase aus der Zentrifugentrommel heraus geschleudert wird. Durch axiale Verschiebung der Drosselscheibe kann die Wehrspaltweite variiert werden. Durch eine Verringerung der Weite des Wehrspaltes wird eine Druckerhöhung in der Flüssigkeitsphase bewirkt, so dass diese vermehrt die Trockenphase aus der Zentrifugentrommel herausdrückt. Die Flüssigkeitsphase dringt teilweise auch in die Trockenphase ein und verringert dessen Konzentration an Trockensubstanz. Umgekehrt bewirkt eine Erweiterung des Wehrspaltes eine Druckminderung, eine reduzierte hydraulische Förderung und schließlich eine Erhöhung der Trockensubstanzkonzentration in der Trockenphase.

[0005] Dieses Flüssigkeitswehr für eine Dekantierzentrifuge hat sich bewährt, da es bei rotierender Zentrifugentrommel nachstellbar ist und so eine Regelung der Trockensubstanzkonzentration über die Wehrspaltweite erlaubt. Mittels der Regelung der Wehrspaltweite kann auf Konzentrations- und Mengenänderungen bei dem zugeführten Mehrphasengemisch im laufenden Prozess reagiert werden.

[0006] Es hat sich jedoch erwiesen, dass die Regelung der Trockensubstanzkonzentration über das verstellbare Flüssigkeitswehr einen unverändert hohen Energieeinsatz der mit hoher Drehzahl rotierenden Dekantierzentrifuge erfordert. Der hohe Energieverbrauch beruht insbesondere darauf, dass die der Trommel zugeführte Menge des Mehrphasengemisches kontinuierlich aus einer Ruhelage beschleunigt werden muss, bis sie die mittels der Zentrifugentrommel aufgeprägte hohe Winkelgeschwindigkeit erreicht.

[0007] Im Laufe des Verfahrens kann sich die Wehrstellung in eine Randlage verschieben, in der die Drosselplatte des Wehrs nicht weiter verstellbar ist. Bei starken Änderungen von Konzentration und/oder Menge des aufgegebenen Mehrphasengemisches kann dann keine Regelung der Trockensubstanzkonzentration mehr erfolgen. Der Prozess muss abgebrochen und mit einer empirisch zu bestimmenden Trommeldrehzahl neu angefahren werden.

[0008] Bekannt ist aus der DE 195 00 600 ein pneumatisches Flüssigkeitswehr, bei dem durch Einblasen von Druckgas in den Wehrspalt der Strömungswiderstand der Flüssigkeitsphase im Wehr erhöht wird, wodurch die Teichtiefe erhöht wird. Auch mit dieser Ausbildung des Flüssigkeitswehrs ist eine Regelung der Trockensubstanzkonzentration durch eine Wehrverstellung während des Betriebes möglich.

[0009] In der EP 1 044 723 A1 werden verschiedene Verfahren vorgeschlagen, um mit Maschinenparametern wie der Trommeldrehzahl oder der Differenzdrehzahl die Eigenschaften der separierten Phasen zu beeinflussen. Hierbei steht jedoch stets die Zusammen-

setzung der Flüssigkeits- bzw. Trockenphase im Mittelpunkt der Überlegungen. Die offenbarte Regelung der Trockensubstanzkonzentration über eine Variation der Trommeldrehzahl erfordert jedoch einen erhöhten Energieeinsatz. Neben dem ohnehin hohen Energieverbrauch bei einer hohen Grunddrehzahl ist das häufige Abbremsen und Beschleunigen der Trommel wegen der hohen Massenträgheitsmomente einer beladenen Dekantierzentrifuge und den hohen Winkelgeschwindigkeiten zusätzlich sehr energieintensiv.

Ein Verfahren, das zum Betreiben einer Dekantierzentrifuge mit einem verstellbaren Flüssigkeitswehr geeignet wäre, ist nicht offenbart.

[0010] Es stellt sich daher die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiter zu entwickeln, dass zum einen eine Optimierung des Energieverbrauchs im Grundlastbetrieb einer Dekantierzentrifuge erfolgt und dass zum anderen die Dekantierzentrifuge so betrieben wird, dass auch bei plötzlichen Änderungen in Art und Menge des zulaufenden Produktes eine Regelung des Prozesses im Hinblick auf eine vorbestimmte Trockensubstanzkonzentration der abgetrennten Trockenphase gewährleistet ist.

[0011] Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Verfahren der eingangs genannten Art, das durch folgende weitere Schritte gekennzeichnet ist:

- e) Festlegen eines Teichtiefentoleranzbereichs mit einer unteren Teichtiefe $x_{T,U}$ und einer oberen Teichtiefe $x_{T,O}$;
- f) Vergleichen der eingeregelter Teichtiefe x_W mit dem Teichtiefentoleranzbereich und fortwährende Durchführung der Schritte b) bis f) bei einer innerhalb des Teichtiefentoleranzbereiches liegenden Teichtiefe x_T ;
- g) Erhöhen der Zentrifugentrommeldrehzahl n_Z um einen Drehzahlstufenwert Δn_Z bei einer Teichtiefe x_T , die kleiner ist als die untere Teichtiefe $x_{T,U}$, oder Absenken der Zentrifugentrommeldrehzahl n_Z um einen Drehzahlstufenwert Δn_Z bei einer Teichtiefe x_T , die größer ist als die obere Teichtiefe $x_{T,O}$;
- h) Nachregeln der Teichtiefe x_T in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase bis zum Erreichen einer vorgegebenen Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,0}$;
- i) Vergleich der nachgeregelten Teichtiefe x_T mit einem vorgegebenen Teichtiefentoleranzbereich und Wiederholung der Schritte f) bis i) bei einer außerhalb des Teichtiefentoleranzbereiches liegenden Teichtiefe x_T unter fortwährender Einleitung des Mehrphasengemisches in die rotierende Zentrifugentrommel und Abzug der Flüssigkeits- und Trockenphase.

[0012] Die mit dem Verfahren der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass eine Dekantierzentrifuge mit einer Tauchscheibe und einem

Flüssigkeitswehr so zu betreiben ist, dass bei einem Grundlastbetrieb mit weitgehend konstanter Menge und Konzentration des Zulaufs eine Optimierung hinsichtlich des Energieverbrauchs vorgenommen werden kann und dass zugleich eine Reaktionsbereitschaft auf plötzliche Änderungen im Zulauf dadurch gegeben ist, dass das Wehr in eine durch den Toleranzbereich definierte Mittellage zurückgeführt wird, aus der heraus es sowohl die Trockenphase stärker eindicken als auch weiter verdünnen kann.

[0013] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird eine Dekantierzentrifuge verwendet, deren Flüssigkeitswehr aus einer Wehrplatte mit wenigstens einer Flüssigkeitsausnehmung und aus einer Drosselplatte besteht, die ortsfest unter Ausbildung eines Wehrspaltes gegenüber der Wehrplatte gelagert und axial verschiebbar ist. Die Teichtiefe x_T ist über eine Vergrößerung der Wehrspaltweite x_W abzusenken und über eine Verringerung der Wehrspaltweite x_W zu erhöhen. Dem Teichtiefentoleranzbereich ist ein entsprechender Wehrspaltweitentoleranzbereich mit einer unteren Wehrspaltweite $x_{W,U}$ und einer oberen Wehrspaltweite $x_{W,O}$ zugeordnet. Da eine Erhöhung der Wehrspaltweite den Staudruck am Wehr senkt, sinkt folglich die Teichtiefe. Somit ist bei der unteren Wehrspaltweite $x_{W,U}$ des Wehrspaltweitentoleranzbereichs die obere Teichtiefe $x_{T,U}$ erreicht und umgekehrt.

[0014] Eine weitere Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass eine Dekantierzentrifuge verwendet wird, deren Flüssigkeitswehr wenigstens aufweist einen sich axial erstreckenden, U-förmigen Flüssigkeitskanal, deren Eintritts- und Austrittsöffnungen zum Außenumfang des Flüssigkeitswehrs hin angeordnet sind und bei dem im Bereich einer U-förmigen Biegung des Flüssigkeitskanals ein Druckgas unter Ausbildung einer hydrohermetischen Druckkammer einleitbar ist. Damit ist die Teichtiefe x_T durch Erhöhung des Gasdrucks zu erhöhen und durch Erniedrigen des Gasdrucks abzusenken. Dem Teichtiefentoleranzbereich ist ein entsprechender Gasdrucktoleranzbereich mit einem unteren Gasdruck p_U und einem oberen Gasdruck p_O zugeordnet.

[0015] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels unter Bezug auf die Zeichnung zu entnehmen.

[0016] Die Erfindung betrifft auch ein Dekantierzentrifugensystem zur Durchführung des Verfahrens, mit wenigstens folgenden Einzelteilen:

- einer Dekantierzentrifuge umfassend:
 - eine Hohlwelle, die wenigstens ein innenliegendes Einlaufrohr aufweist;
 - eine um die Hohlwelle rotierbare Zentrifugentrommel, welche mit wenigstens einer in ihren Trommelmantel eingebrachten Trockensubstanzaustragsausnehmung versehen ist;
 - eine ringförmigen Tauchscheibe, die an ihrem

inneren Umfang mit der Hohlwelle verbunden ist und deren Außendurchmesser kleiner ist als der Innendurchmesser des Trommelmantels;

- wenigstens ein endseitig an der Zentrifugentrommel angeordnetes Flüssigkeitswehr mit einem Wehrspalt, durch den die Flüssigkeitsphase aus der Zentrifugentrommel ableitbar ist, und mit einer Teichtiefeinstellvorrichtung, mit der die Teichtiefe x_T der in der Zentrifugentrommel rotierenden Flüssigkeitsphase einstellbar ist,
- einer Sensoreinrichtung zur Messung der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase;
- eine Wehrregelereinrichtung zur Regelung der Teichtiefe x_T in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} .

[0017] Eine Dekantierzentrifugensystem mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 17 ist aus der Veröffentlichung "Intelligente Meß- und Regelungstechnik zur optimierten Prozessführung bei der Abwasserbehandlung" (DR. H.-J. BEYER / M. FLEUTER, Westfalia Separator Industry GmbH in: 4. Merseburger Fachtagung Automatisierung, Meßmethoden und Experimente in der mechanischen Verfahrenstechnik, November 1999) bekannt. Mit Hilfe einer Wehrregelereinrichtung wird erreicht, dass die Teichtiefe x_T in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} verstellt wird. Hierdurch ist eine weitgehende Automatisierung des Phasentrennprozesses möglich. Ein Eingriff des Bedieners ist aber nach wie vor erforderlich, wenn starke Änderungen in Art, Menge und/oder Konzentration des zulaufenden Produktes auftreten und das Wehr eine Grenzlage erreicht hat, aus der heraus es nicht mehr auf die aufgetretenen Änderungen reagieren kann. Zudem ist im laufenden Prozess wegen der hohen Trommeldrehzahlen ein hoher Energieverbrauch festzustellen.

[0018] Es stellt sich daher die Aufgabe, ein Dekantierzentrifugensystem so weiter zu entwickeln, dass der Energieverbrauch bei der Trennung eines Mehrphasengemisches mittels einer Dekantierzentrifuge reduziert wird und außerdem auch Änderungen bei Menge und Zusammensetzung des zulaufenden Produktes ohne Eingriff des Benutzers kompensierbar sind.

[0019] Diese Aufgabe wird gelöst bei einem Dekantierzentrifugensystem der zuvor genannten Art, das gekennzeichnet ist durch eine Drehzahlregelereinrichtung zur Regelung der Trommeldrehzahl n_Z in Abhängigkeit von der Teichtiefe x_T und von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} , mit einem Konzentrationssignaleingang (221), einem Teichtiefensignaleingang (222) und einem Drehzahlsteuersignalausgang (224).

[0020] Mit diesem Dekantierzentrifugensystem ist es möglich, zwei Stellgrößen, nämlich Teichtiefe und Drehzahl, automatisch zu beeinflussen. Die Drehzahlregel-

einrichtung ist dabei nachgeordnet. Priorität in dem System behält die Wehrregelereinrichtung für die Regelung der Teichtiefe in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration. Damit kommt der Drehzahlregelereinrichtung eine Rolle als Ergänzungssystem zu, das in Zeiten eines Grundlastbetriebs eine Optimierung des Energieverbrauchs bewirken kann oder auch die Stellung des Wehrs im Hinblick auf Reaktionen des Systems auf Änderungen beim Zulauf optimieren kann.

[0021] Im Falle eines Ausfalls der Wehrregelereinrichtung kann zudem über eine Änderung der Trommeldrehzahl die Trockensubstanzkonzentration geregelt oder zumindest soweit gesenkt werden, dass die Trockensubstanz fließfähig bleibt und ein Verstopfen der Austragsleitungen verhindert wird.

[0022] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Dekantierzentrifugensystems sind den Unteransprüchen 18 bis 24 zu entnehmen.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. Die Figuren zeigen im Einzelnen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines Dekantierzentrifugensystems in schematischer Übersicht;

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform eines Dekantierzentrifugensystems in schematischer Übersicht,

Fig. 3 den inneren Aufbau einer Dekantierzentrifuge mit mechanischem Flüssigkeitswehr in Schnittansicht;

Fig. 4a bis 4c den Verlauf verschiedener Parameter während des Verfahrens, jeweils aufgetragen in einem Diagramm über der Zeitachse;

Fig. 5a,b die ausströmende Flüssigkeit bei verschiedenen Stellungen eines mechanischen Flüssigkeitswehrs in Schnittansicht;

Fig. 6 eine Dekantierzentrifuge mit pneumatische, Flüssigkeitswehr in Schnittansicht; und

Fig. 7 den Ablauf des Verfahrens in einem Flussdiagramm.

[0024] Figur 1 zeigt eine erste Ausführungsform eines Dekantierzentrifugensystems gemäß der Erfindung. Eine Dekantierzentrifuge 100 ist mit einem Einlaufrohr 11, einer Flüssigkeitsleitung 36 und einer Trockensubstanzaustragsleitung 27 verbunden. Die Dekantierzentrifuge 100 weist eine Trommelantriebsvorrichtung 25 für den Antrieb einer Zentrifugentrommel 20 auf und ei-

ne Schneckenantriebsvorrichtung 45 zum Antrieb einer Förderschnecke 40 auf. Außerdem ist die Dekantierzentrifuge 100 mit einem Flüssigkeitswehr versehen, das über eine Wehrstellvorrichtung 35 verstellbar ist.

[0025] An der Trockensubstanzaustragsleitung 27 ist eine Sensoreinrichtung 60 angeordnet, mit der eine Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der dort abgezogenen Trockenphase messbar ist. Das Messsignal der Sensoreinrichtung 60 ist auf den Konzentrationssignaleingang 211 einer Wehrregleinrichtung 210 aufgeschaltet. An deren Steuerausgang 214 wird in der hier dargestellten ersten Ausführungsform ein Wehrspaltweitensteuersignal ausgegeben, mit dem die Wehrstellvorrichtung 35 beaufschlagt ist. Als besonders geeignet hat sich die Auslegung der Wehrregleinrichtung 210 als PI-Regler erwiesen. Durch einen hohen integrierenden Anteil können Regelabweichungen zunächst über eine Zeitdauer gemittelt werden, so dass ein Aufschwingen des Dekantierzentrifugensystems verhindert wird.

[0026] Das Messsignal der Sensoreinrichtung 60 ist außerdem auf den Konzentrationssignaleingang 221 einer Drehzahlregleinrichtung 220 aufgeschaltet. An einem Wehrspaltweitensignaleingang 222 ist ein Signal aufgeschaltet, das die aktuelle Wehrspaltweite übermittelt. Dieses Wehrspaltweitensignal kann direkt vom Steuerausgang 214 der Wehrregleinrichtung 210 abgenommen werden, so dass es einen Soll-Wert der Wehrspaltweite repräsentiert.

[0027] Vorzugsweise wird jedoch die tatsächliche Wehrspaltweite durch Wegstreckenmessung direkt am Wehr ermittelt und dem Wehrspaltweitensignaleingang 222 der Drehzahlregleinrichtung 220 aufgeschaltet. Die Drehzahlregleinrichtung 220 ist als Schrittreger ausgeführt.

[0028] Die in Fig. 2 dargestellte bevorzugte Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten aus Fig. 1 dadurch, dass sie eine Deaktivierungseinrichtung 215 aufweist, die die Drehzahlregleinrichtung 220 erst freischaltet, wenn die Anlaufphase des Prozesses beendet ist und die Wehrspaltweite x_W vorläufig durch die Wehrregleinrichtung 210 eingeregelt worden ist. Weiterhin deaktiviert die Deaktivierungseinrichtung 215 die Drehzahlregleinrichtung 220 im Anschluss an eine Änderung der Trommeldrehzahl solange, bis die damit einhergehende Beeinflussung der an der Sensoreinrichtung 60 zu messenden Trockensubstanzkonzentration c_{TS} von der Wehrregleinrichtung 210 wieder kompensiert worden ist. Anschließend wird die Drehzahlregleinrichtung 220 wieder freigeschaltet, so dass diese gegebenenfalls eine weitere Änderung der Trommeldrehzahl ausführen kann.

[0029] In Fig. 3 ist der innere Aufbau einer Dekantierzentrifuge 1 dargestellt, die im wesentlichen aus einer Zentrifugentrommel 20, einer Hohlwelle 20, einem Flüssigkeitswehr 30 und einer Förderschnecke 40 besteht.

[0030] Die Zentrifugentrommel 20 ist an Lagerstellen 23, 24 drehbar gelagert und kann über eine Trommel-

antriebsvorrichtung 25 (vgl. Fig. 1) rotiert werden. Innerhalb der Zentrifugentrommel 20 ist eine Hohlwelle 10 angeordnet, die über Lager 15, 16 drehbar am Trommelmantel 21 gelagert ist. In eine axiale Bohrung der Hohlwelle 10 ragt ein ortsfestes Einlaufrohr 11 hinein, die an wenigstens einer Einlaufausnehmung 12 mündet. Durch diese ist eine Verbindung von der inneren Bohrung zum Außenumfang der Hohlwelle 10 geschaffen.

[0031] Am Außenumfang der Hohlwelle 10 ist eine Förderschnecke 40 befestigt, die über eine Schneckenantriebsvorrichtung 45 rotierbar ist. Die Schneckenantriebsvorrichtung 45 kann auch Teil der Trommelantriebsvorrichtung 25 sein, beispielsweise durch eine separate Getriebestufe gebildet sein. Hohlwelle 10 und Trommelmantel 21 sind konzentrisch angeordnet, so dass sich zwischen der Hohlwelle 10 und dem Trommelmantel 21 ein Kreisringraum 26 ausgebildet. Die Hohlwelle 10 weist eine Tauchscheibe 14 auf, die an dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel in der Nähe einer Querschnittsverjüngung von Hohlwelle 10 und Trommelmantel 21 angeordnet ist. Die Tauchscheibe 14 ist auf der Hohlwelle 10 befestigt und schließt den Kreisringraum 26 zur Hohlwelle hin ab. Der äußere Umfang der Tauchscheibe 14 ist beabstandet von dem Innenumfang des Zentrifugenmantels 21, so dass dort ein Durchtritt von Flüssigkeit oder Trockensubstanz möglich ist. Am Ende des konischen Bereiches ist der Trommelmantel 21 mit wenigstens einer Trockensubstanzaustragsausnehmung 22 versehen.

[0032] Am gegenüberliegenden axialen Ende der Zentrifugentrommel 20 ist ein Flüssigkeitswehr 30 angeordnet. Die Zentrifugentrommel 20 ist mit einer Wehrplatte 32 abgeschlossen, welche einzelne Ausnehmungen aufweist, die einen Austritt von Flüssigkeit erlauben. Der Wehrplatte 32 gegenüberliegend ist eine Drosselplatte 34 angeordnet, die an einem ortsfest Teil des Gehäuses der Dekantierzentrifuge 1 befestigt ist und nicht mit der Zylindertrommel 20 rotiert. Die Drosselplatte 34 ist parallel zur Drehachse der Zylindertrommel 20 verschiebbar. Die Breite eines sich zwischen Wehrplatte 32 und Drosselplatte 34 ausbildenden Wehrspalts 33 ist damit auch bei rotierender Zylindertrommel 20 variierbar.

[0033] Die Verstellung der Drosselplatte 34 kann über elektrische oder pneumatische Verstelleinrichtungen erfolgen, die über ein Spaltweitensignal steuerbar sind, welches vom Steuerausgang 214 einer Wehrregleinrichtung 210 ausgegeben wird.

[0034] Figur 6 zeigt ausschnittsweise eine Dekantierzentrifuge mit einem pneumatischen Flüssigkeitswehr 330. Dieses weist einen U-förmigen Flüssigkeitskanal auf mit einer zur Zentrifugentrommel 20 hin gerichteten Eintrittsöffnung 331, einer U-förmigen Biegung 333 und einer Austrittsöffnung 332. Es schließt sich in der in Fig. 6 dargestellten Ausführungsform eine weitere U-förmige Kanalumlenkung an, so dass insgesamt eine Labyrinthdichtung mit 4 Umlenkungen ausgebildet ist. Durch

eine Druckgasleitung 334 kann Druckgas in den Flüssigkeitskanal im Bereich der U-förmigen Biegung 333 eingeblasen werden, wo sich eine hydrohermetische Druckkammer ausbildet. Das in der Biegung 333 eingeleitete Druckgas erhöht den Strömungswiderstand für die Flüssigkeitsphase 54 und erhöht damit den Staudruck am Flüssigkeitswehr 330, so dass sich die Teichtiefe x_T vergrößert und die Trockensubstanzkonzentration der ausgetragenen Schlammphase 52 verringert. Wird der Gasdruck zu hoch gewählt, bricht die Gasphase aus der Biegung 333 des Kanals aus und sammelt sich entweder in der Zentrifugentrommel 20 oder strömt nach außen. Bei einem Gasdruck, der etwa dem Druck der rotierenden Flüssigkeitsphase in der Biegung 333, tritt kein Gas mehr in die Flüssigkeitsphase 54 über, so dass diese ungehindert austreten kann. Beim Über- oder Unterschreiten dieser Druckwerte wird die Teichtiefe x_T nicht mehr beeinflusst. Liegt der Gasdruck zwischen den genannten Grenzdrukken, kann das Verfahren der Erfindung in gleicher Weise angewandt werden wie zuvor für eine Dekantierzentrifuge mit mechanisch verstellbarem Flüssigkeitswehr 30 angegeben wurde. Auch das zuvor beschriebene Dekantierzentrifugensystem kann mit seinen Sensoren 60 und Regeleinrichtungen 210, 220 ebenso zusammen mit einer Dekantierzentrifuge mit pneumatisch verstellbarem Flüssigkeitswehr 330 betrieben werden.

[0035] Das erfindungsgemäße Verfahren wird nachfolgend mit Bezug auf die Zeichnung erläutert.

[0036] Bei dem zu verarbeitenden Produkt handelt es sich um ein Mehrphasengemisch, das mindestens eine Flüssigkeitsphase und eine darin unlösliche Feststoffphase aufweist. In der hier vorgestellten Ausbildung des Verfahrens ist es Ziel des Trennprozesses, die Feststoffphase mit einem möglichst geringem Restgehalt an Flüssigkeit abzutrennen, gleichwohl soll die aus Feststoff und Restflüssigkeit bestehende Trockenphase noch durch Rohrleitungen förderbar sein, so dass sie fließfähig bleiben muss. Diese Zielsetzung ergibt sich beispielsweise bei der Verarbeitung von Klärschlamm in kommunalen Kläranlagen.

[0037] Die Zylindertrommel 20 wird auf eine hohe Nenndrehzahl n_{Z0} beschleunigt, und das Produkt wird eingeleitet. Die Nenndrehzahl n_{Z0} ist durch die Bauart der Dekantierzentrifuge 100 begrenzt. Bei hoher Nenndrehzahl n_{Z0} zu Beginn des Verfahrens weist die sich absondernde Trockenphase 52 in der Zentrifugentrommel 20 eine hohe Trockensubstanzkonzentration c_{TS} auf.

[0038] Bei einem großen Dichtenunterschied zwischen fester und flüssiger Phase sind Feststoffe leichter sedimentierbar. In diesen Fällen kann die Nenndrehzahl n_{Z0} niedriger sein als die bauartbedingte Höchstdrehzahl $n_{Z,max}$. Das Verfahren kann dann mit einer Startdrehzahl begonnen werden, die dem 0,5 bis 0,7fachen der maximalen Drehzahl entspricht. Dadurch weist die Trockenphase zunächst einen erhöhte Menge an Restwasser auf. Um dies auszugleichen, wird

das Verfahren mit einem weit geöffneten Wehr begonnen, so dass möglichst viel Flüssigkeit abfließen kann.

[0039] In jedem Fall wird aber die Nenndrehzahl n_{Z0} zu Anfang des Prozesses so hoch gewählt, dass damit eine starke Phasentrennung erzielt wird und vermieden wird, dass Feinstäube mit der abgetrennten Flüssigkeitsphase ausgeschwemmt werden.

[0040] Um die Förderbarkeit der Trockenphase 52 zu gewährleisten und um bereits in der Anlaufphase des Prozesses ein so hohes Volumen auszutragen, dass die Rohrleitungen auf der Austragsseite gefüllt werden und eine Messung der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} mit Hilfe der Sensoreinrichtung 60 ermöglicht ist, wird die bei hoher Nenndrehzahl abgetrennte Trockensubstanz mit Flüssigkeit versetzt. Dazu wird beim Anlaufen des Prozesses die Wehrspaltweite x_W des Wehrspalts 33 zunächst auf einen Startwert eingestellt, der etwa 0,5% bis 5% der maximal einstellbare Wehrspaltweite $x_{W,max}$ beträgt. Durch den schmalen Wehrspalt 33 steigt der Druck im Kreisringraum 26, so dass Flüssigkeit 54 in die abgeschleuderte Trockenphase 52 hineindrückt. Die so wieder verdünnte Trockenphase 52 wird an der Tauchscheibe 14 vorbei bis zu der Trockensubstanzaustragsausnehmung 22 gefördert.

[0041] Die Weitenverhältnisse am Wehr sind in den Fig. 5a und 5b schematisch dargestellt. Die Flüssigkeitsphase 54 wird nach dem Austritt aus der Wehrplatte 32 auf Grund der hohen Zentrifugalkräfte radial nach außen geschleudert. Bei einer in Fig. 5b dargestellten sehr weiten Öffnung des Wehrspalts 33 schleudert die Flüssigkeitsphase weg und benetzt die Drosselplatte 34 nicht mehr. Die Spaltweite x_W ist dann ohne Einfluss auf die hydraulische Förderung der Trockenphase 52 in der Zentrifugentrommel 20. Die maximal einstellbare Wehrspaltweite $x_{W,max}$ ist damit diejenige Weite des Wehrspalts 33, bei der gerade noch eine Benetzung der Drosselplatte 34 durch die austretende Flüssigkeitsphase 54 stattfindet und somit eine Regelung des Staudrucks der Flüssigkeitsphase erfolgen kann.

[0042] Anschließend wird die Wehrspaltweite x_W in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase 52 bis zum Erreichen einer vorgegebenen Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,0}$ geregelt.

[0043] Als anzustrebender Arbeitspunkt wird eine Wehrspaltweite definiert, die unter Berücksichtigung von maschinentechnischen und produktspezifischen Daten festgelegt wird und gegebenenfalls durch Vorversuche ermittelt wird. Weiterhin wird ein in Fig. 4b mit 37 bezeichneter Wehrspaltweitentoleranzbereich um den Arbeitspunkt herum und eine Startwehrspaltweite $x_{W,1}$ festgelegt. Die Breite des Wehrspaltweitentoleranzbereichs 37 beträgt vorzugsweise 0,5% bis 5% der maximalen Wehrspaltweite $x_{W,max}$.

[0044] Der Arbeitspunkt kann auch in der Mitte des verfahrenstechnischen wirksamen Verfahrensbereichs der Drosselplatte 34 festgelegt werden, so dass sich gleich große Reserven für den Verfahrensweg der Drosselplatte

in beiden Richtungen ergeben.

[0045] Nach dem so gestalteten Anlaufen des Prozesses setzt die erfindungsgemäße Optimierung des Verfahrens im Hinblick auf eine Energieeinsparung ein, sofern die eingeregelter Wehrspaltweite x_W nicht in dem Wehrspaltweitentoleranzbereich 37 liegt.

[0046] Liegt die Wehrspaltweite in dem Wehrspaltweitentoleranzbereich 37, so wird der Prozess ohne Energieverbrauchsoptimierung weitergeführt, indem laufend das Produkt aufgegeben wird und Flüssigkeits- und Trockenphase abgezogen werden. Über eine Regelung der Wehrspaltweite wird auf Konzentrations- oder Mengenänderungen im Zulauf reagiert, so dass die Trockensubstanzkonzentration c_{TS} nach kurzer Zeitdauer wieder einem vorgegebenen Sollwert entspricht.

[0047] Kann die Wehrspaltweite nicht weiter erhöht werden, da diese nahe an der maximalen Wehrspaltweite $x_{W,max}$ liegt, wird eine Erhöhung der Trommeldrehzahl n_Z vorgenommen, so dass die Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der Trockenphase tendenziell erhöht wird. Dem wird durch eine Druckerhöhung in der Flüssigkeitsphase entgegengewirkt, die mittels einer Reduzierung der Wehrspaltweite x_W bewirkt wird. Durch die Schritte Drehzahlerhöhung und Nachregelung der Wehrspaltweite wird, gegebenenfalls nach einer Wiederholung, zugleich die Drosselplatte des Wehrs wieder im Wehrspaltweitentoleranzbereich 37 positioniert.

[0048] Liegt die eingeregelter Wehrspaltweite x_W jedoch unterhalb des vorgegebenen Wehrspaltweitentoleranzbereichs 37, so wird die Zentrifugentrommeldrehzahl n_Z um einen Drehzahlstufenwert Δn_Z , welcher vorzugsweise bei 2% der maximalen Nenndrehzahl liegt, abgesenkt. Eine Durchführung des Verfahrens mit Drehzahlstufenwerten Δn_Z von 30 bis 70 U/min ist auch möglich. Es hat sich gezeigt, dass diese bevorzugte Werte für die Drehzahlstufenwerte einerseits groß genug ist, um in möglichst kurzer Zeit und möglichst wenigen Schritten eine Energieeinsparung zu bewirken. Andererseits führt die Höhe der dem Prozess aufgewungenen Änderung noch nicht zu einem Aufschwingen des Systems oder anderen negativen Auswirkungen.

[0049] Nach der Drehzahländerung wird die Wehrspaltweite x_W in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase 52 bis zum Erreichen einer vorgegebenen Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,0}$ nachgeregelt.

[0050] Die eingeregelter Wehrspaltweite x_W wird wiederum mit dem vorgegebenen Wehrspaltweitentoleranzbereich 37 verglichen. Solange die Wehrspaltweite x_W außerhalb des Wehrspaltweitentoleranzbereichs 37 liegt, werden die Schritte:

- Drehzahlabsenkung,
- Nachregelung des Wehrspaltes 33 und
- Überprüfung der Wehrspaltweite

wiederholt.

[0051] Andernfalls wird die Energieoptimierung abgebrochen. Das Wehr 30 steht dann in einer Stellung, bei der noch genügend Reserven gegeben sind, um die Drosselklappe 34 im verfahrenstechnisch wirksamen Bereich zu verfahren und damit die Wehrspaltweite x_W zu verändern, wenn eine Änderung in Menge und/oder Zusammensetzung des aufgegebenen Produktes dies erfordert.

[0052] Das erfindungsgemäße Verfahren wird abschließend an einem Beispiel und mit Bezug auf die Fig. 7 und die Fig. 4a bis Fig. 4c nochmals erläutert.

[0053] In einer kommunalen Kläranlage wird das Dekantiersystem der Erfindung zur Trocknung, Eindickung oder Volumenstromreduzierung von Klärschlamm, welcher ein Gemisch aus Flüssigkeit und Feststoffen mit einem Gehalt an Trockensubstanz von 0.1 - 50 g/l darstellt. Angestrebt wird eine Entwässerung bis auf eine Trockensubstanzkonzentration c_{TS} von 60 g/l.

[0054] In Fig. 4 ist der zeitliche Verlauf der Trommeldrehzahl n_Z (Fig. 4a), der Wehrspaltweite x_W (Fig. 4b) und des Volumenstroms des zugeführten Produktes (Fig. 4c) bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dargestellt.

[0055] In der mit "I" bezeichneten Phase wird die Zentrifugentrommel 20 auf eine hohe Trommeldrehzahl beschleunigt, die im Bereich der bauartbedingten, im Betrieb maximal zulässigen Drehzahl liegt.

[0056] Wie in Fig. 4b dargestellt, wird die Wehrspaltweite x_W , ausgehend von einem nahezu geschlossenen Wehrspalt 33 in einer Rampenfunktion vergrößert, bis die Trommel mit dem im Betrieb vorgesehenen Volumen des Mehrphasengemisches vollständig befüllt ist, die vorgegebene Trommeldrehzahl erreicht wird und ein konstanter Volumendurchsatz in der Dekantierzentrifuge vorliegt.

[0057] Als Abschluss der Phase "I", die die Schritte a) bis d) des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst, erfolgt eine Nachregelung der Wehrspaltweite x_W bis eine vorgegebene Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase 52 erreicht ist.

[0058] Anschließend an die Nachregelung erfolgt mit Beginn der Phase "II" eine Überprüfung, ob die Wehrspaltweite x_W schon innerhalb des Wehrspaltweitentoleranzbereichs 37 liegt, welcher in Fig. 4b zwischen den gestrichelten Linien dargestellt ist.

[0059] Da die Wehrspaltweite x_W noch außerhalb des Toleranzbandes liegt, kann eine Absenkung der Trommeldrehzahl n_Z um einen Drehzahlstufenwert Δn_Z vorgenommen werden, wodurch eine Energieeinsparung erzielt wird. Die durch die Reduktion der Trommeldrehzahl niedrigere Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der ausgetragenen Trockenphase wird durch eine Vergrößerung der Wehrspaltweite x_W kompensiert.

[0060] Die vorgenannten Schritte werden in den Phasen "III" und "IV" wiederholt. Am Ende der Phase "IV" befindet sich die Wehrspaltweite x_W nach Durchführung der Nachregelung innerhalb des Wehrspaltweitentole-

ranzbereiches 37.

[0061] Daher wird die Drehzahlregeleinrichtung 220 deaktiviert, und es wird keine weitere Absenkung der Trommeldrehzahl vorgenommen. Das Wehr 30 befindet sich nun in einer Stellung, aus der heraus das Dekantierzentrifugensystem der Erfindung auf Änderungen beim Produktzulauf in beide Richtungen reagieren kann. Der Wehrspalt 33 kann weiter geöffnet werden, um den Flüssigkeitsentzug bei einem Produkt mit geringerer Trockensubstanzkonzentration zu erhöhen. Er kann aber auch weiter geschlossen werden, wodurch bei einem stärker konzentrierten Produkt eine bestimmte Restfeuchte in der ausgetragenen Trockenphase erhalten bleibt, was ein Zusetzen der austragsseitigen Leitungssysteme verhindert.

[0062] In Phase "V" der Fig. 4c ist eine Erhöhung der Zuflussmenge, beispielsweise auf Grund eines Regenschauers, aufgezeichnet. Gleichzeitig ist der Feststoffgehalt aber geringer. Um die Trockensubstanzkonzentration c_{TS} des Austrags konstant zu halten, wird die Wehrspaltweite x_W aus dem Toleranzbereich 37 heraus stark erhöht, um vermehrt Flüssigkeit abziehen zu können.

[0063] Der Verfahrensablauf ist auch in dem Flussdiagramm der Fig. 7 graphisch dargestellt: Zunächst muss die Zentrifugentrommel anlaufen und das Wehr auf eine Startwehrspaltweite eingestellt werden. Es wird dann die Zuleitung des Mehrphasengemisches in die rotierende Dekantierzentrifuge geöffnet, die damit allmählich gefüllt wird. Die Flüssigkeitsphase und die Trockenphase werden kontinuierlich abgezogen.

[0064] Mit der Wehrregeleinrichtung 210 (vgl. Fig. 1, 2) wird über die Wehrstellung die Austragskonzentration auf den gewünschten Sollwert eingeregelt. Während dieser Zeit ist die Funktion der Drehzahlregeleinrichtung 220 noch überbrückt. Nachdem diese Überbrückungszeit beendet ist, wird die Regelung freigegeben. Für den spezifischen Einsatzfall wird unter Berücksichtigung von maschinentechnischen und anlagenspezifischen Daten der optimale Arbeitspunkt der Wehrregeleinrichtung 210 festgelegt. Aus diesem Arbeitspunkt ergibt sich der Bereich in dem die Dekantierzentrifuge verfahrenstechnisch und hinsichtlich des Energieverbrauchs optimal arbeitet. Mittelage und Breite dieses Bereiches werden zur Definition eines Wehrspaltweitentoleranzbereiches herangezogen.

[0065] Die momentane Stellung des Wehrs wird dann ermittelt und mit dem Wehrspaltweitentoleranzbereich verglichen.

[0066] Befindet sich der Stellwert der Wehrregeleinrichtung unterhalb dieses Bereiches, ist der Dekanter nicht ausgelastet und die Trommeldrehzahl, die mit dem Energieverbrauch des Trennverfahrens direkt im Zusammenhang steht, kann um einen Drehzahlstufenwert reduziert werden.

[0067] Verlässt der Stellwert der Regelung den Bereich in positiver Richtung, ist die Trommeldrehzahl zu niedrig und muss angehoben werden, um die Wehrpo-

sition in den Wehrspaltweitentoleranzbereich zurückzuführen.

[0068] Ist eine der Bedingungen für die Verstellung der Trommeldrehzahl gegeben, wird geprüft, ob die Wehrregeleinrichtung ausgeregelt ist, d.h. ob die Austragskonzentration dem Sollwert entspricht. Ist das der Fall, so wird die Trommeldrehzahl angepasst. Ist die Regeldifferenz zu groß, muss zunächst die Trockensubstanzkonzentration c_{TS} nachgeregelt werden und die Trommeldrehzahl wird erst in einem späteren Schritt verändert.

[0069] Wurde die Trommeldrehzahl verändert, so ergibt sich für die ständig aktive Wehrregeleinrichtung möglicherweise ein neuer Arbeitspunkt. Dieser Arbeitspunkt muss von der Regelung ermittelt und angefahren werden. Dazu wird eine Erholungszeit für die Regelung gestartet. Nach Ablauf dieser Zeit beginnt wieder der Zyklus, der zur Festlegung des Wehrspaltweitentoleranzbereiches und eines erneuten Vergleichs der Wehrstellung mit dem Toleranzbereich führt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen eines Mehrphasengemisches (50) in wenigstens eine Flüssigkeitsphase (54) und eine Trockenphase (52) mit einer vorbestimmten Trockensubstanzkonzentration c_{TS} , mittels einer Dekantierzentrifuge (100), die aufweist:

- eine ringförmige Tauchscheibe (14), die an ihrem inneren Umfang mit einer Welle (10) verbunden ist und deren Außendurchmesser kleiner ist als der Innendurchmesser einer Zentrifugentrommel (20); und
- wenigstens ein endseitig an der Zentrifugentrommel (20) angeordnetes Flüssigkeitswehr mit einem Wehrspalt, durch den die Flüssigkeitsphase (54) aus der Zentrifugentrommel (20) ableitbar ist, und mit einer Teichtiefeneinstellvorrichtung, mit der die Teichtiefe x_T der in der Zentrifugentrommel (20) rotierenden Flüssigkeitsphase einstellbar ist,

mit folgenden Schritten:

- a) Anlaufen der Zentrifugentrommel (20) auf eine Starttrommeldrehzahl $n_{Z,1}$ und Einstellen der Teichtiefe x_T auf eine Startteichtiefe $x_{T,1}$;
- b) Einleiten des Mehrphasengemisches (50) in die rotierende Zentrifugentrommel (20);
- c) Abzug der Trockenphase (52) durch die wenigstens eine Trockensubstanzaustragsaufnahme (22) und Abzug der Flüssigkeitsphase (54) durch den Wehrspalt (33);
- d) Regeln der Teichtiefe x_T mittels der Teichtiefeneinstellvorrichtung in Abhängigkeit von der

Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase (52) bis zum Erreichen einer vorgegebenen Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,1}$;

gekennzeichnet durch folgende Schritte

e) Festlegen eines Teichtiefentoleranzbereichs mit einer unteren Teichtiefe $x_{T,U}$ und einer oberen Teichtiefe $x_{T,O}$;

f) Vergleichen der eingeregelter Teichtiefe x_W mit dem Teichtiefentoleranzbereich und fortwährende Durchführung der Schritte b) bis f) bei einer innerhalb des Teichtiefentoleranzbereiches liegenden Teichtiefe x_T ;

g) Erhöhen der Zentrifugentrommeldrehzahl n_Z um einen Drehzahlstufenwert Δn_Z bei einer Teichtiefe x_T , die kleiner ist als die untere Teichtiefe $x_{T,U}$, oder Absenken der Zentrifugentrommeldrehzahl n_Z um einen Drehzahlstufenwert Δn_Z bei einer Teichtiefe x_T , die größer ist als die obere Teichtiefe $x_{T,O}$;

h) Nachregeln der Teichtiefe x_T in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase (52) bis zum Erreichen einer vorgegebenen Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,0}$;

i) Vergleich der nachgeregelten Teichtiefe x_T mit einem vorgegebenen Teichtiefentoleranzbereich und Wiederholung der Schritte f) bis i) bei einer außerhalb des Teichtiefentoleranzbereiches liegenden Teichtiefe x_T unter fortwährender Einleitung des Mehrphasengemisches (50) in die rotierende Zentrifugentrommel (20) und Abzug der Flüssigkeits- und Trockenphase (54, 52).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Dekantierzentrifuge (100) verwendet wird, deren Flüssigkeitswehr (30) aus einer Wehrplatte (32) mit wenigstens einer Flüssigkeitsausnehmung und aus einer Drosselplatte (34) besteht, die ortsfest unter Ausbildung eines Wehrspaltes (33) gegenüber der Wehrplatte (32) gelagert und axial verschiebbar ist und dass die Teichtiefe x_T über eine Vergrößerung der Wehrspaltweite x_W abzusenken und über eine Verringerung der Wehrspaltweite x_W zu erhöhen ist, wobei dem Teichtiefentoleranzbereich ein entsprechender Wehrspaltweitentoleranzbereich mit einer unteren Wehrspaltweite $x_{W,U}$ und einer oberen Wehrspaltweite $x_{W,O}$ zugeordnet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Mittelpunkt des Wehrspaltweitentoleranzbereiches (37) die Hälfte der maximalen Wehrspaltweite $x_{W,max}$ gewählt wird, bei welcher gerade keine Benetzung der Drosselplatte (34) durch die aus dem Wehrspalt (33) austretende Flüssigkeitsphase (54) mehr stattfindet.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Mittelpunkt des Wehrspaltweitentoleranzbereiches (37) die in Schritt d) eingeregelter Wehrspaltweite x_W gewählt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt a) zur Einstellung der Startteichtiefe $x_{T,1}$ eine Startwehrspaltweite $x_{W,1}$ entsprechend 0,5% bis 5% der maximalen Wehrspaltweite $x_{W,max}$ gewählt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite des Wehrspaltweitentoleranzbereiches (37) zwischen einer unteren Wehrspaltweite $x_{W,U}$ und einer oberen Wehrspaltweite $x_{W,O}$ 0,5% bis 5% der maximalen Wehrspaltweite $x_{W,max}$ beträgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt d) die Wehrspaltweite x_W als lineare Funktion der Zeit erhöht wird, solange eine Regelabweichung der gemessenen Trockensubstanzkonzentration c_{TS} von der Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,1}$ mehr als 10% beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Dekantierzentrifuge verwendet wird, deren Flüssigkeitswehr wenigstens einen sich axial erstreckenden, U-förmigen Flüssigkeitskanal aufweist, deren Eintritts- und Austrittsöffnungen zum Außenumfang des Flüssigkeitswehrs hin angeordnet sind und bei dem im Bereich der U-förmigen Biegung ein Druckgas unter Ausbildung einer hydrohermetischen Druckkammer einleitbar ist und dass die Teichtiefe x_T durch Erhöhung des Gasdrucks zu erhöhen ist und durch Erniedrigen des Gasdrucks abzusenken ist, wobei dem Teichtiefentoleranzbereich ein entsprechender Gasdrucktoleranzbereich mit einem unteren Gasdruck p_U und einem oberen Gasdruck p_O zugeordnet ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Mittelpunkt des Teichtiefentoleranzbereiches die in Schritt d) eingeregelter Teichtiefe x_W gewählt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt a) zur Einstellung der Startteichtiefe $x_{T,1}$ ein Startgasdruck p_1 entsprechend 95% bis 99,5% eines maximalen Gasdrucks p_{max} gewählt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite des Gasdrucktoleranzbereiches zwischen einem unteren Gasdruck p_U und einem oberen Gasdruck p_O 0,5% bis 5% des maximalen Gasdrucks p_{max} beträgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt d) der Gasdruck als lineare Funktion der Zeit gesenkt wird, solange eine Regelabweichung der gemessenen Trockensubstanzkonzentration c_{TS} von der Soll-Trockensubstanzkonzentration $c_{TS,1}$ mehr als 10% beträgt. 5
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Starttrommeldrehzahl $n_{Z,1}$ die maximal zulässige, bauartbedingte Nenndrehzahl $n_{Z,max}$ der Dekantierzentrifuge (100) gewählt wird. 10
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Starttrommeldrehzahl $n_{Z,1}$ dem 0,5fachen bis 0,7fachen der maximal zulässigen, bauartbedingten Nenndrehzahl $n_{Z,max}$ der Dekantierzentrifuge (100) gewählt wird. 15
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehzahlstufenwert Δn_Z 1% bis 3% der maximal zulässigen, bauartbedingten Nenndrehzahl $n_{Z,max}$ entspricht. 25
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehzahlstufenwert Δn_Z 30...70 Umdrehungen pro Minute beträgt. 30
17. Dekantierzentrifugensystem zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16, mit wenigstens folgenden Einzelteilen: 35
- einer Dekantierzentrifuge (100) umfassend: 35
 - eine Hohlwelle (10), die wenigstens ein innenliegendes Einlaufrohr (11) aufweist;
 - eine um die Hohlwelle (10) rotierbare Zentrifugentrommel (20), welche mit wenigstens einer in ihren Trommelmantel (21) eingebrachten Trockensubstanzaustragsausnehmung (22) versehen ist; 40
 - einer ringförmigen Tauchscheibe (14), die an ihrem inneren Umfang mit der Hohlwelle (10) verbunden ist und deren Außendurchmesser kleiner ist als der Innendurchmesser des Trommelmantels (21); 45
 - wenigstens ein endseitig an der Zentrifugentrommel (20) angeordnetes Flüssigkeitswehr mit einem Wehrspalt, durch den die Flüssigkeitsphase (54) aus der Zentrifugentrommel (20) ableitbar ist, und mit einer Teichtiefeneinstellvorrichtung, mit der die Teichtiefe x_T der in der Zentrifugentrommel (20) rotierenden Flüssigkeitsphase einstellbar ist, 50
 - einer Sensoreinrichtung (200) zur Messung der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} in der abgezogenen Trockenphase (52);
 - eine Wehrregeleinrichtung (210) zur Regelung der Teichtiefe x_T in Abhängigkeit von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} ;
- gekennzeichnet durch**
- eine Drehzahlregeleinrichtung (220) zur Regelung der Trommeldrehzahl n_Z in Abhängigkeit von der Teichtiefe x_T und von der Trockensubstanzkonzentration c_{TS} , mit einem Konzentrationssignaleingang (221), einem Teichtiefensignaleingang (222) und einem Drehzahlsteuersignalausgang (224).
18. Dekantierzentrifugensystem nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dekantierzentrifuge (100) eine in dem zwischen der Hohlwelle (10) und der Zentrifugentrommel (20) ausgebildeten Kreisringraum (26) angeordnete Förderschnecke (40) aufweist, die mit der Hohlwelle (10) mit einer Schneckendrehzahl n_S rotierbar ist, welche gegenüber der Trommeldrehzahl n_Z um eine Differenzdrehzahl Δn_S erhöhbar ist.
19. Dekantierzentrifugensystem nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Flüssigkeitswehr (30) aus einer Wehrplatte (32) mit wenigstens einer Flüssigkeitsausnehmung und aus einer Drosselplatte (34) besteht, die ortsfest unter Ausbildung eines Wehrspaltes (33) gegenüber der Wehrplatte (32) gelagert und axial verschiebbar ist.
20. Dekantierzentrifugensystem nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Flüssigkeitswehr (330) wenigstens einen sich axial erstreckenden, U-förmigen Flüssigkeitskanal aufweist, deren Eintritts- und Austrittsöffnungen (331, 332) zum Außenumfang des Flüssigkeitswehrs (330) hin angeordnet sind und bei dem im Bereich einer U-förmigen Biegung (333) Druckgas unter Ausbildung einer hydrohermetischen Druckkammer über eine Druckgasleitung (334) einleitbar ist.
21. Dekantierzentrifugensystem nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahlregeleinrichtung (220) während der Regelung der Teichtiefe x_T durch die Wehrregeleinrichtung (210) bis zum Erreichen einer vorgegebenen Trockensubstanzkonzentration c_{TS} mittels einer Deaktivierungseinrichtung (215) deaktivierbar ist.
22. Dekantierzentrifugensystem (100) nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wehrregeleinrichtung (210) ein PI-Regler

oder ein PID-Regler ist.

23. Dekantierzentrifuge (100) nach einem der Ansprüche 17 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahlregeleinrichtung (220) ein Schrittreger ist, der einen Teichtiefensignaleingang (222), eine Konzentrationssignaleingang (221) und einen Drehzahlsteuersignalausgang (224) aufweist. 5
24. Dekantierzentrifuge (100) nach einem der Ansprüche 17 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Teichtiefensignaleingang (221) der Drehzahlregeleinrichtung (220) und der Wehrsteuersignalausgang (214) der Wehrregeleinrichtung (210) direkt miteinander verbunden sind. 10 15

20

25

30

35

40

45

50

55

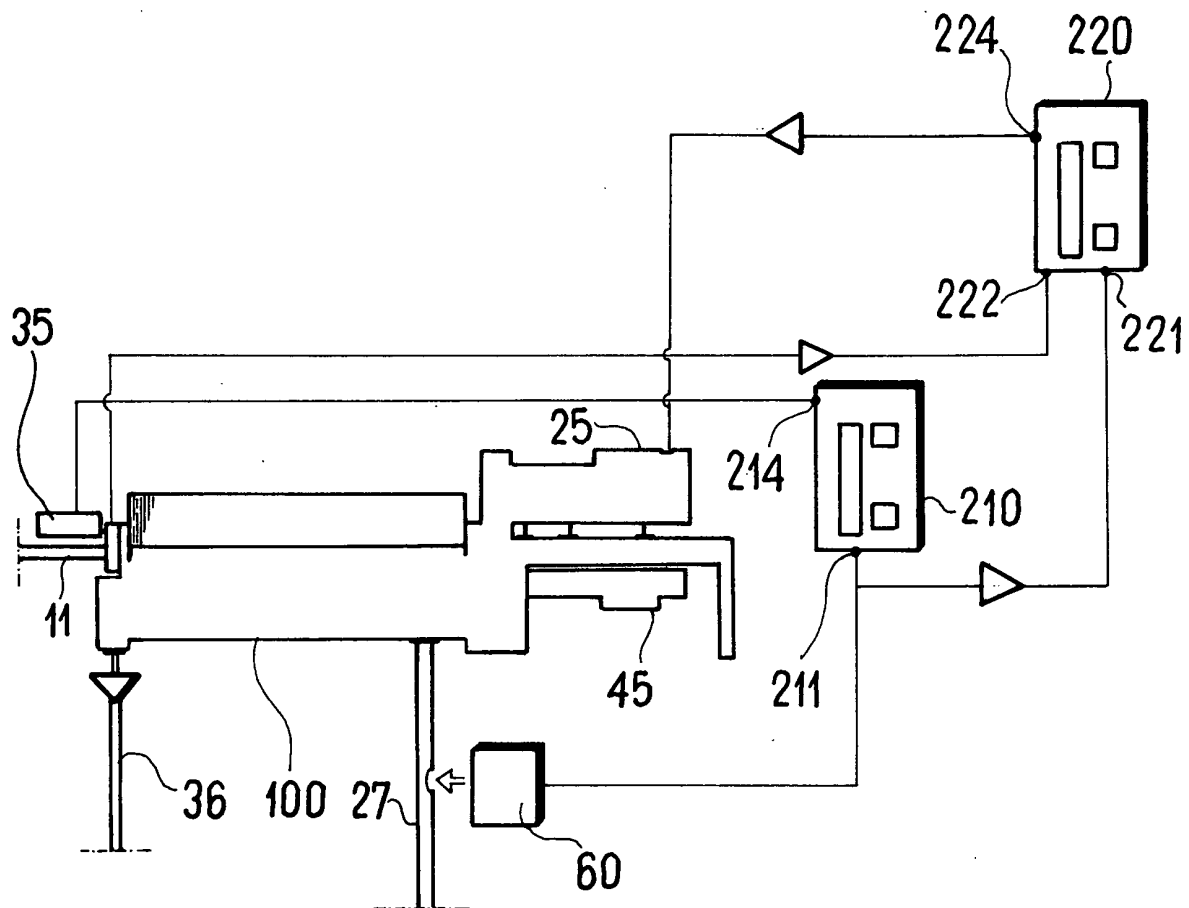


Fig. 1

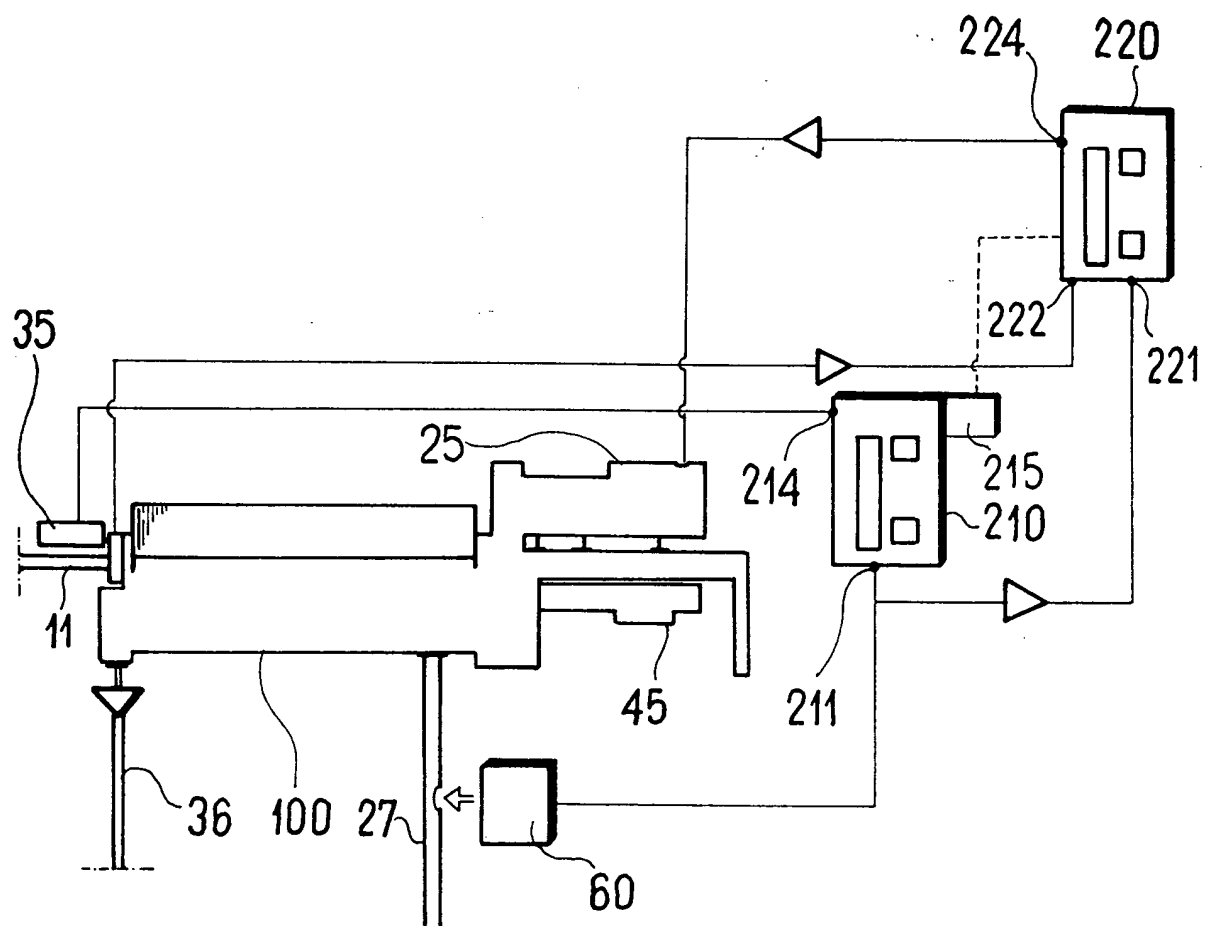


Fig. 2

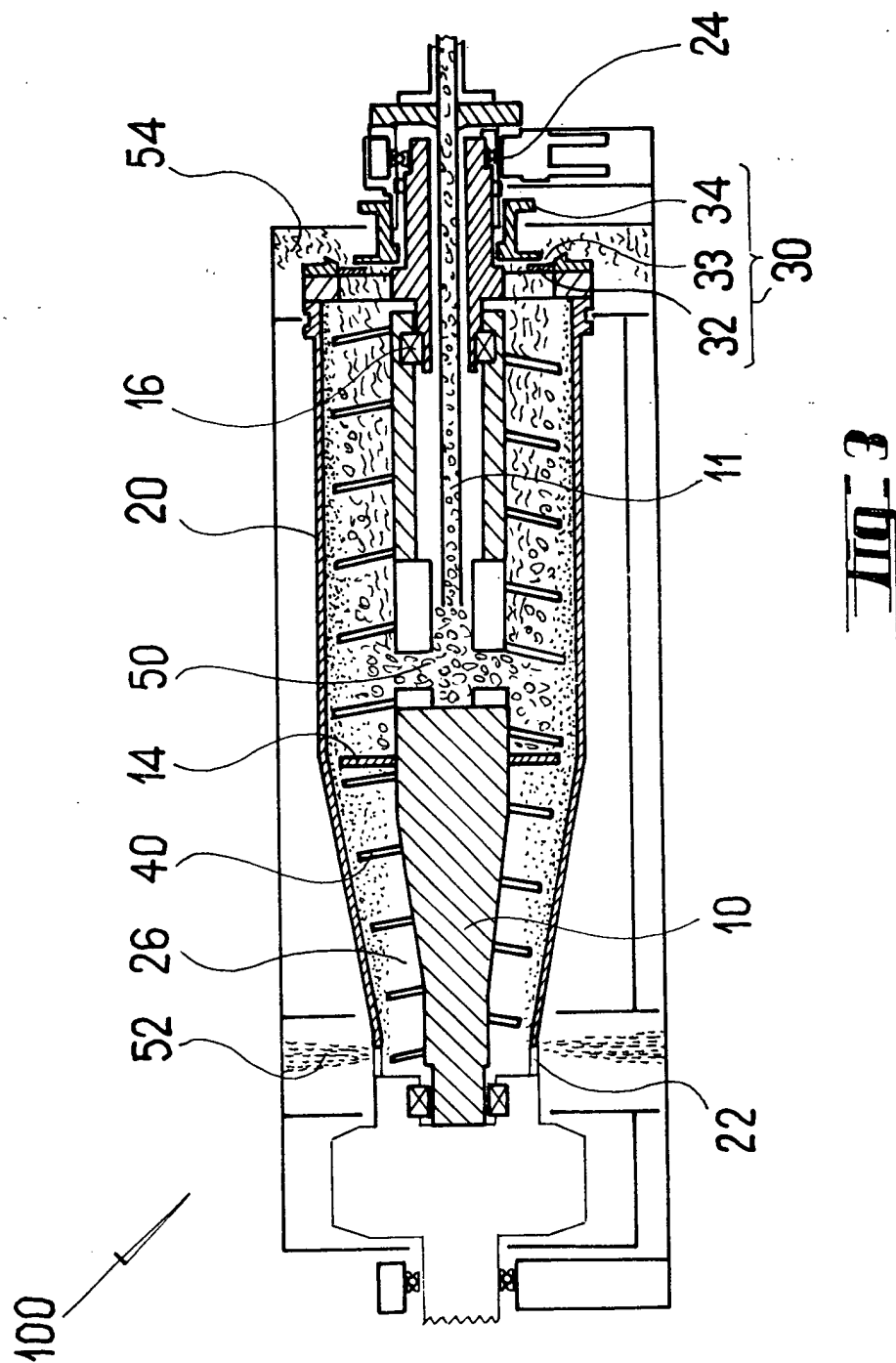


Fig. 3

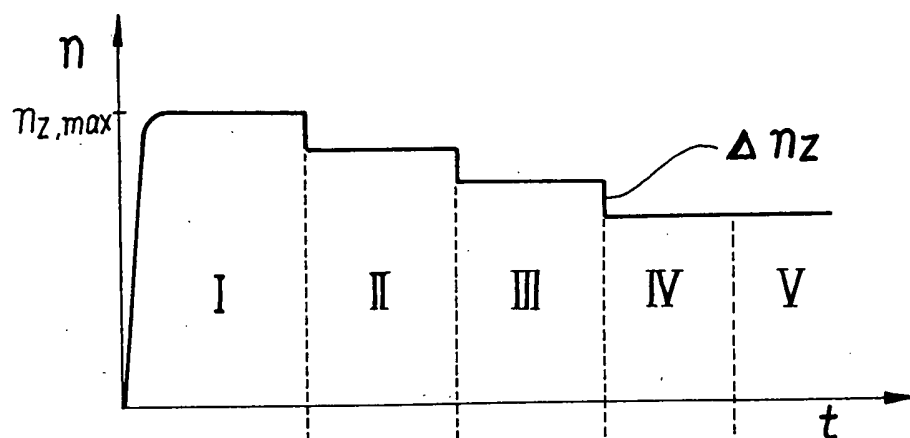


Fig. 4a

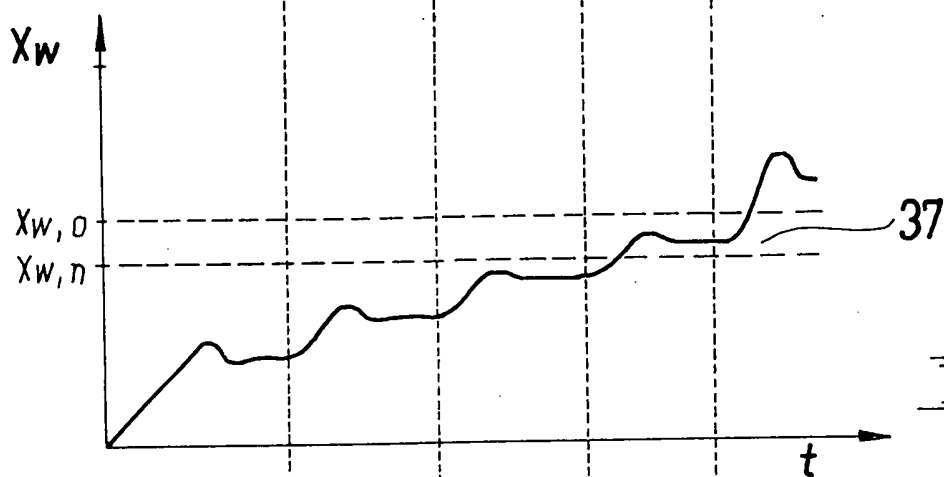


Fig. 4b

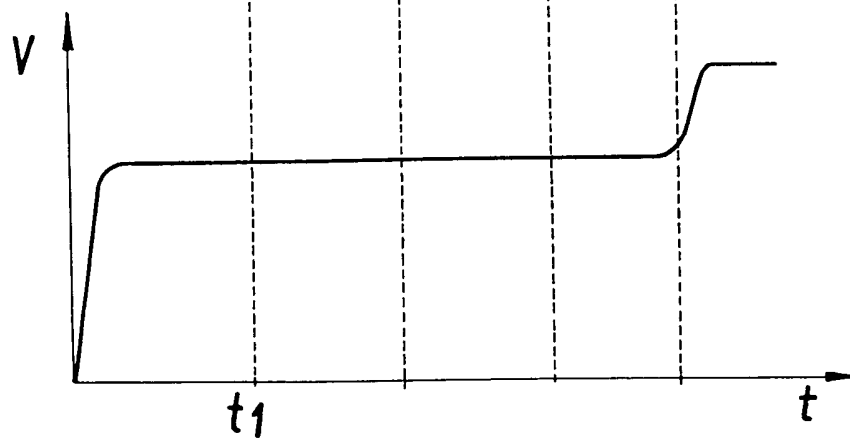
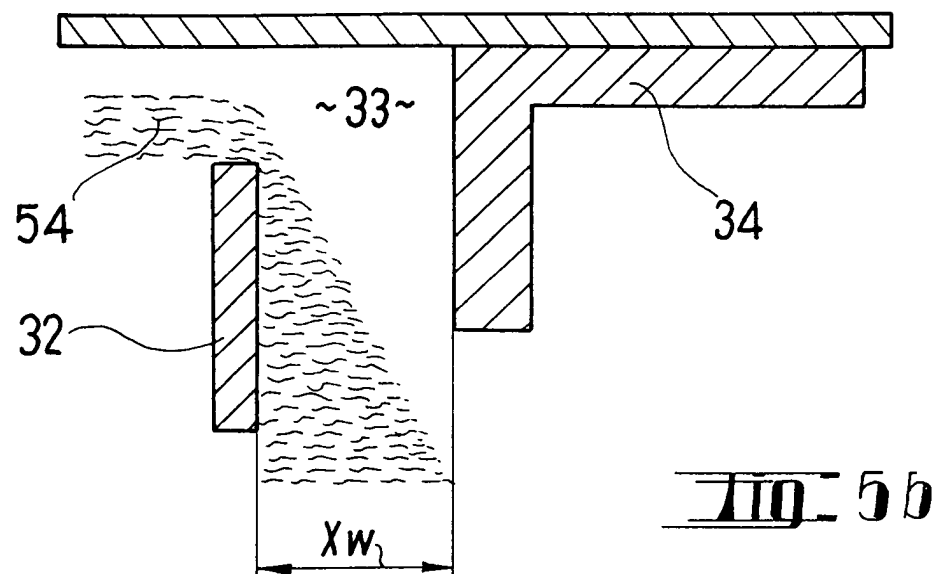
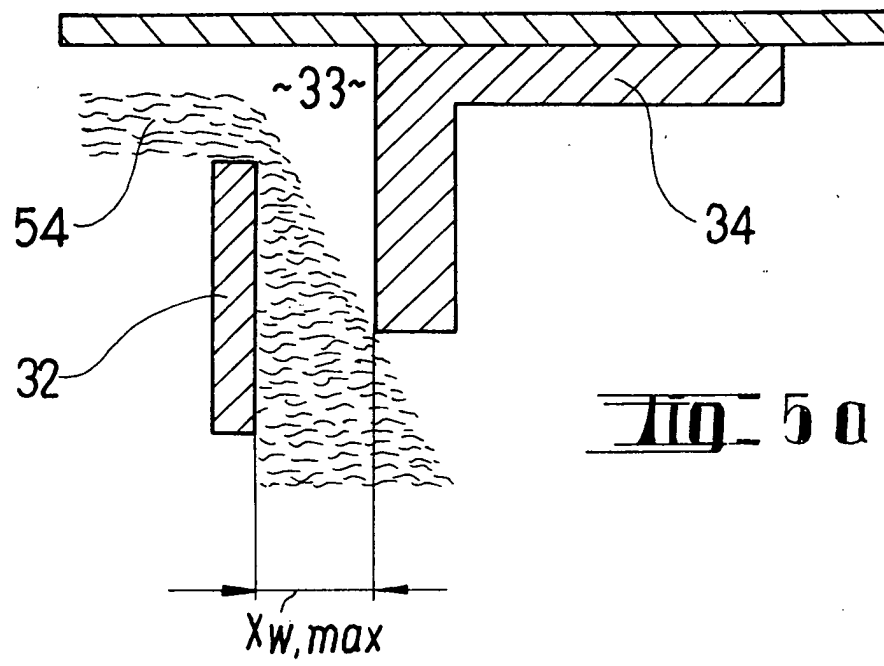


Fig. 4c



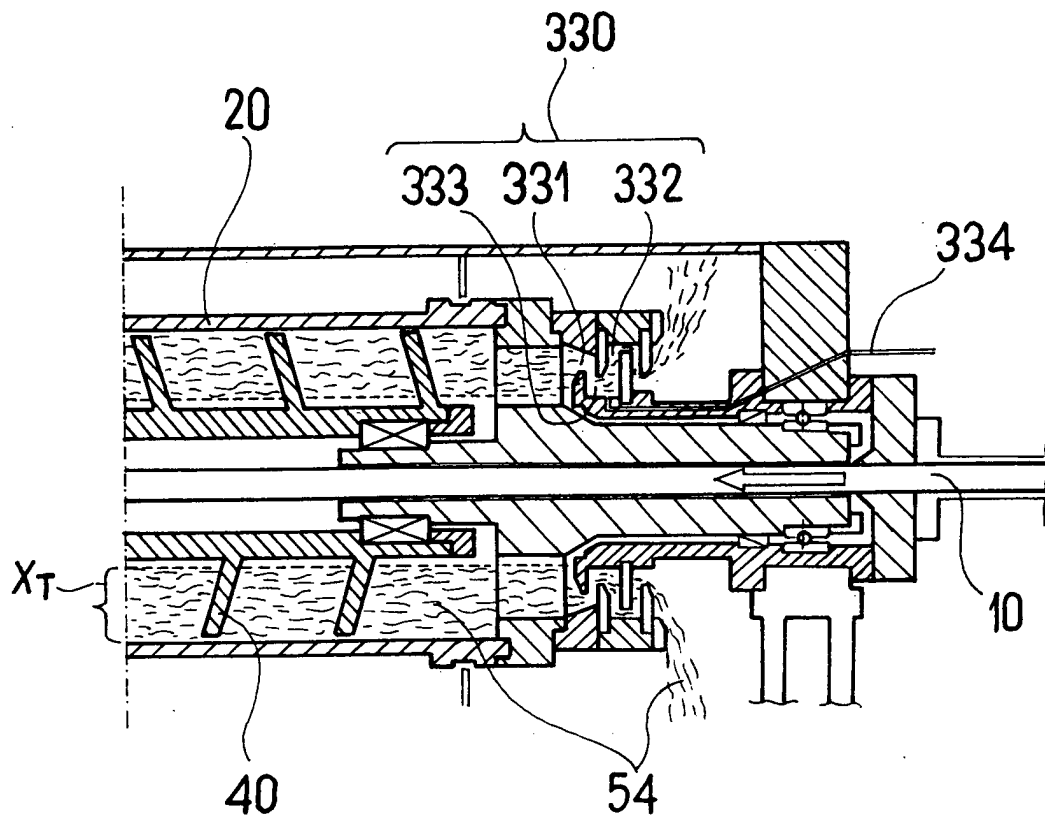


Fig. 6

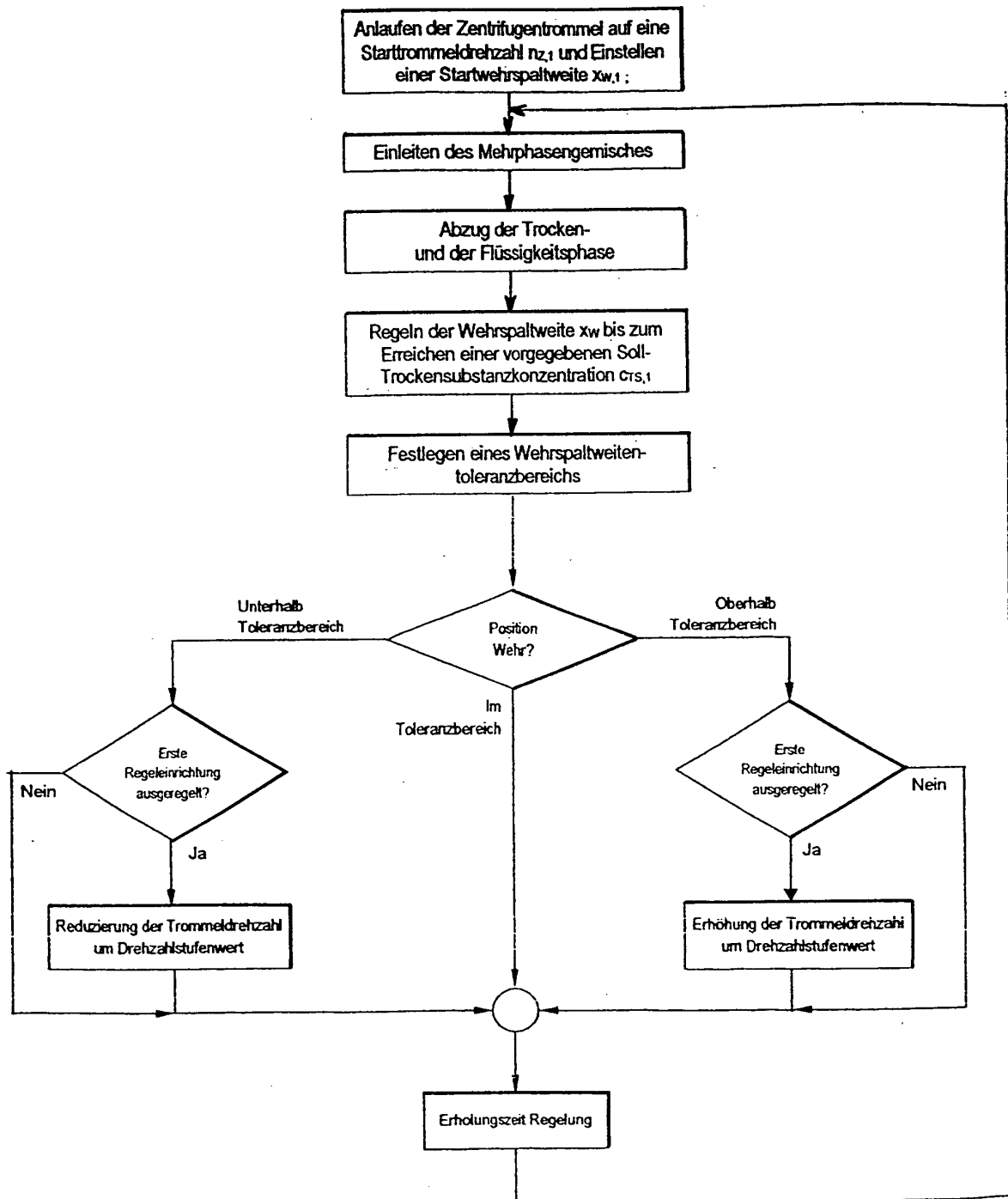


Fig. 7



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 01 10 2962

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	WO 97 20634 A (BAKER HUGHES INC) 12. Juni 1997 (1997-06-12)	17,18	B04B1/20
Y	* Ansprüche 12-14,18; Abbildungen 2,3,7,10,22; Tabelle 1 *	19,20	
A	----	1	
Y	DE 43 20 265 A (WESTFALIA SEPARATOR AG) 22. Dezember 1994 (1994-12-22)	19	
A	* Zusammenfassung; Abbildung *	2	
Y	DE 195 00 600 C (WESTFALIA SEPARATOR AG) 8. Februar 1996 (1996-02-08)	20	
A	* Zusammenfassung; Abbildungen *	8	
A	DE 19 51 574 A (BIRD MACHINE COMPANY) 23. April 1970 (1970-04-23)	1,17	
A	US 4 303 192 A (KATSUME HIDE) 1. Dezember 1981 (1981-12-01)	1,17	
	* Zusammenfassung; Abbildungen *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			B04B
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
MÜNCHEN	25. Juni 2001	Leitner, J	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patendokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 10 2962

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-06-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9720634 A	12-06-1997	AU 7706696 A	27-06-1997
		EP 0868215 A	07-10-1998
		US 6143183 A	07-11-2000
		US 5948271 A	07-09-1999
DE 4320265 A	22-12-1994	AT 146103 T	15-12-1996
		DE 59401277 D	23-01-1997
		DK 702599 T	02-06-1997
		WO 9500249 A	05-01-1995
		EP 0702599 A	27-03-1996
		ES 2097650 T	01-04-1997
		JP 2779067 B	23-07-1998
		JP 8506522 T	16-07-1996
		US 5593377 A	14-01-1997
DE 19500600 C	08-02-1996	DE 59503096 D	10-09-1998
		DK 801593 T	03-05-1999
		WO 9621510 A	18-07-1996
		EP 0801593 A	22-10-1997
		JP 2980690 B	22-11-1999
		JP 10507684 T	28-07-1998
		US 5885202 A	23-03-1999
DE 1951574 A	23-04-1970	CH 496478 A	30-09-1970
		FR 2030057 A	30-10-1970
		GB 1220430 A	27-01-1971
		SE 355304 B	16-04-1973
		US 3532264 A	06-10-1970
US 4303192 A	01-12-1981	JP 56010353 A	02-02-1981
		JP 63027988 B	06-06-1988
		DD 151699 A	04-11-1981
		DE 3022148 A	08-01-1981
		DK 289180 A, B	06-01-1981
		FR 2460717 A	30-01-1981
		IT 1127508 B	21-05-1986
		SE 8004975 A	06-01-1981

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82