

Verfahren zur Überwachung und Regelung der Kühlmitteltemperatur einer Antriebvorrichtung eines Separators

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Kühlmitteltemperatur eines Elektromotors einer Antriebvorrichtung eines Rotors einer Zentrifuge nach dem
5 Oberbegriff des Anspruchs 1.

Um bei Zentrifugalseparatoren der gattungsgemäßen Art eine kompakte Bauweise realisieren zu können, werden die Antriebe dieser Separatoren mit einem integrier-
10 ten, wassergekühlten Elektromotor zum Direktantrieb des Rotors mit der Separatortrommel ausgestattet.

Es ist bekannt, das Kühlmittel in der erforderlichen Menge und im zulässigen Temperaturbereich zum Kühlen des Elektromotors nach Vorgabe des Elektromotorherstellers bereitzustellen. Derart kann die maximal zulässige Motortemperatur eingehalten
15 werden. Hierbei wird die erforderliche Zulaufmenge z.B. durch eine entsprechende Blende oder ein Nadelventil begrenzt.

Ein zusätzliches Öffnungsventil öffnet die Kühlmittelzufuhr bei Betrieb des Elektromotors und schließt diese, sobald der Elektromotor ausgeschaltet wird. Das Öffnungs-
20 ventil für das Kühlmittel ist während des Betriebs des Antriebsmotors permanent geöffnet und das Kühlmittel strömt mit einem vom Elektromotorhersteller vorgegebenen Volumenstrom durch den Antriebsmotor.

Mit dieser Vorgehensweise ist der Kühlmittelverbrauch immer konstant gleich hoch und zwar unabhängig von der Belastung des Antriebsmotors (Produktdurchsatz und Entleerungshäufigkeit und -größe) sowie von der tatsächlichen Temperatur des zu-
25 laufenden Kühlmittels. Aus dem Stand der Technik sind deshalb Lösungen bekannt geworden, um dieses Problem zu lösen.

30 In der DE 38 09 149 C1 wird beschrieben, dass in Abhängigkeit von der Kühlmittelablauf-temperatur einer Antriebseinheit (Motor) der Querschnitt der Kühlmittelabfuhr-leitung stufenweise verändert werden kann.

35 In der DE 20 2007 004 983 U1 wird beschrieben, dass zur Kühlung von Zentrifugenantrieben eine Wasserkühlung als Kreislaufanordnung verwendet wird, wodurch sich die Notwendigkeit einer Umwälzpumpe und eines Wärmetauschers ergibt.

In der EP 00 16 584 A1 wird beschrieben, dass zur Kühlung von Zentrifugenantrieben auch Wasserkühlung verwendet wird, welches einem Wärmetauscher zugeführt wird.

- 5 Die Konzepte zur Kühlung von Elektromotoren von Separatoren nach dem Stand der Technik haben sich in der Praxis bewährt. Nachteilig bei diesen Konzepten ist, dass der Kühlmittelverbrauch nach wie vor recht hoch ist.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, dieses Problem zu beheben.

10

Die Erfindung erreicht dieses Ziel durch das Verfahren des Anspruchs 1.

- 15 Geschaffen wird ein Verfahren zur Regelung der Kühlmitteltemperatur eines Elektromotors einer Antriebsvorrichtung eines Rotors einer Zentrifuge, insbesondere eines Separators mit vertikaler Drehachse, insbesondere während eines Durchführens einer zentrifugalen Trennung einer Suspension in wenigstens zwei verschiedene Produktphasen; wobei der Rotor der Zentrifuge zumindest eine drehbare Trommel aufweist, und wobei die Antriebsvorrichtung einen Elektromotor aufweist, der direkt oder indirekt den Rotor dreht, und wobei die Antriebsvorrichtung ferner eine Einrichtung
- 20 zum Versorgen des Elektromotors mit einem Kühlmittel aufweist, welche eine Regelungseinrichtung umfasst, wobei das Verfahren zumindest folgende Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen der Zentrifuge mit der Antriebsvorrichtung;
- 25 b) Antreiben des Rotors mit dem Elektromotor, insbesondere während eines Durchführens der zentrifugalen Trennung einer Suspension in wenigstens zwei verschiedene Produktphasen und
- c) geregeltes Kühlen des Elektromotors zumindest während des Schrittes b) für eine befristete Kühlphase in von Pausen unterbrochenen Zyklen.

- 30 Dabei kann weiter vorzugsweise vorgesehen sein, dass die Berechnung der Länge der Kühlphase eines jeweiligen Zyklus durch die Regelungseinrichtung unter Berücksichtigung eines oder mehrerer Messwerte erfolgt, wobei der wenigstens eine Messwert oder die mehreren Messwerte Temperaturmesswerte sein können.

- 35 Durch das Kühlen in Zyklen wird der Kühlmittelverbrauch in der Regel gegenüber einem ununterbrochen andauernden Kühlen deutlich reduziert. Bei einem Kühlsystem, dass nach Art eines Kreislaufes aufgebaut wird, kann mit einem verringerten Kühlmittelvolumen pro Zeit gearbeitet werden. bzw. es wird weniger Kühlmittel im Kreislauf bewegt.

Nach einer besonders vorteilhaften Variante ist vorgesehen, dass die Zyklen des Schrittes c) folgende Teilschritte umfassen:

- 5 c1) Öffnen eines Öffnungsventils der Kühlmittelversorgungssystem zum Erzeugen eines Durchflusses an Kühlmittel durch ein Kühlfluidsystem des Elektromotors, welches zumindest eine Kühlmittelzuleitung und eine Kühlmittelableitung sowie eine Motor-Kühlmitteldurchleitung aufweist;
- 10 c2) Messen einer momentanen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit t_{mess} an der Kühlmittelableitung durch eine Temperaturmess-einrichtung sowie Übermittlung des gemessenen Wertes für T_{mom} an eine Regelungseinrichtung, wobei die vorgegebene Zeit t_{mess} in Abhängigkeit einer Länge der Kühlmittelableitung zwischen dem Elektromotor und der Temperaturmesseinrichtung bestimmt ist;
- 15 c3) Vergleichen des gemessenen Werts von T_{mom} mit einem oberen Grenzwert der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} ;
- c4) Berechnen einer Zeit $t_{\text{kühl}}$ durch die Regelungseinrichtung in Abhängigkeit von T_{mom} , in welcher das Öffnungsventil zusätzlich geöffnet bleibt;
- c5) Schließen des Öffnungsventils nach Ablauf von t_{mess} und $t_{\text{kühl}}$ für eine Zyklus-pausenzeit t_{pause} ;
- 20 woraufhin die Verfahrensschritte c1) bis c5) nach Ablauf von t_{pause} bis zum Beenden des Betriebs des Antriebsmotors der Zentrifuge quasi endlos nach Art einer Programmschleife erneut durchlaufen werden.

25 Somit ergibt sich folgende Gesamtzykluszeit: $t_{\text{zyklus}} = t_{\text{mess}} + t_{\text{kühl}} + t_{\text{pause}}$

Derart wird ein Verfahren zur Überwachung und Regelung der Kühlmitteltemperatur einer Zentrifuge geschaffen, bei dem die momentane Kühlmitteltemperatur möglichst konstant auf einem definierten oberen Kühlmitteltemperaturgrenzwert gehalten werden kann. Auf diese Weise wird der Elektromotor des Separators bei maximal zuläs-

30 siger Temperatur und geringstmöglichem Kühlmittelverbrauch betrieben, und zwar unabhängig von seiner Belastung, der Umgebungstemperatur und der Temperatur des zulaufenden Kühlmittels.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. eines Separators mit

35 einer entsprechend ausgerüsteten Regelungseinrichtung ist, dass es bei vorhandenen kühlmittelgekühlten Elektromotoren leicht nachrüstbar ist, da dazu hardwareseitig im Grunde nur die Temperaturmesseinrichtung an der Kühlmittelableitung ergänzt werden muss. Ein Temperatursensor innerhalb des Elektromotors ist nicht erforderlich, obwohl er vorgesehen sein kann. Außerdem ist als Öffnungsventil nur ein einfa-

ches Ventil mit zwei Schaltstellungen („Auf“ und „Zu“) erforderlich. Es werden deshalb kein Regelventil oder eine regelbare Irisblende und auch nicht mehrere Ventile und Leitungen, wie in Lösungen nach dem Stand der Technik benötigt.

- 5 Auf der Regelungseinrichtung oder einem sonstigen Speicher, der mit ihr verbunden ist oder verbindbar ist, wird zudem ein Computerprogrammprodukt gespeichert und ausgeführt, welches Befehle umfasst, die bewirken, dass an dem Separator zur Kühlung der Antriebsvorrichtung die Verfahrensschritte des Verfahrens zur Kühlung des Elektromotors in Zyklen, insbesondere der Verfahrensschritte nach einem der Ansprüche 1 bis 14 ausgeführt werden.

- Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass das Öffnungsventil unmittelbar nach dem Zeitraum t_{mess} geschlossen wird, wenn die momentane Kühlmitteltemperatur T_{mom} unterhalb eines oberen Grenzwertes der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} liegt. Dadurch kann das Kühlmittel bis zu einer definierten oberen Grenztemperatur für das Kühlmittel Wärmeenergie aufnehmen, wodurch der benötigte Kühlmittelvolumenstrom vorteilhaft reduziert werden kann.

- Nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass das Öffnungsventil für eine weitere Zeit $t_{\text{kühl}}$ geöffnet bleibt, wenn die momentane Kühlmitteltemperatur T_{mom} größer oder gleich dem oberen Grenzwertes der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} ist. Dadurch wird eine erhöhte Kühlmitteltemperatur bis zu einer definierten oberen Grenztemperatur für das Kühlmittel abgesenkt, bei gleichzeitiger vorteilhafter Minimierung des dafür benötigten Kühlmittelvolumenstroms.

- Ferner kann nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass eine Zuordnungstabelle der Messwerte von T_{mom} und $t_{\text{kühl}}$ experimentell ermittelt sind, wodurch sich eine zentrifugenspezifische oder kühlmittelversorgungssystemsspezifische Kennlinie ergibt, die das Verhältnis zwischen T_{mom} und $t_{\text{kühl}}$ repräsentiert, so dass eine Kühlmitteltemperaturregelung als eine Art Kennlinienregelung ausgebildet ist. Dadurch ergibt sich ein vorteilhaft einfaches Arbeitsprinzip der Kühlmittelregelung, die auf den jeweiligen Separator individuell anpassbar ist.

- Alternativ dazu kann es nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass der Regelungseinrichtung - insbesondere einer übergeordneten Steuerungsvorrichtung des Separators - im Schritt c) einer oder mehrere Messwerte der aktuellen Kühlmitteltemperatur T_{mom} , sowie vorzugs-

weise ergänzend einer oder mehrere Messwerte der Umgebungstemperatur und einer oder mehrere aktuelle Motorbelastungskennwerte zugeführt werden, woraufhin die Regelungseinrichtung mit Hilfe dieser Messwerte nach einem Algorithmus eine Kühlzeit $t_{\text{kühl}}$ ermittelt. Sollte sich nach mehreren nachfolgenden Kühlzyklen die
5 Kühlmitteltemperatur nicht in die gewünschte Richtung verändern, wird der Algorithmus durch die Regelungseinrichtung, vorzugsweise durch die übergeordnete Steuerungsvorrichtung, so lange angepasst, bis sich die Kühlmitteltemperatur auf den Wert T_{grenz} einstellt. Durch diese Anpassungsfähigkeit des Algorithmus kann sich die Regelung besonders vorteilhaft auf wechselnde Betriebsbedingungen einstellen.

10

Alternativ dazu kann es nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass als Regelungseinrichtung ein PID-Regler eingesetzt ist. Dadurch kann die Überwachung und Regelung der Kühlmitteltempera-
15 tur vorteilhaft besonders flexibel erfolgen.

Die Erfindung kann konstruktiv bei verschiedenen Kühltanksystemvarianten eingesetzt werden.

20 Ebenfalls kann nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen sein, dass das Kühlmittelversorgungssystem nach dem Prinzip eines geschlossenen Kühlmittelkreislaufs ausgebildet ist.

Nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung ist
25 vorgesehen, dass das Kühlmittel mit Hilfe einer Pumpe im Kreislauf gepumpt und mit einem Wärmetauscher gekühlt wird und die erforderliche Kühlleistung dem Wärmetauscher über einen Kältekreislauf zugeführt wird.

Ferner kann nach einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsvariante vor-
30 gesehen sein, dass das Kühlmittel einem Speichertank entnommen wird und nach Durchströmung des Elektromotors und Aufnahme von Wärme in den Speichertank zurück gepumpt wird. Dadurch entsteht ein offener Kreislauf, dem bei Bedarf Kühlmittel zugeführt oder entnommen werden kann. Dies ist z.B. bei kurzzeitiger Spitzenlast von Vorteil. Auch bei dieser Variante wird der Kühlmittelverbrauch vorteilhaft wir-
35 kungsvoll minimiert.

In diesem Zusammenhang kann nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante vorgesehen sein, dass über eine Wandung des Speichertanks die vom Kühlmittel aufgenommene Wärme durch Konvektion an die Umgebung des Speichertanks

wieder abgegeben wird. Dadurch wird ein mögliches Kühlmittelnachfüllvolumen vorteilhaft wirkungsvoll minimiert, wodurch vorteilhaft Kühlmittel eingespart wird.

5 Besonders vorteilhaft ist, wenn die Wandung des Speichertanks mit geeigneten Mitteln zur Verbesserung einer konvektiven Wärmeabfuhr ausgestattet ist. Dadurch wird ein mögliches Kühlmittelnachfüllvolumen weiter vorteilhaft wirkungsvoll minimiert, wodurch vorteilhaft Kühlmittel eingespart wird.

10 Die Erfindung schafft auch einen Separator mit einer Regelungseinrichtung sowie weiteren Mitteln, die so angepasst sind, dass sie die Schritte des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche ausführen. Sie schafft zudem ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle bzw. Instruktionen, die bewirken, dass der Separator des Anspruchs 15 die Verfahrensschritte nach einem der Ansprüche 1 bis 14 ausführt. Geschaffen wird auch ein computerlesbares Medium, auf dem das Computerprogramm gespeichert ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den übrigen Unteransprüchen zu entnehmen.

20 Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die Zeichnung näher beschrieben. Die Erfindung ist nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern kann auch in anderer Weise wortsinngemäß oder auch in anderer Weise äquivalent realisiert werden. Es zeigt:

- 25 Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung eines Separators mit einer Kühlmittelversorgungssystem für den Antriebsmotor;
- Fig. 2 ein vereinfachtes Schaltbild eines Kühlmittelversorgungssystems für einen Separator;
- 30 Fig. 3 eine Ausführungsvariante des Kühlmittelversorgungssystems aus Fig. 2;
- Fig. 4 eine weitere Ausführungsvariante des Kühlmittelversorgungssystems aus Fig. 2; und
- Fig. 5 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens; und
- 35 Fig. 6 ein weiteres Flussdiagramm zur Veranschaulichung von Teilschritten aus Fig. 5.

In der nachfolgenden Figurenbeschreibung werden mehrere Ausführungsbeispiele beschrieben. Die einzelnen Merkmale dieser Ausführungsbeispiele können auch mit

nicht gezeigten Ausführungsbeispielen kombiniert werden und eignen sich auch jeweils als vorteilhafte Ausgestaltungen der in einzelnen oder mehreren in den Haupt- und Unteransprüchen beschriebenen Gegenstände.

- 5 Fig. 1 zeigt eine Zentrifuge, die als ein Separator 1 ausgebildet sein kann. Die Zentrifuge – hier der Separator – weist einen Rotor auf. Dieser Rotor umfasst eine drehbare Trommel 2 mit hier vertikaler Drehachse D. Diese Trommel 2 kann von einer Haubenanordnung 3 umgeben sein. Begriffe wie „oben“ und „unten“ beziehen sich nachfolgend auf die beispielhafte vertikale Anordnung der Trommel 2. Die Trommel 2 ist
10 auf eine Antriebsspindel 4 aufgesetzt. Diese ist mit einer Lageranordnung, die hier ein oberes Lager 5 und ein unteres Lager 6 umfasst, drehbar in einem Lagergehäuse 7 gelagert. Beispielhaft weist diese Lageranordnung zwei Wälzlager auf. Andere Ausgestaltungen sind denkbar (hier nicht dargestellt).
- 15 Der Antrieb des Separators weist einen Elektromotor 8 zum Drehen des Rotors mit der Trommel 2 auf. Dieser Elektromotor 8 weist ein Elektromotorgehäuse 9 mit einem Stator 10 bzw. einer Ständerwicklung und mit einem Motorrotor bzw. Läufer 11 auf.
- 20 Der Elektromotor 8 weist hier vorteilhaft keine eigene Lagerung auf, was eine kostengünstigere Konstruktion ermöglicht. Die Lageranordnung ist hier vielmehr beispielhaft zwischen dem Elektromotor 8 und der Trommel 2 angeordnet. Die Lageranordnung kann aber auch auf andere Weise realisiert werden.
- 25 Die Antriebsspindel 4 kann beispielhaft ferner direkt – d.h. vorzugsweise ohne zwischengeschaltete Elemente wie z.B. eine Kupplung - mit dem Läufer 11 verbunden. Das Elektromotorgehäuse 9 mit dem Stator 10 kann dagegen starr und ungefedert an dem Maschinengestell 12 des Separators 1 angeordnet bzw. an diesem abgestützt sein.
- 30 Derart bilden die Trommel 2 mit der Antriebsspindel 4, der Läufer 11 und das Lagergehäuse 7 eine schwingende Einheit, die elastisch an dem Maschinengestell 12 abgestützt ist, zu der aber nicht der Stator 10 gehört, so dass zwischen dem Läufer 11 und dem Stator 10 Relativbewegungen auftreten.
- 35 Die Antriebsspindel 4 ist mittels des Lagers 5 und des Lagers 6 in einer bohrungsartigen Öffnung 13 des ein- oder mehrteiligen Lagergehäuses 7 angeordnet.

Das Lagergehäuse 7 weist einen oberen Flansch 14 und einen unteren hülsenartigen Abschnitt 15 auf, der eine Öffnung 16 im Maschinengestell 12 durchgreift.

Der obere Flansch 14 stützt sich über umfangsverteilte elastische Dämpferelemente 17 am Maschinengestell 12 ab, die zwischen der Unterseite des Flansches 14 und der Oberseite des Maschinengestells 12 verteilt sind, wobei der Flansch 14 und das Maschinengestell 12 im Bereich der Dämpferelemente 17 mit ringartigen Stufungen 18, 19 versehen ist.

Weiterhin kann eine Schmiermittelversorgung 20 zur Versorgung der Lager 5, 6 mit Schmierstoff vorgesehen sein.

Die vorliegende Beschreibung betrifft insoweit ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel, ist aber nicht auf diesen Aufbau beschränkt. Die nachfolgend beschriebene Kühlmittelversorgungssystem und die damit im Zusammenhang stehenden Verfahren können vielmehr bei dem vorstehend beschriebenen Separator aber auch bei Separatoren mit anderem Aufbau zum Einsatz kommen können.

Eine erfindungsgemäße Zentrifuge – beispielsweise ausgebildet wie der Separator der Fig. 1 - weist ein Kühlmittelversorgungssystem 100 auf, welches den Antrieb bzw. hier dessen Elektromotor 8 mit Kühlmittel versorgt. Als Kühlmittel kann ein Fluid, insbesondere Wasser, vorgesehen sein. Als Kühlmittel können auch andere geeignete Fluide eingesetzt werden. Das Kühlmittelversorgungssystem 100 weist zumindest eine Kühlmittelzuleitung 101 -auch Kühlmittelvorlauf genannt- und eine Kühlmittelableitung 102 - auch Kühlmittelrücklauf genannt- auf. Zwischen der Kühlmittelzuleitung und der Kühlmittelableitung ist eine Motor-Kühlmitteldurchleitung 113 angeordnet, welche durch Elemente des Elektromotors und/oder an diesen vorbeigeführt sein kann. Hier findet die eigentliche Kühlung des Elektromotors 8 statt, hier insbesondere des Stators, welcher das Kühlmittel in diesem Abschnitt erwärmt. Das Kühlmittelversorgungssystem 100 kann weitere Elemente aufweisen wie z.B. eines oder mehrere ansteuerbare Ventile.

In Fig. 2 sind insbesondere Elemente einer beispielhaften Kühlmittelversorgungssystem 100 eines Separators - z.B. des Separators 1 der Fig. 1 - dargestellt. Das Kühlmittelversorgungssystem 100 weist hier wiederum die Kühlmittelzuleitung 101, die Motor-Kühlmitteldurchleitung 113 und die Kühlmittelableitung 102 auf, die jeweils mit dem Elektromotor 8 verbunden ist. In der Kühlmittelzuleitung 101 kann ein ansteuerbares Öffnungsventil 103 vorgesehen sein. Das Öffnungsventil 103 ist ansteuerbar ausgelegt. Es kann vorzugsweise durch einen elektrischen oder elektromagnetisch

wirkend Aktuator von einer Regelungseinrichtung 105 gesteuert geöffnet und geschlossen werden. Die Betätigung des Öffnungsventils 103 kann aber alternativ auch auf andere Weise erfolgen.

- 5 Die Kühlmittelableitung 102 des Ausführungsbeispiels der Fig. 2 weist sodann eine Temperaturmesseinrichtung 104 auf. Die Temperaturmesseinrichtung 104 kann z.B. als Widerstandstemperatursensor ausgebildet sein. Die Temperaturmesseinrichtung 104 kann auch auf andere Weise ausgebildet sein. Das Kühlmittelversorgungssystem 100 weist ferner eine Regelungseinrichtung 105 auf. Die Regelungseinrichtung 105 kann als eigenständige Regelungseinrichtung ausgebildet sein, die nur die Kühlmittelregelung übernimmt. Sie kann alternativ auch in eine übergeordnete Steuerungsvorrichtung des Separators integriert sein. Sie ist dazu ausgelegt, Messwerte der Temperaturmesseinrichtung 104 zu empfangen. Die Temperaturmesseinrichtung 104 ist an die Regelungseinrichtung 105 angeschlossen, so dass sie die erfassten 15 Messwerte, verarbeiten kann. Die Regelungseinrichtung 105 ist zudem dazu ausgelegt, nach Art einer Steuerungseinrichtung direkt oder über zwischengeschaltete Steuerungsmittel Aktoren wie insbesondere das Ventil 103 anzusteuern.

- Die Regelungseinrichtung 105 kann einen Mikroprozessor und Schnittstellen aufweisen, sowie zwischengeschaltete weitere Steuerungsmittel wie ein Gateway und diese nachgeschalteten Bausteine, mit Hilfe derer sie zumindest an die ansteuerbaren Aktoren wie das Öffnungsventil 103 und an einen oder mehrere Sensoren wie die Temperaturmesseinrichtung 104 angeschlossen sein kann. Dieser Anschluss kann über eine drahtgebundene oder nicht drahtgebundene Datenübertragungsstrecke erfolgen. 25

- Zur Überwachung und Regelung der Kühlmitteltemperatur des Antriebs des Separators 1 wird das nachfolgend beschriebene Verfahren vorgeschlagen. Mit diesem wird der Kühlmittelvolumenstrom, welcher den Elektromotor 8 des Separatorantriebs 30 durchströmt, aktiv regelnd dosiert.

- Dazu kann vorteilhaft und einfach vorgesehen sein, dass die Regelungseinrichtung 105 das Öffnungsventil 103 während des Betriebs des Separators bzw. während des Betriebs des Antriebs mit dem als Antrieb genutzten Elektromotor 8 in Kühlzyklen 35 pulsweise öffnet und schließt, wobei die Dauer des Öffnungsimpulses von der gemessenen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} an der Kühlmittelableitung 102 des Elektromotors abhängig ist, die durch die Temperaturmesseinrichtung 104 gemessen wird. Diese Vorgehensweise führt zu einem sehr geringen Kühlmittelverbrauch. So ist es oftmals möglich, derart im Vergleich mit Vorgaben des Elektromotorherstellers

zu einer Reduzierung des Kühlmittelverbrauches zu gelangen und z.B. den Wasserverbrauch nachhaltig zu reduzieren.

5 Zunächst wird die Zentrifuge bereitgestellt (mit ihrem Antrieb) und der Rotor wird mit dem Elektromotor 8 in Rotation versetzt, und die zentrifugale Verarbeitung wird gestartet (Fig. 5 - Schritte a, b).

10 Während der Rotation (ab deren Beginn) des Rotors startet parallel auch die Kühlung in Zyklen (Fig. 5 Schritt c), wobei die Teilschritte dieses Schritte c) dann während der zentrifugalen Trennung fortgesetzt wiederholt werden können (siehe Fig. 6).

15 Zu Beginn eines jeden Kühlzyklus des sich insbesondere bei einer zentrifugalen Trennung im Betrieb befindlichen Elektromotors 8, der die Antriebsspindel 4 des Separators 1 dreht, wird das Öffnungsventil 103 für die Kühlmittelzufuhr zum Antriebsmotor für einen definierten Zeitraum t_{mess} geöffnet (Fig. 6 – Schritt c1), wodurch das erwärmte Kühlmittel aus der Motor-Kühlmitteldurchleitung 113 (z.B. ein Kühlmantel des Elektromotors 8) in die Kühlmittelableitung 102 gedrückt wird, in der sich auch die Temperaturmesseinrichtung 104 befindet. Diese misst die momentane Kühlmitteltemperatur T_{mom} nach Ablauf der Zeit t_{mess} und übermittelt diesen Messwert an die Regelungseinrichtung 105. Um sicherzustellen, dass die Kühlmitteltemperatur richtig erfasst wird, kann die Zeit t_{mess} in Abhängigkeit einer Länge der Kühlmittelableitung 102 zwischen dem Elektromotor 8 und der Temperaturmesseinrichtung 104 nach Erfahrungswerten früherer Zyklen oder anderer Messwerte vergleichbarer Zentrifugen geeignet gewählt. In Abhängigkeit von T_{mom} berechnet die Regelungseinrichtung 105 die zusätzliche Zeit $t_{\text{kühl}}$, für die das Öffnungsventil 103 zusätzlich geöffnet bleibt.

30 Liegt der gemessene Wert von T_{mom} unterhalb eines oberen Grenzwertes der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} (z.B. 40°C), kann das Öffnungsventil 103 unmittelbar nach der dem Zeitraum t_{mess} wieder geschlossen werden.

Liegt der gemessene Wert von T_{mom} über dem oberen Grenzwert der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} , wird das Öffnungsventil 103 für die Zeit $t_{\text{kühl}}$ weiter geöffnet.

35 Eine Werte- oder Zuordnungstabelle der Messwerte von T_{mom} und $t_{\text{kühl}}$ können experimentell ermittelt werden. Dadurch ergibt sich eine zentrifugen- oder kühlmittelversorgungssystemsspezifische Kennlinie, die das Verhältnis zwischen T_{mom} und $t_{\text{kühl}}$ repräsentiert, so dass die Kühlmitteltemperaturregelung als eine Art Kennlinienregelung ausgebildet ist.

Alternativ dazu können der Steuerungsvorrichtung (105) die Messwerte der aktuellen Kühlmitteltemperatur, evtl. der Umgebungstemperatur und evtl. der Motorbelastung zugeführt werden. Die Steuerungsvorrichtung führt diese Messwerte einem geeigneten Algorithmus zu, welcher eine Kühlzeit $t_{\text{kühl}}$ ermittelt. Sollte sich nach mehreren
5 nachfolgenden Kühlzyklen die Kühlmitteltemperatur nicht in die gewünschte Richtung verändern, wird der Algorithmus durch die Steuerungsvorrichtung so lange angepasst, bis sich die Kühlmitteltemperatur auf den Wert T_{grenz} einstellt. Durch diese intelligente Anpassungsfähigkeit des Algorithmus kann sich die Regelung selbstständig besonders vorteilhaft auf wechselnde Betriebsbedingungen einstellen.

10

Alternativ kann ein PID-Regler verwendet werden, welcher entsprechend konfiguriert wird, so dass eine Grenzwertregelung mit einem parametrierbaren Regler realisiert ist, durch den $t_{\text{kühl}}$ je nach T_{mom} individuell berechnet wird.

15 Nach Ablauf von t_{mess} und $t_{\text{kühl}}$ bleibt das Öffnungsventil 103 für die Zykluspausenzeit t_{pause} geschlossen. Danach startet der Kühlzyklus erneut. Die Gesamtzykluszeit t_{zyklus} ergibt sich somit aus der Summe von t_{mess} , $t_{\text{kühl}}$ und t_{pause} .

Der jeweilige Zyklus stellt sich somit vereinfacht wie folgt dar und umfasst folgende
20 Teilschritte:

- c1) Öffnen des Öffnungsventils 103 der Kühlmittelversorgungssystem 100 zum Erzeugen eines Durchflusses an Kühlmittelmittel durch ein Kühlfluidsystem des Elektromotors 8;
- c2) Messen einer momentanen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit t_{mess} an der Kühlmittelableitung 102 durch die
25 Temperaturmesseinrichtung 104 sowie Übermittlung des gemessenen Wertes für T_{mom} an eine Regelungseinrichtung 105, wobei die vorgegebene Zeit t_{mess} in Abhängigkeit einer Länge der Kühlmittelableitung 102 zwischen dem Elektromotor (8) und der Temperaturmesseinrichtung 104 bestimmt ist;
- c3) Vergleichen des gemessenen Werts von T_{mom} mit einem oberen
30 Grenzwert der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} ;
- c4) Berechnen einer Zeit $t_{\text{kühl}}$ durch die Regelungseinrichtung 105 in Abhängigkeit von T_{mom} , in welcher das Öffnungsventil 103 zusätzlich geöffnet bleibt;
- c5) Schließen des Öffnungsventils 103 nach Ablauf von t_{mess} und $t_{\text{kühl}}$ für eine
35 Zykluspausenzeit t_{pause} ;
woraufhin die der Verfahrensschritte c1) bis c5) nach Ablauf von t_{pause} bis zum Beenden des Betriebs des Antriebsmotors der Zentrifuge „quasi endlos“ nach Art einer Programmschleife erneut durchlaufen werden.

Die Verfahrensschritte c1) bis c5) werden somit mit Hilfe der Regelungseinrichtung 105 immer wieder durchlaufen bzw. nach Art einer Schleife wiederholt, vorzugsweise so lange, bis der Betrieb des Antriebsmotors beendet wird. Dann wird das Programm abgebrochen.

5

Ziel der erfindungsgemäßen Kühlmitteltemperaturregelung ist es, die momentane Kühlmitteltemperatur T_{mom} möglichst konstant auf T_{grenz} (Herstellervorgabe) zu halten. Auf diese Weise wird der Elektromotor 8 bei maximal zulässiger Temperatur und geringstmöglichem Kühlmittelverbrauch betrieben, und zwar unabhängig von seiner

10

Belastung und der Temperatur des zulaufenden Kühlmittels.

Die Vorgaben des Elektromotorherstellers bezüglich des Volumenstroms des zufließenden Kühlmittels sind in der Regel statische Angaben für die Nennlast des Elektromotors 8. Beispielsweise wird ein Volumenstrom von 3 l/min bei einer maximalen

15

Temperatur des Kühlmittels von 40°C und einer Nennlast von 37 kW angegeben.

In der Praxis stellt sich ein solcher Betriebspunkt ohne eine Kühlmitteltemperaturregelung so gut wie nie ein. Entweder wird der Elektromotor 8 in Teillast betrieben und/oder die Zulufttemperatur des Kühlmittels ist niedriger als maximal zulässig.

20

Somit wird in der Regel dem Elektromotor 8 mehr Kühlmittel pro Zeit zugeführt als es die Betriebssituation des Elektromotors 8 erfordert. Durch die Erfindung wird dieser Mangel auf einfache Weise beseitigt.

25

Ein weiterer Vorteil dieser Mess- und Regelanordnung ist es, dass sie bei vorhandenen kühlmittelgeköhlten Elektromotoren leicht nachrüstbar ist, da dazu nur die Temperaturmesseinrichtung 104 an der Kühlmittelableitung 102 ergänzt werden muss. Ein Temperatursensor innerhalb des Elektromotors 8 (z.B. in der Kühlmittelkammer) ist nicht erforderlich. Außerdem ist als Öffnungsventil 103 nur ein einfaches Ventil mit zwei Schaltstellungen („Auf“ und „Zu“) erforderlich. Es wird deshalb kein Regelventil oder eine regelbare Irisblende und auch nicht mehrere Ventile und Leitungen, wie in

30

Lösungen nach dem Stand der Technik benötigt.

In Fig. 3 ist das Kühlmittelversorgungssystem 100 nach dem Prinzip eines geschlossenen Kühlmittelkreislaufs ausgebildet. Dadurch wird eine weitere Reduzierung des Kühlmittelverbrauchs erreicht. Dazu ist es vorgesehen, dass das Kühlmittel mit Hilfe einer Pumpe 106 im Kreislauf gepumpt und mit einem Wärmetauscher 107 gekühlt wird. Die erforderliche Kühlleistung wird dem Wärmetauscher 107 über einen Kälte-

35

kreislauf 108 zugeführt.

In einer weiteren Ausführungsvariante des Kühlmittelversorgungssystem 100 nach Fig. 4 wird das Kühlmittel einem Speichertank 109 entnommen und nach Durchströmung des Elektromotors und Aufnahme von Wärme in den Speichertank 109 zurückgepumpt. Über eine Wandung 110 des Speichertanks 109 wird die vom Kühlmittel aufgenommene Wärme vor allem durch Konvektion an die Umgebung des Speichertanks 109 wieder abgegeben. Die Wandung 110 des Speichertanks 109 kann dafür mit geeigneten Mitteln zur Verbesserung einer konvektiven Wärmeabfuhr, wie z.B. Kühlrippen ausgestattet sein. Sollte die Wärmekapazität des Kühlmittels in dem Speichertank 109 und die Wärmeabgabe über Konvektion nicht ausreichend sein, kann zu warmes Kühlmittel über eine erste Leitung 111 abgelassen werden und kaltes Kühlmittel über eine zweite Leitung 112 zugeführt werden.

Die folgenden Anwendungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung und Regelung der Kühlmitteltemperatur für den Separator 1 zeigen eine signifikante Kühlmittleinsparung mit einem kühlmittelgeköhlten Antriebsmotor - hier als Drehstrommotor ausgebildet - beispielsweise mit diesen Leistungsdaten:

$$P_{ab} = 37 \text{ kW}$$

$$P_{auf} = 40 \text{ kW}$$

Kühlmittelvolumenstrom: 3 l/min (Herstellervorgabe)

Maximale Kühlwassertemperatur: 40°C (Herstellervorgabe)

Die Parameter für die Kühlmittelregelung ergaben sich dabei wie folgt:

t_{mess} : 2 sec

$t_{kühl}$: 2 sec

t_{pause} : 6 sec

t_{zyklus} : 10 sec

Versuch 1: (Messung nach thermisch stabilem Betrieb)

Last: 35,9 kW

Zulauftemperatur Kühlmittel: 23,1°C

Ablauftemperatur Kühlmittel: 40,8°C

Kühlmittelvolumenstrom: 1,85 l/min

Temperaturerhöhung: 17,7K

Versuch 2: (Messung nach thermisch stabilem Betrieb)

Last: 26,3 kW

Zulauftemperatur Kühlmittel: 23,5°C

Ablauftemperatur Kühlmittel: 40,9°C
Durchflussstrom Kühlmittel: 1,73 l/min
Temperaturerhöhung: 17,4K

- 5 Es zeigt sich, dass der Kühlmittelbedarf vorteilhaft geringgehalten werden kann.

Bezugszeichen

	1	Separator
	2	Trommel
5	3	Haubenanordnung
	4	Antriebsspindel
	5	Oberes Lager
	6	Unteres Lager
	7	Lagergehäuse
10	8	Elektromotor
	9	Motorgehäuse
	10	Stator
	11	Läufer
	12	Maschinengestell
15	13	Öffnung
	14	Flansch
	15	Abschnitt
	16	Öffnung
	17	Dämpferelement
20	18	Stufung
	19	Stufung
	20	Schmiermittelversorgung
	100	Kühlmittelversorgungssystem
25	101	Kühlmittelzuleitung
	102	Kühlmittelableitung
	103	Öffnungsventil
	104	Temperaturmesseinrichtung
	105	Regelungseinrichtung
30	106	Pumpe
	107	Wärmetauscher
	108	Kältekreislauf
	109	Speichertank
	110	Wandung
35	111	erste Leitung
	112	zweite Leitung
	113	Motor-Kühlmitteldurchleitung
	D	Drehachse

Ansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Kühlmitteltemperatur eines Elektromotors einer Antriebsvorrichtung (8) eines Rotors einer Zentrifuge, vorzugsweise eines Separators (1) mit vertikaler Drehachse, insbesondere während eines Durchführens einer zentrifugalen Trennung einer Suspension in wenigstens zwei verschiedene Produktphasen; wobei der Rotor zumindest eine drehbare Trommel (2) aufweist, und wobei die Antriebsvorrichtung einen Elektromotor (8) aufweist, der direkt oder indirekt den Rotor dreht, und wobei die Antriebsvorrichtung ferner eine Einrichtung (100) zum Versorgen des Elektromotors mit einem Kühlmittel aufweist, welche eine Regelungseinrichtung (105) umfasst, **gekennzeichnet durch** zumindest folgende Schritte:
 - a) Bereitstellen der Zentrifuge mit der Antriebsvorrichtung;
 - b) Antreiben des Rotors mit dem Elektromotor, insbesondere während eines Durchführens der zentrifugalen Trennung einer Suspension in wenigstens zwei verschiedene Produktphasen und
 - c) geregeltes Kühlen des Elektromotors zumindest während des Schrittes b) für eine befristete Kühlphase in von Pausen unterbrochenen Kühlzyklen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge einer jeweiligen Kühlphase von der Regelungseinrichtung (105) unter Berücksichtigung eines oder mehrerer Messwerte ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge einer jeweiligen Kühlphase von der Regelungseinrichtung (105) unter Berücksichtigung eines oder mehrerer Temperaturmesswerte ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlzyklen des Schrittes c) folgende Teilschritte umfassen:
 - c1) Öffnen eines Öffnungsventils (103) des Kühlmittelversorgungssystem (100) zum Erzeugen eines Durchflusses an Kühlmittel durch ein Kühlfluidsystem des Elektromotors (8), welches zumindest eine Kühlmittelzuleitung (101) und eine Kühlmittelableitung (102) sowie eine Motor-Kühlmitteldurchleitung (113) aufweist;
 - c2) Messen einer momentanen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit t_{mess} an der Kühlmittelableitung (102) durch eine Temperaturmesseinrichtung (104) sowie Übermittlung des gemessenen Wertes der momentanen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} an eine Regelungseinrichtung (105), wobei die vorgegebene Zeit t_{mess} in Abhängigkeit einer Länge

der Kühlmittelableitung (102) zwischen dem Elektromotor (8) und der Temperaturmesseinrichtung (104) bestimmt ist;

c3) Vergleichen des gemessenen Werts der momentanen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} mit einem oberen Grenzwert der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} ;

5 c4) Berechnen einer Zeit $t_{\text{kühl}}$ durch die Regelungseinrichtung (105) in Abhängigkeit von der momentanen Temperatur des Kühlmittels T_{mom} , in welcher das Öffnungsventil (103) zusätzlich geöffnet bleibt;

c5) Schließen des Öffnungsventils (103) nach Ablauf von der vorgegebenen Zeit t_{mess} und der Zeit $t_{\text{kühl}}$ für eine Zykluspausenzeit t_{pause} ;

10 woraufhin die der Verfahrensschritte c1) bis c5) nach Ablauf von der Zykluspausenzeit t_{pause} bis zum Beenden des Betriebs des Elektromotors nach Art einer Programmschleife erneut durchlaufen werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schritt c5) das
15 Öffnungsventils (103) unmittelbar nach dem Zeitraum t_{mess} geschlossen wird, wenn die momentane Kühlmitteltemperatur T_{mom} unterhalb eines oberen vorgegebenen Grenzwertes der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} liegt.

20 6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Öffnungsventil (103) für eine weitere Zeit $t_{\text{kühl}}$ geöffnet bleibt, wenn die momentane Kühlmitteltemperatur T_{mom} oberhalb des oberen vorgegebenen Grenzwertes der Kühlmitteltemperatur T_{grenz} liegt.

25 7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Zuordnungstabelle der Messwerte von T_{mom} und $t_{\text{kühl}}$ experimentell ermittelt sind, wodurch sich eine Zentrifugen- oder Kühlmittelversorgungssystemsspezifische Kennlinie ergibt, die das Verhältnis zwischen T_{mom} und $t_{\text{kühl}}$ repräsentiert, so dass die Kühlmitteltemperaturregelung als eine Kennlinienregelung ausgebildet ist.

30 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Regelungseinrichtung (105) ein PID-Regler eingesetzt wird.

35 9. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regelungseinrichtung (105) im Schritt c) einer oder mehrere Messwerte der aktuellen Kühlmitteltemperatur T_{mom} , sowie vorzugsweise ergänzend einer oder mehrere Messwerte der Umgebungstemperatur und einer oder mehrere aktuelle Motorbelastungskennwerte zugeführt werden, woraufhin die Regelungseinrichtung (105) mit Hilfe dieser Messwerte nach einem Algo-

rithmus eine Kühlzeit $t_{\text{kühl}}$ ermittelt, wobei dann, wenn sich nach mehreren nachfolgenden Kühlzyklen die Kühlmitteltemperatur nicht in eine gewünschte Richtung verändert, der Algorithmus durch die Steuerungsvorrichtung so lange angepasst wird, bis sich die Kühlmitteltemperatur auf den Wert T_{grenz} einstellt.

5

10. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kühlmittelversorgungssystem (100) nach dem Prinzip eines geschlossenen Kühlmittelkreislaufs ausgebildet ist.
- 10 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kühlmittel mit Hilfe einer Pumpe (106) im Kreislauf gepumpt und mit einem Wärmetauscher (107) gekühlt wird und die erforderliche Kühlleistung dem Wärmetauscher (107) über einen Kältekreislauf (108) zugeführt wird.
- 15 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kühlmittel einem Speichertank (109) entnommen wird und nach Durchströmung des Elektromotors (8) und Aufnahme von Wärme in den Speichertank (109) zurück gepumpt wird.
- 20 13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass über eine Wandung (110) des Speichertanks (109) die vom Kühlmittel aufgenommene Wärme durch Konvektion an die Umgebung des Speichertanks (109) wieder abgegeben wird.
- 25 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu warmes Kühlmittel über eine erste Leitung (111) aus dem Speichertank (109) ablassbar ist und kaltes Kühlmittel über eine zweite Leitung (112) in den Speichertank (109) zuführbar ist.
- 30 15. Separator mit einem drehbaren Rotor und mit einer einen Elektromotor aufweisenden Antriebsvorrichtung (8) zum Drehen des Rotors, sowie mit Mitteln, die so angepasst sind, dass sie die Schritte des Verfahrens nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche ausführen.

35