

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

zeitabhängig über den Verlauf des Trennprozesses ermittelt werden, und aus den Zusammenhängen der Größen und/oder Parameter untereinander Betriebsmodi der Zentrifuge abgeleitet werden und in Abhängigkeit des abgeleiteten Betriebsmodus Informationen über den Trennprozess und/oder einen Zentrifugenzustand automatisch ermittelt werden.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zur Überwachung einer Zentrifuge zur Fest-Flüssig-Trennung einer Suspension. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein entsprechendes Computerprogramm und Computerprogrammprodukt.

[0002] Zentrifugen sind technische Geräte, die zur Stofftrennung genutzt werden. Die Funktionsweise von Zentrifugen beruht auf der Zentrifugalkraft, die aufgrund einer gleichförmigen Kreisbewegung des zu zentrifugierenden Gutes zustande kommt. Partikel oder Medien mit höherer Dichte wandern aufgrund der höheren Trägheit nach außen. Dabei verdrängen sie die Bestandteile mit niedrigerer Dichte, die hierdurch zur Mitte gelangen.

[0003] Zentrifugen wie z.B. Schälzentrifugen kommen häufig in der pharmazeutischen Industrie oder der Nahrungsmittelindustrie (z.B. bei der Zuckergewinnung) zur Fest-Flüssig-Trennung einer Suspension zum Einsatz. In der Regel werden solche Zentrifugen nach einem fest voreingestellten Zeitprogramm betrieben: Über ein zeitgesteuertes Ventil wird Suspension aus einem Kessel in die Zentrifuge geleitet, wobei die Zeit basierend auf Erfahrungswerten durch die Gefahr einer Überfüllung limitiert wird. Die Zentrifuge weist eine Zentrifugentrommel auf, die zu Beginn eines jeden Arbeitsschritts mit der Suspension als Füllgut befüllt wird, wobei die Zentrifuge zunächst mit einer ersten Drehzahl (Fülldrehzahl DZ1, vgl. Fig. 2) rotiert. Die Zentrifugentrommel wird dann auf eine zweite Drehzahl (Abschleuderdrehzahl DZ2, Fig. 2) beschleunigt, die deutlich höher als die erste Drehzahl ist. Diese Drehzahl wird so lange aufrechterhalten, bis in dem Füllgut ein gewünschter Trocknungsfortschritt erzielt ist. Der so genannte Filterkuchen bleibt auf dem Filtertuch zurück. Danach wird die Zentrifugentrommel auf eine Abschäldrehzahl (DZ3, Fig. 2) abgebremst und mit einer Ausräumeinrichtung oder Abschälvorrichtung wird das Füllgut aus der Zentrifugentrommel entfernt. Nach einer bestimmten Anzahl von Durchläufen dieser Art ist der Filtrationswiderstand durch ein zugesetztes Filtertuch bzw. eine nicht entfernbar Grundschicht in der Regel so hoch, dass eine Grundreinigung notwendig ist.

[0004] Der Durchsatz einer Zentrifuge hängt vom Filtrationswiderstand ab und dieser wiederum hängt von der Korngrößenverteilung ab. Kleine Schwankungen im Partikeldurchmesser führen zu deutlich unterschiedlichen Trennzeiten. Eine Zeitsteuerung muss daher sehr genau parametrisiert sein. Die Einstellung der für den optimalen Zentrifugenbetrieb notwendigen Parameter, wie die zugeführte Masse zur Stofftrennung und die verwendete Drehzahl, erfolgt für jede Charge herkömmlich manuell durch Bedienpersonal der Zentrifuge anhand von Erfahrungswerten. Eine herkömmliche Zustandsüberwachung, bei der der technische Zustand des Aggregats regelmäßig oder permanent mithilfe von Sensoren erfasst wird und die anfallenden Sensordaten zur weiteren Verwendung analysiert werden, gestaltet sich bei Zentrifugen schwierig, da ein Anbringen eines Sensors im

Trennraum innerhalb der Zentrifugentrommel ebenso schwierig ist. Außerdem ist eine herkömmliche Sensorik stets großen Verschmutzungen durch die Suspension ausgesetzt.

[0005] Einige Schälzentrifugen verfügen über eine Art "Paddel", das mittels eines Wegaufnehmers auf der rotierenden Flüssigkeit bzw. dem daraus abgeschiedenen Filterkuchen gleitet und somit eine Abschätzung des Füllstands der Zentrifuge erlaubt. Leider können diese mechanischen Aufnehmer durch anbackende Suspension falsche Werte übermitteln und z.B. klemmen. Eine exakte Überwachung des Trennvorgangs oder des Zentrifugenzustands ist somit nicht möglich. Berührungsfreie optische Sensoren mittels Laser oder Ultraschall sind durch Verschmutzungen mit hohem Feststoffanteil ebenfalls störanfällig und schlecht einsetzbar. Es besteht daher ein Bedarf, den Zentrifugenzustand kontaktlos und trotzdem genau zu überwachen, um einen reibungslosen, fehlerfreien Betrieb zu gewährleisten, ohne eine komplizierte Sensorik an der Zentrifuge selbst zu installieren oder unnötig kurze Füllzeiten bzw. zu lange Schleuderzeiten einzustellen und damit den Durchsatz der Zentrifuge zu drosseln.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zur Überwachung von Zentrifugen und dem durchzuführenden Trennprozess anzugeben, bei dem keine Sensorik in oder an der Zentrifuge angebracht werden muss.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. In den abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung, in Anspruch 8 ein Computerprogramm und in Anspruch 9 ein Computerprogrammprodukt beschrieben.

[0008] Der Kerngedanke der Erfindung besteht darin, bereits zur Steuerung und Regelung der Zentrifuge vorhandene Größen und/oder Parameter des Antriebs der Zentrifuge derart auszuwerten, dass sie für eine Überwachung des Trennprozesses und/oder des Zentrifugenzustands eingesetzt werden können. Dabei kann es sich um physikalische Größen wie Strom, Spannung, Drehzahl (Winkelgeschwindigkeit) oder Drehmoment handeln oder um daraus abgeleitete Größen mit den entsprechenden Parametern wie das Rotationsträgheitsmoment, den Drehimpuls der Zentrifugentrommel oder den Massenzufluss. Das erfindungsgemäße Verfahren basiert demnach sowohl auf einfachen messtechnisch zugänglichen Daten wie Strom oder einer Spannung, als auch auf rechnerisch ermittelten Daten.

[0009] Vorgeschlagen wird demnach ein Verfahren zur Überwachung einer Zentrifuge zur Fest-Flüssig-Trennung einer Suspension, mit einer Zentrifugentrommel, die mit mindestens einem frequenzgesteuerten Antrieb zur Erzeugung einer Rotation der Zentrifugentrommel verbunden ist, wobei während des Betriebs der Zentrifuge eine Vielzahl von Größen und/oder Parameter des Antriebs zeitabhängig über den Verlauf des Trennprozesses ermittelt werden, und aus den Zusammenhängen

der Größen und/oder Parameter untereinander Betriebsmodi der Zentrifuge abgeleitet werden und in Abhängigkeit des abgeleiteten Betriebsmodus Informationen über den Trennprozess und/oder einen Zentrifugenzustand automatisch ermittelt werden.

[0010] Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass eine Überwachung sowohl des Trennprozesses, als auch der Zentrifuge selbst aufgrund bereits vorhandener Größen und/oder Parameter des Antriebs bereitgestellt werden kann, ohne dass eine zusätzliche Sensorik notwendig ist. Die Erfindung erfordert demnach keine speziellen zusätzlichen Messinstrumente, sondern kommt mit der üblicherweise bei Frequenzumrichtern vorhandenen Instrumentierung aus.

[0011] Das Verfahren kann vorteilhaft in einer Software oder Firmware auf der Steuerungsebene implementiert werden und ist damit flexibel anpassbar. Es kann grundsätzlich jede Art von Zentrifugen mit einer auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basierenden "smarten" Überwachungssoftware ausgestattet werden. Es muss lediglich ein geeignetes Softwaremodul zur Auswertung vorhanden sein.

[0012] In einer ersten Ausführungsvariante kann vorteilhaft der Füllgrad der Zentrifugentrommel ermittelt oder eine angestrebte Füllmenge bestimmt werden. Die Überwachung der Zentrifuge ist in dieser Ausführung derart ausgestaltet, dass die zur Beibehaltung einer Drehzahl der Trommelrotation notwendige Energie des Antriebs zeitabhängig erfasst wird und daraus eine Zunahme eines Rotationsträgheitsmoments der Trommel durch die Befüllung abgeleitet wird. Daraus kann einfach die (rotierende) Masse der Befüllung der Zentrifugentrommel bestimmt werden.

[0013] Diese Ausführungsvariante eignet sich insbesondere für den Betriebsmodus, bei dem die Zentrifugentrommel mit der Befülldrehzahl rotiert. Zunächst wird ermittelt, wieviel Leistung die Zentrifuge im Leerzustand bei konstanter Drehzahl verbraucht und daraus kann das Rotationsträgheitsmoment der leeren Trommel abgeleitet werden. Anschließend wird die Zentrifuge befüllt (das Ventil für den Massenzufluss der Suspension wird geöffnet). Wird die Trommel befüllt, muss der eintretende Massenstrom auf deren Winkelgeschwindigkeit beschleunigt werden und die zur Beschleunigung einer zusätzlichen (einströmenden) Masse notwendige zusätzliche Energie über die aufgenommene Leistung des Frequenzumrichters (bei konstanter Winkelgeschwindigkeit) erfasst werden. Diese zusätzliche Energie wird zur Massenermittlung der Befüllung der Trommel genutzt. Das Aufgabeventil wird anschließend geschlossen. Somit steigt die Leistungsaufnahme des Frequenzumrichters während des Füllvorgangs deutlich an. Das Integral der Stromaufnahme oberhalb der Leerlaufstromaufnahme bei dieser Drehzahl ist demnach ein Maß der eingefüllten Masse. Aus der benötigten elektrischen Energie des Antriebs kann somit bei bekannter Drehzahl einfach auf das Trägheitsmoment der Zentrifugentrommel geschlossen werden. Bei der Bestimmung des Rotations-

trägheitsmoments kann die Zentrifugentrommel stets als Hohlzylinder betrachtet werden, da der Radius der Zentrifuge in der Regel sehr groß gegenüber der fast vernachlässigbaren Schichtdicke des Füllguts in der Trommel ist.

[0014] Der Vorteil dieser Ausführungsvariante liegt darin, dass der Füllgrad der Zentrifuge sehr einfach und dennoch recht präzise bestimmt werden kann. Anhand der Trends des Stroms oder der elektrischen Leistung ist die benötigte Energie zur Beschleunigung der rotierenden Masse präzise messbar und charakteristisch für einen Füllvorgang. Der virtuelle Massenzuwachs beim Befüllvorgang ist charakteristisch für den Prozess.

[0015] In einer zusätzlichen vorteilhaften Ausführungsvariante wird das Leermoment (oder Rotationsträgheitsmoment der Trommel im Leerzustand) bestimmt. Hierbei wird für die Zentrifugentrommel im Leerzustand beim Übergang von einer ersten Drehzahl (bevorzugt die Abschäldrehzahl) zu einer zweiten Drehzahl (bevorzugt die Befülldrehzahl) die zur Erhöhung des Rotationsträgheitsmomentes zusätzlich erforderliche Energie ermittelt. Daraus wird nun auf die (rotierende) Masse der leeren Trommel geschlossen. Diese Ausführungsvariante ist insbesondere wichtig, wenn der Füllgrad der befüllten Zentrifugentrommel nicht durch eine Energiezunahme allein bestimmt wird. Auf diese Weise kann sehr einfach das Eigengewicht von häufig sehr schweren und großen Zentrifugentrommeln, wie sie beispielsweise in der Zuckerindustrie vorkommen, bestimmt werden. Das Leermoment oder das Eigengewicht der Trommel ist in vielen Fällen für weiterführende Auswertungen unerlässlich.

[0016] Auch in einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsvariante kann der Füllgrad der Zentrifuge einfach und präzise bestimmt werden. Diese Ausführungsvariante ist insbesondere für hohe Drehzahlen geeignet, d. h. für Drehzahlen des Betriebsmodus, bei dem die Zentrifugentrommel mit der Abschleuderdrehzahl rotiert. Dabei wird die Drehzahl der Trommelrotation zyklisch über die Zeit variiert, und die zeitliche Änderung der Winkelgeschwindigkeit wird gemessen. Aus dieser wird die Energie für die Beschleunigung und Abbremsung der Trommel abgeleitet und das Rotationsträgheitsmoment der Trommel berechnet. Bei Kenntnis der Nullmasse (welche aus dem Rotationsträgheitsmoment der Zentrifuge im Leerzustand resultiert) kann mittels des Rotationsträgheitsmoments der rotierende Masse der Füllgrad der Zentrifugentrommel bestimmt werden.

[0017] Der Vorteil dieser Ausführungsvariante besteht darin, dass die kleine Variation der Drehzahl auf den Trennvorgang keine Auswirkung hat, während die Energieänderung bedingt durch die Beschleunigung und Abbremsung der Trommel durch die zeitliche Änderung der Winkelgeschwindigkeit gut messbar ist. Wie in der ersten Ausführungsvariante wird über die Energieänderung auf das Trägheitsmoment der Trommel und anschließend auf den Füllgrad geschlossen.

[0018] In einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsvariante wird bei der hohen Drehzahl eine Restfeuchte ei-

nes Filterkuchens durch Vergleich der rotierenden Massen von mindestens zwei Zyklen der Drehzahlvariationen bestimmt. In dieser Ausführungsvariante wird bei der Abschleuderdrehzahl der Zentrifugentrommel eine erste Variation der Drehzahl vorgenommen, die rotierende Masse bestimmt und anschließend wird der Vorgang mindestens einmal wiederholt. Ändert sich die auf diese Weise bestimmte Masse nicht mehr, ist im betrachteten Filterkuchen keine Restfeuchte zum Abschleudern mehr vorhanden. Die bestimmte Masse ist bei vollständiger Entfeuchtung konstant. Auf diese Weise kann die Restfeuchte des Filterkuchens sehr effizient, ohne Eingriff in den Trennvorgang z.B. durch eine Probeentnahme bestimmt werden. Ferner fallen auch keine zusätzlichen Betriebskosten der Zentrifuge an. Zum einen ist die Bestimmung der Restfeuchte gemäß dieser Ausführung vorteilhafterweise in den aktuellen Betriebsmodus der Zentrifuge integriert, zum anderen kann der Abschleudervorgang bei Erreichen eines gewissen Trocknungsgrades des Filterkuchens beendet werden. Die Betriebskosten der Zentrifuge können mittels dieser Ausführungsvariante schließlich sogar gesenkt werden, wenn der Schleudervorgang früher beendet wird, als ursprünglich aufgrund von Erfahrungswerten vorgegeben.

[0019] Die zur Beibehaltung oder Änderung der Rotation der Zentrifugentrommel notwendige Energie wird in einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung mittels Integratoren im frequenzabhängigen Umrichter ermittelt. Eine zusätzliche Sensorik ist nicht notwendig. Der vorhandene Messaufbau wird somit optimal ausgenutzt.

[0020] Alle Ausführungen des erfindungsgemäßen Verfahrens führen zu einer verbesserten Überwachung von Zentrifugen, da die Auswertung bereits vorhandener Größen eine höhere Genauigkeit liefert und vollkommen automatisiert ablaufen kann. Das erfindungsgemäße Verfahren kann als stand-alone-Anwendung in einer Prozessanlage bereitgestellt werden oder in einem lokalen oder entfernten Rechnersystem ("Cloud") bereitgestellt werden, z.B. von einem Service-Anbieter als "Software as a Service".

[0021] Die beschriebenen Weiterbildungen beziehen sich sowohl auf das erfindungsgemäße Verfahren als auch auf die Vorrichtung.

[0022] Ferner ist eine Realisierung der Erfindung oder einer beschriebenen Weiterbildung möglich durch ein Computerprogramm, insbesondere einer Software-Applikation, mit durch einen Computer ausführbaren Programmcodeanweisungen zur Implementierung des Verfahrens, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

[0023] Auch können die Erfindung und/oder jede beschriebene Weiterbildung durch ein Computerprogrammprodukt realisiert sein, welches ein Speichermedium aufweist, auf welchem ein Computerprogramm gespeichert ist, welches die Erfindung und/oder die Weiterbildung ausführt.

[0024] Das Computerprogrammprodukt ist vorteilhaft in einen Arbeitsspeicher einer Recheneinheit überführ-

bar und von dort aus mit Hilfe zumindest einer CPU ausführbar. Das Computerprogrammprodukt ist vorteilhaft auf einem Datenspeicher wie einem USB-Stick, einer Festplatte oder einer CD-ROM / DVD-ROM speicherbar und von dort aus auf der Recheneinheit abrufbar oder installierbar.

[0025] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert.

[0026] Darin zeigen, jeweils in vereinfachter schematischer Darstellung:

FIG. 1 ein Blockschaltbild einer horizontalen Zentrifuge und einer Vorrichtung zur Überwachung der Zentrifuge

FIG. 2 ein Kurvendiagramm mit verschiedenen zeitlichen Verläufen von Größen zur Überwachung einer Zentrifuge über einen Zyklus des Zentrifugenbetriebs hinweg im Zusammenhang mit den verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung

FIG. 3 einen zeitlichen Verlauf der Zuflussrate und des benötigten Motorstroms im Betriebsmodus der Füllgradermittlung einer Zentrifugentrommel gemäß einer ersten Ausführung der Erfindung

FIG. 4 einen zeitlichen Verlauf einer Drehzahl einer Zentrifuge gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung

[0027] FIG. 1 zeigt beispielhaft und in vereinfachter Darstellung ein Blockschaltbild einer horizontalen Zentrifuge Z zur Fest-Flüssig-Trennung einer Suspension SUS. Die Zentrifuge Z weist eine Zentrifugentrommel T auf, in welche die Suspension SUS über ein durch ein Ventil V verschließbares Rohr zugeführt wird. Die Zentrifugentrommel T weist eine Drehachse A, die mit der Symmetrieachse der Zentrifugentrommel zusammenfällt und in der Fig. 1 horizontal verlaufend angeordnet ist. Die Zentrifuge weist an zwei beliebigen Punkten der Drehachse zur Lagerung wenigstens ein Lager pro Punkt auf.

[0028] In der gezeigten Ausführung wird die Suspension SUS über ein so genanntes Füllschwert in das Innere der Zentrifugentrommel T eingeleitet. Im Schleuderbetrieb liegt das Füllgut aufgrund von Fliehkräften mehr oder weniger gleich dick an der zylindrischen Wand der Trommel an. Die horizontale Zentrifuge beschleunigt, um die Flüssigkeit durch den so genannten Filterkuchen durchzupressen. Das Schleudern erfolgt so lange, bis eine gewünschte Restfeuchte des Filterkuchens erreicht ist. Bei reduzierter Drehzahl schwenkt ein Schälmesser SM in den Filterkuchen ein und schält in dieser Ausführungsvariante das Produkt P über eine Austragsvorrichtung vertikal nach unten aus.

[0029] Zum Betrieb der Zentrifuge Z ist diese mit einem frequenzgesteuerten Antrieb zur Erzeugung einer Rotation der Zentrifugentrommel T verbunden. Der frequenzgesteuerte Antrieb umfasst mindestens einen Frequenzumrichter FU, der aus einer speisenden Wechselspannung eine passende Wechselspannung für einen Motor erzeugt. Der Frequenzumrichter FU ist einerseits mit einem Drehstrommotor M verbunden, andererseits mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung SPS zur Steuerung des Motorbetriebs. Der Frequenzumrichter verfügt über eine Drehzahlregelung D, sodass beliebige Drehzahlen der Drehachse (physikalisch: Winkelgeschwindigkeiten ω) der Zentrifugentrommel einstellbar sind.

[0030] Eine in FIG 1 beispielhaft gezeigte erfindungsgemäße Vorrichtung VO zur Überwachung der Zentrifuge umfasst mindestens eine Schnittstelle (S1, S2, S3) zum Empfang und Austausch von Signalen von mindestens einem der Aggregate des Motors M, des Frequenzumrichters FU und/oder der speicherprogrammierbaren Steuerung SPS. Die Vorrichtung VO kann alternativ auch eine einzige Schnittstelle aufweisen, welche dazu ausgebildet ist, beliebige Signale und/oder Daten zu empfangen.

[0031] Ferner umfasst die Vorrichtung VO eine Auswerteeinrichtung AS, die dazu ausgebildet ist, das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen und auf Basis der zugeführten Signale während des Betriebs der Zentrifuge Z eine Vielzahl von Größen und/oder Parameter des Antriebs zeitabhängig über den Verlauf des Trennprozesses aufzunehmen, und aus den Zusammenhängen der Größen und/oder Parameter untereinander Betriebsmodi der Zentrifuge abzuleiten und in Abhängigkeit des abgeleiteten Betriebsmodus Informationen über den Trennprozess und/oder einen Zentrifugenzustand automatisch zu ermitteln. Die Auswerteeinrichtung fungiert so als Überwachungseinrichtung und kann durch Verbindung mit einer Anzeigevorrichtung einem Anwender die zuvor ermittelten Informationen anzeigen. Dabei kann es sich gemäß der vorliegenden Erfindung um den Füllgrad der Zentrifuge oder um Informationen über den Verschleiß von Teilen der Zentrifuge handeln, wie der Lagerung der Zentrifugentrommel oder einer vorhandenen Unwucht (= eine bei rotierenden Körpern nicht rotationssymmetrische Verteilung der Masse).

[0032] Die Auswerteeinrichtung AS umfasst hierzu ferner zumindest eine Prozessoreinheit P, zumindest einen Speicher oder ein Archiv Sp zur Abspeicherung der empfangenen Signale, und zumindest einen Speicher R, in dem ein Programm PR mit Anweisungen gespeichert ist, bei deren Ausführung mittels der Prozessoreinheit P eines der vorstehend beschriebenen Verfahren ausgeführt wird. Die als Computerprogramm PR implementierte Erfindung kann beispielsweise im Arbeitsspeicher R vorgehalten werden oder in diesen geladen werden, und von dort aus mit Hilfe des zumindest einen Prozessors P ausgeführt werden.

[0033] Die Vorrichtung kann ferner eine Anzeigeein-

heit aufweisen oder mit einer solchen verbunden sein, die dazu ausgebildet ist, dass auf einer Benutzeroberfläche GUI die Zentrifuge einer verfahrenstechnischen Anlage überwacht werden kann. Über die graphische Benutzeroberfläche kann ein Anwender beliebig mit der Auswerteeinrichtung AS der Vorrichtung VO interagieren.

[0034] Figur 2 zeigt ein Kurvendiagramm mit verschiedenen zeitlichen Verläufen von Größen zur Überwachung einer Zentrifuge über einen Zyklus des Zentrifugenbetriebs hinweg im Zusammenhang mit den verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Auf der Abszisse ist die Zeit t in ms aufgetragen. Auf der Ordinate sind unterschiedliche Größen im Zusammenhang mit einem Betriebszyklus einer Schälzentrifuge beispielhaft aufgetragen, für die jeweils eigene Achsen mit den entsprechenden Skalen angegeben sind. Bei der untersten Kurve handelt es sich um die gemessene Drehzahl UM_{ist} der Zentrifugentrommel. Diese wird in Anzahl n pro Minute (engl. rpm revolutions per minute) angegeben und ist proportional zu der physikalischen Größe der Winkelgeschwindigkeit ω . Dieser überlagert ist der vorgegebene Sollwert der Umdrehungen der Zentrifugentrommel UM_{soll} in gleicher Einheit. Ferner zeigt das Diagramm den zeitlichen Verlauf des Motorstroms I_M in A, welcher zum Antrieb der Zentrifugentrommel T benötigt wird, und der benötigten elektrischen Leistung P_{el} in kW. Zum weiteren Verständnis des Zentrifugenbetriebs ist ferner der zeitliche

[0035] Verlauf des Drehmoments der Trommel M_T in Nm den Verläufen der anderen Größen gegenübergestellt. Während des Betriebs der Zentrifuge lassen sich demnach eine Vielzahl von Größen und/oder auch Parameter des Antriebs zeitabhängig über den Verlauf des Trennprozesses ermitteln und analysieren.

[0036] Durch die Gegenüberstellung der für den Zentrifugenbetrieb relevanten Größen werden die Zusammenhänge der Größen und/oder Parameter offengelegt, woraus sich die einzelnen Betriebsmodi eines Zyklus des Zentrifugenbetriebs ableiten lassen. Diese sind in Fig. 2 mit römischen Ziffern I bis IV gekennzeichnet. Für jeden dieser Betriebsmodi lassen sich nun Informationen über den Trennprozess und/oder einen Zentrifugenzustand automatisch ermitteln, indem beispielsweise die entsprechenden Signale des Motors und Frequenzumrichters ausgewertet werden.

[0037] Im Betriebsmodus I wird die Zentrifuge befüllt. Die leere Trommel rotiert zu Beginn mit einer Drehzahl DZ3, welche häufig noch der Abschäldrehzahl aus dem vorherigen Betriebszyklus entspricht. Die leere Trommel wird zu Beginn des Befüllmodus in diesem Ausführungsbeispiel von zirka 50 auf zirka 175 rpm beschleunigt. Bei letzterer handelt es sich um die Fülldrehzahl DZ1. Der gemessene Istwert der Drehzahl der Zentrifugentrommel UM_{ist} folgt dem Sollwert UM_{soll} zeitverzögert. Insbesondere ist deutlich zu erkennen, dass unmittelbar nach der Signalarampe des Sollwerts ausgeprägte Maxima des Motorstroms I_M , der benötigten elektrischen Leistung P_{el}

und des Drehmoments der Trommel M_T auftreten, die daraus resultieren, dass zur Beschleunigung der leeren Zentrifugentrommel von einer ersten Drehzahl auf eine zweite Drehzahl Energie benötigt wird. Erfindungsgemäß kann in dem Bereich des ersten Maximums von Betriebsmodus I die Fläche unterhalb des Kurvenverlaufs der elektr. Leistung als Funktion der Zeit mittels eines Integrators bestimmt werden. Daraus (aus der elektrischen Energie zur Erhöhung der Rotationsenergie der Zentrifugentrommel) lässt sich das Rotationsträgheitsmoment der Trommel der Zentrifuge im Leerzustand, das Leermoment, ermitteln.

[0038] Anschließend wird das Befüllventil V geöffnet und die Suspension tritt in die Trommel ein. Wird die Trommel befüllt, muss der eintretende Massenstrom auf deren Winkelgeschwindigkeit beschleunigt werden, somit steigt die Leistungsaufnahme der Zentrifuge während des Füllvorgangs deutlich an. Am Ende des Bereichs I ist daher in Fig. 2 ein zweites ausgeprägtes Maximum des Motorstroms I_M zu erkennen, genauso wie Maxima der benötigten elektrischen Leistung P_{el} und des Drehmoments der Trommel M_T . Das Integral der Stromaufnahme oberhalb der Leerlaufstromaufnahme bei dieser Drehzahl ist somit ein Maß der Energie, die benötigt wird, um den eintretenden Massenstrom auf die Winkelgeschwindigkeit zu beschleunigen, bis die Zentrifuge endgültig ausreichend befüllt ist. Das zeitliche Integral über den eintretenden Massenstrom (= Masse) ist proportional zu dem Integral der Leistungsaufnahme der Zentrifugentrommel (= elektrische Arbeit). Über diese Energiebilanz kann somit das Rotationsträgheitsmoment und daraus die Masse der Befüllung (rotierende Masse) der nun befüllten Trommel ermittelt werden.

[0039] Am Ende des Betriebsmodus I, der Befüllung der Zentrifugentrommel, wird das Befüllventil geschlossen und die Drehzahl wird auf die Abschleuderdrehzahl DZ2 "hochgefahren". In diesem Ausführungsbeispiel wird für die Abschleuderdrehzahl ein Sollwert U_{soll} von 1000 rpm vorgegeben. Der "Abschleudermodus" kann in zwei Phasen eingeteilt werden. Im Betriebsmodus II braucht die Zentrifuge viel Energie, um die Solldrehzahl U_{soll} zu erreichen, was in Fig. 2 am ansteigenden Verlauf der benötigten elektrischen Leistung erkennbar ist. Das Füllgut verliert zugleich an Masse, da die Flüssigkeit der Suspension abgeschleudert wird. Die Istdrehzahl $U_{M_{ist}}$ steigt linear an, bis der überwiegende Teil der Flüssigkeit abgetrennt wurde. Sobald die Istdrehzahl $U_{M_{ist}}$ die Solldrehzahl U_{soll} erreicht hat, wird keine zusätzliche Energie zur Rotation der Trommel benötigt und der Motorstrom I_M , die elektrische Leistung P_{el} und das Drehmoment der Trommel M_T fallen abrupt ab. Der Betriebsmodus "Abschleudern" ist damit beendet.

[0040] Im Betriebsmodus III schließlich wird das Füllgut bei konstanten 1000 rpm trockengeschleudert. Hier bietet sich die Möglichkeit, durch eine leichte Variation der Rotationsgeschwindigkeit die Restfeuchte zu ermitteln. Sobald aus dem Filterkuchen keine Feuchtigkeit mehr austritt, strebt das Rotationsträgheitsmoment der

Trommel einem unteren Grenzwert entgegen und das Ende des Vorgangs "Trockenschleudern" kann somit erkannt werden. Einzelheiten hierzu sind der Figurenbeschreibung zu Fig. 4 zu entnehmen.

5 **[0041]** Nach dem Betriebsmodus III (Trockenschleudern) wird in diesem Ausführungsbeispiel ein Sollwert U_{soll} von 50 ppm eingestellt. Es handelt sich dabei um die Abschäldrehzahl DZ3 zum Abschälen des Filterkuchens. Auch in diesem Betriebsmodus IV folgt der gemessene Istwert der Drehzahl der Zentrifugentrommel U_{ist} dem Sollwert U_{soll} zeitverzögert, bis er sich schließlich auf dem Anfangsniveau bei der Abschäldrehzahl DZ3 verbleibt. Nach diesem Betriebsmodus beginnt ein neuer Zyklus des Zentrifugetriebs.

10 **[0042]** Figur 3 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf der Zuflussrate dm/dt einer Zentrifuge und des benötigten Motorstroms I_M im Betriebsmodus der Befüllung (vgl. Bereich I aus Fig. 2) einer Zentrifugentrommel gemäß einer ersten Ausführung der Erfindung. Im Bereich I' von Fig. 3 ist die Zentrifugentrommel leer (Massenzuflussrate $dm/dt = 0$). Der Motorstrom I_M ändert sich nicht, da die Trommel mit einer konstanten Drehzahl gegen einen konstanten Reibwiderstand angetrieben wird. Das Rotationsträgheitsmoment J_{leer} der Trommel der Zentrifuge im Leerzustand kann (wie in der Beschreibung von Fig. 2 bereits angemerkt) aus einem Drehzahlsprung durch Beschleunigung der Trommel aus der Abschäldrehzahl auf die Drehzahl bei Befüllung ermittelt werden ($J = 2 \cdot \text{Erot} / \omega^2$ mit $\text{Erot} = \text{Rotationsenergie} = \text{elektrischer Energie} (U \cdot I_M \cdot t)$ und $\omega = \text{Winkelgeschwindigkeit}$). Im Bereich I'' von Fig. 3 wird die Zentrifugentrommel befüllt ($dm/dt > 0$). Um die Drehzahl konstant zu halten, benötigt die Zentrifuge zur Beschleunigung des eintretenden Massenstroms auf die jeweilige Winkelgeschwindigkeit der Trommel zusätzlichen Strom. Im Bereich I''' in Fig. 3 wird keine weitere Masse mehr der Trommel zugeführt. Die zusätzliche aufzubringende Energie ist proportional zur Fläche des Integrals aus der Leistungsaufnahme über die Zeit. Diese kann z.B. mittels eines Integrators im Frequenzumrichter des Antriebs ermittelt werden (vgl. Fig. 2). Gemäß dieser Ausführungsform würde eine Software-Applikation, in der das angegebene Verfahren implementiert ist, bei Aufrufen einer Funktion "Ermittlung des Füllgrads" die Information über den Füllgrad einem Anwender bereitstellen, ohne dass ein spezieller Sensor in der Zentrifugentrommel angebracht werden müsste.

45 **[0043]** Figur 4 zeigt einen zeitlichen Verlauf einer Drehzahl UM einer Zentrifuge gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung. Die Trommelrotation wird hier bei hoher Drehzahl RPM (hier bei DZ2 = 1500 rpm) im Verhältnis zu dieser Drehzahl leicht zyklisch variiert. Dabei kann es sich zum Beispiel um eine Sinusschwingung oder einen Sägezahn handeln. Dies erfolgt insbesondere im Trockenschleuderbereich (vgl. Betriebsmodus III in Fig. 2). Die Änderung der Winkelgeschwindigkeit wird gemessen. Beim Beschleunigen der Trommel muss der Motor Energie aufbringen. Diese kann aus dem benötigten Strom des Motors abgeleitet werden. Beim Abbremsen

sen der Trommel wirkt der Motor wie ein Generator und wandelt die mechanische Energie der Maschine wieder in elektrische Energie um. Der Umrichter muss dann die Energie "loswerden", was am Spannungsabfall an den Widerständen im Umrichter messbar ist. Auch hier lässt sich mittels der Energiebilanzen das Rotationsträgheitsmoment der Trommel bestimmen. Wird wie in Fig. 4 die Zentrifuge mit einer definierten Beschleunigungs- bzw. Bremsenergie zyklisch zwischen zwei Drehzahlen gefahren, kann daraus periodisch das Rotationsträgheitsmoment gemessen werden. Hierzu ist eine zyklische Abfrage der Frequenzumrichterleistung bzw. eines Stromzählers notwendig. Zur Implementierung müsste diese Abfrage in der Anlagensteuerung implementiert werden. Für den Trennvorgang spielt eine im Verhältnis zur Umdrehungszahl von 1500 rpm kleine Variation von z.B. +/- 50 rpm keine Rolle. Mit dutzenden Kilo zusätzlichem Gewicht des abgeschiedenen Feststoffs einer Suspension und bei einigen tausend Umdrehungen kann die Beschleunigungsenergie der steigenden Rampe bzw. das Bremsmoment der fallenden Rampe zur Ermittlung des Trägheitsmoments beim Trocknungsvorgang genutzt werden. Erfindungsgemäß muss eine gut messbare Energie zur Beschleunigung bzw. kontrollierte Bremsenergie eingesetzt werden und die zeitliche Änderung der Winkelgeschwindigkeit $d\omega/dt$ erfasst werden. Mittels der in Fig. 4 gezeigten Sägezahnkurve kann eine Energieänderung nach der Zeit bewirkt werden, indem die Trommel entweder mit einer konstanten Kraft beschleunigt bzw. abgebremst wird und die Änderung der Winkelgeschwindigkeit zur Berechnung des Rotationsträgheitsmoments verwendet wird oder die Änderung der Winkelgeschwindigkeit als Funktion der Zeit vorgegeben wird und die hierzu notwendige Leistung ermittelt wird. In dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel sind zwei Zyklen oder Variationen der Drehzahl zu unterschiedlichen Zeiten dargestellt. Ein Vergleich der bei jedem Zyklus ermittelten rotierenden Masse (Trägheitsmasse) kann zur Bestimmung der Restfeuchte des Filterkuchens verwendet werden. Ist noch Restfeuchte vorhanden, nimmt die rotierende Masse mit der Zeit ab. Letztendlich wird die Restfeuchte mit der Zeit einem Grenzwert entgegenstreben, woraufhin der Abschleudervorgang (ggfs. früher als ursprünglich eingestellt) beendet und der Filterkuchen nach Erreichen der Abschleuderdrehzahl (DZ3) mechanisch entfernt werden kann.

[0044] Die Erfindung und die beschriebenen Weiterbildungen wird bevorzugt in Software als auch in einer Firmware oder in einem Microchip, beispielsweise unter Verwendung einer speziellen elektrischen Schaltung, realisiert oder in einer Kombination aus Soft- und Hardware implementiert wie beispielsweise einer einem Softwaremodul, welches in die Steuerung des Frequenzumrichters eingelesen werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung einer Zentrifuge (Z) zur Fest-Flüssig-Trennung einer Suspension (SUS), mit einer Zentrifugentrommel (T), die mit mindestens einem frequenzgesteuerten Antrieb zur Erzeugung einer Rotation der Zentrifugentrommel (T) verbunden ist, wobei während des Betriebs der Zentrifuge eine Vielzahl von Größen und/oder Parameter des Antriebs zeitabhängig über den Verlauf des Trennprozesses ermittelt werden, und aus den Zusammenhängen der Größen und/oder Parameter untereinander Betriebsmodi der Zentrifuge abgeleitet werden und in Abhängigkeit des abgeleiteten Betriebsmodus Informationen über den Trennprozess und/oder einen Zentrifugenzustand automatisch ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zu einer Beibehaltung einer Drehzahl (DZ1) der Trommelrotation notwendige Energie des Antriebs (FU) zeitabhängig erfasst wird und daraus eine Zunahme eines Rotationsträgheitsmoments der Trommel durch die Befüllung abgeleitet und daraus die rotierende Masse der Befüllung der Zentrifugentrommel (T) bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Zentrifugentrommel (T) im Leerzustand beim Übergang von einer ersten Drehzahl (DZ3) zu einer zweiten Drehzahl (DZ1) die zur Erhöhung des Rotationsträgheitsmomentes zusätzlich erforderliche Energie ermittelt wird und daraus auf die rotierende Masse der leeren Trommel geschlossen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer hohen Drehzahl (DZ2) die Drehzahl der Trommelrotation zyklisch über die Zeit variiert wird, und die zeitliche Änderung der Winkelgeschwindigkeit gemessen wird, dass daraus die Energie für die Beschleunigung und Abbremsung der Trommel abgeleitet wird, und das Rotationsträgheitsmoment der Trommel berechnet wird und daraus die rotierende Masse und unter Berücksichtigung des Leermoments der Trommel der Füllgrad der Zentrifugentrommel bestimmt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der hohen Drehzahl (DZ2) eine Restfeuchte eines Filterkuchens durch Vergleich der rotierenden Massen von mindestens zwei Zyklen der Drehzahlvariationen bestimmt wird, welche bei vollständiger Entfeuchtung konstant wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die zur Beibehaltung oder Änderung der Rotation der Zentrifugentrommel notwendige Energie mittels Integratoren im frequenzabhängigen Umrichter ermittelt wird. 5
7. Vorrichtung (VO) zur Überwachung einer Zentrifuge (Z) zur Fest-Flüssig-Trennung einer Suspension (SUS), mit einer Zentrifugentrommel (T) die mit mindestens einem frequenzgesteuerten Antrieb zur Erzeugung einer Rotation der Zentrifugentrommel (T) verbunden ist, 10
- mit mindestens einer Schnittstelle (S1, S2, S3) zum Empfang von Signalen des frequenzgesteuerten Antriebs, und 15
 - mit einer Auswerteeinrichtung (AS), die dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 durchzuführen. 20
8. Computerprogramm, insbesondere Software-Applikation, mit durch einen Computer ausführbaren Programmcodeanweisungen zur Implementierung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird. 25
9. Computerprogrammprodukt, insbesondere Datenträger oder Speichermedium, mit einem durch einen Computer ausführbaren Computerprogramm gemäß Anspruch 8. 30

35

40

45

50

55

FIG 1

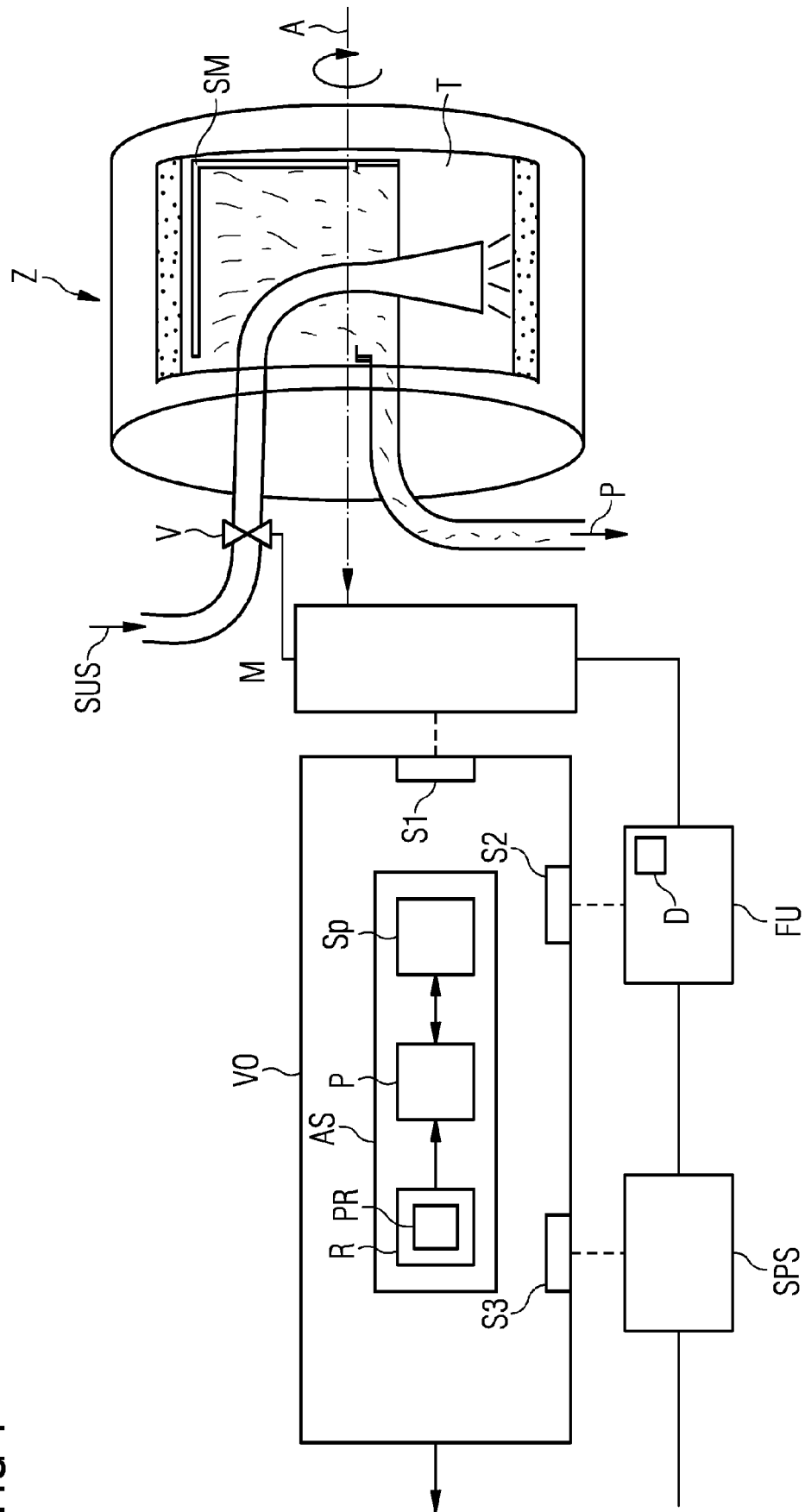


FIG 2

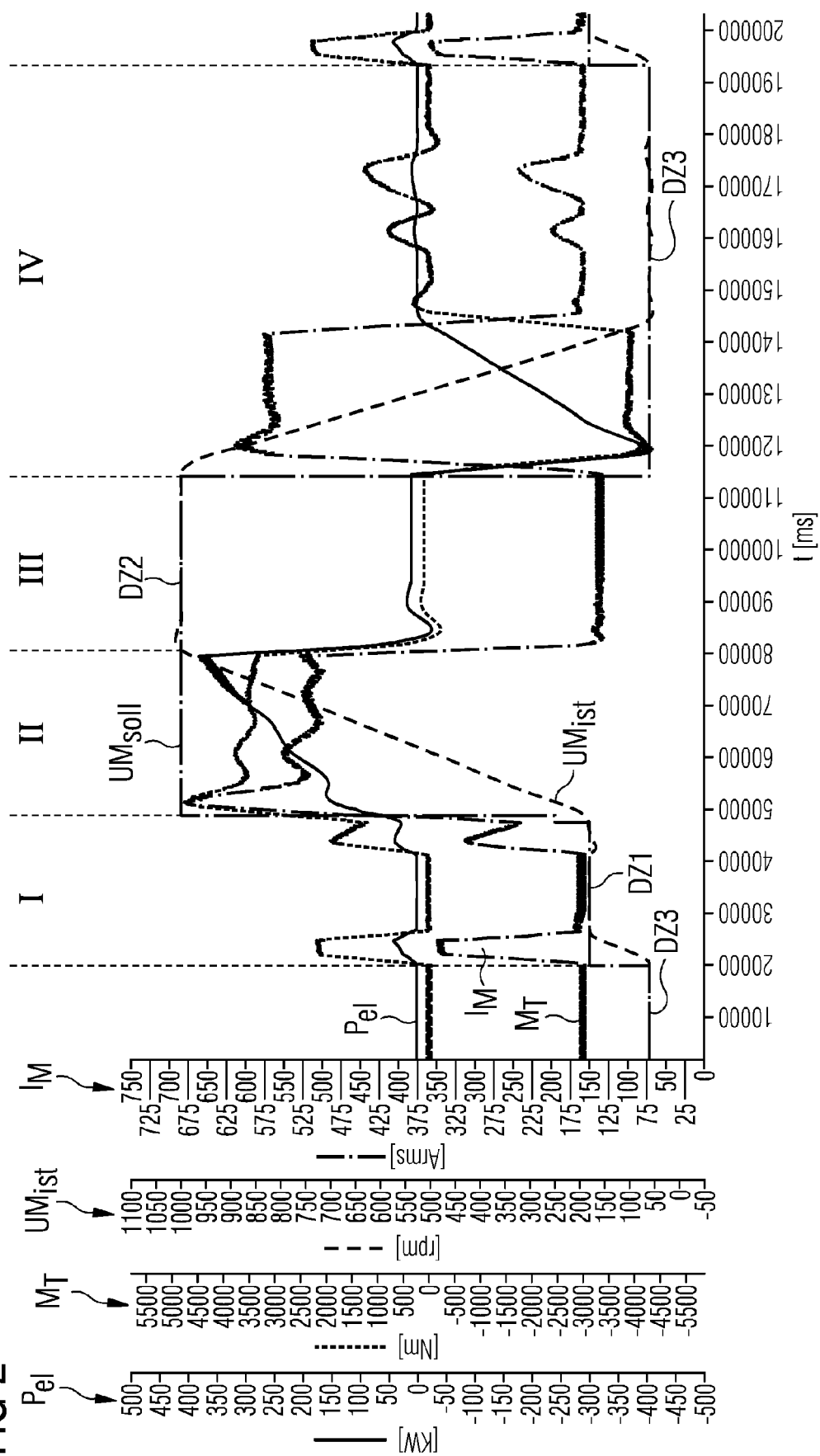


FIG 3

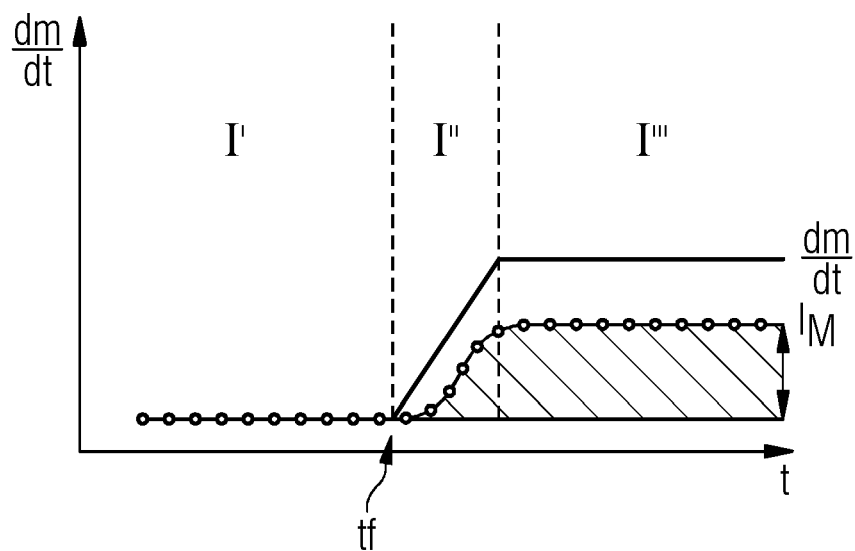
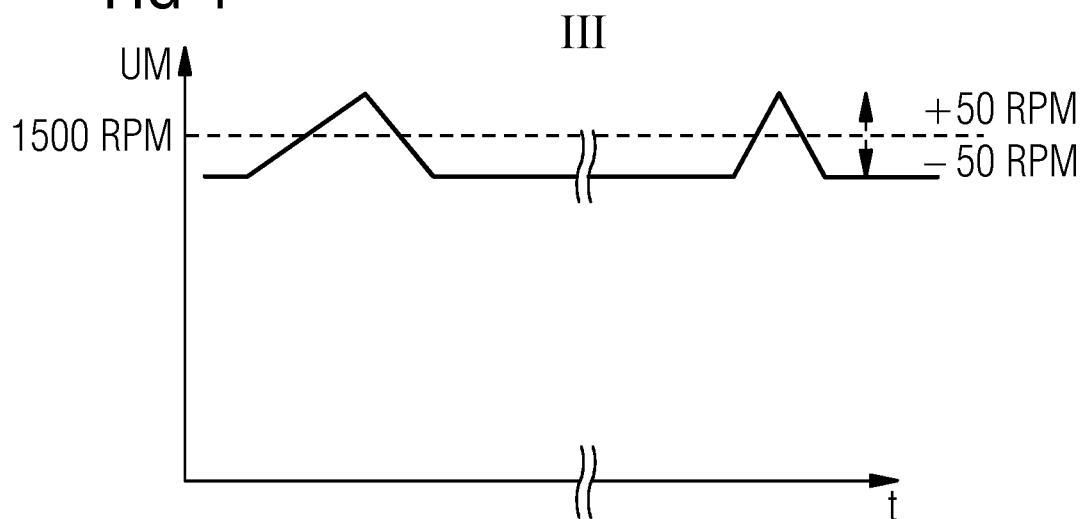


FIG 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 7197

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	GB 2 126 358 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 21. März 1984 (1984-03-21)	7-9	INV. B04B13/00
Y	* Abbildungen *	1, 3, 4, 6	B04B11/04
A	-----	2, 5	B04B3/00
Y	DE 10 2021 002118 B3 (GROSCHOPP AG DRIVES & MORE [DE]) 5. Mai 2022 (2022-05-05) * Abbildungen *	1, 3, 4, 6	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 16. Juni 2023	Prüfer Kopacz, Ireneusz
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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	



5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung Patentansprüche, für die eine Zahlung fällig war.

☐ Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für jene Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war, sowie für die Patentansprüche, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war.

MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

Siehe Ergänzungsblatt B

☐ Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

☒ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

☐ Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:

☐ Der vorliegende ergänzende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen (Regel 164 (1) EPÜ).



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 7197

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 1-9

Verfahren zur Überwachung einer Zentrifuge

1.1. Anspruch: 7

Vorrichtung (VO) zur Überwachung einer Zentrifuge

1.2. Anspruch: 8

Computerprogramm

1.3. Anspruch: 9

Computerprogrammprodukt

Bitte zu beachten dass für alle unter Punkt 1 aufgeführten Erfindungen, obwohl diese nicht unbedingt durch ein gemeinsames erfinderisches Konzept verbunden sind, ohne Mehraufwand der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, eine vollständige Recherche durchgeführt werden konnte.

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

EP 22 19 7197

5 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.

16-06-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	GB 2126358 A	21-03-1984	KEINE	
15	DE 102021002118 B3	05-05-2022	CN 115226658 A	25-10-2022
			DE 102021002118 B3	05-05-2022
			EP 4079151 A1	26-10-2022
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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