

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 720 033 A1

(51) Int. Cl.: F26B 3/04 (2006.01)
F26B 21/04 (2006.01)
F26B 21/12 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 001065/2022

(22) Anmeldedatum: 13.09.2022

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.03.2024

(71) Anmelder:
AquAero GmbH,
c/o Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Klosterzelgstrasse 2 5210 Windisch (CH)

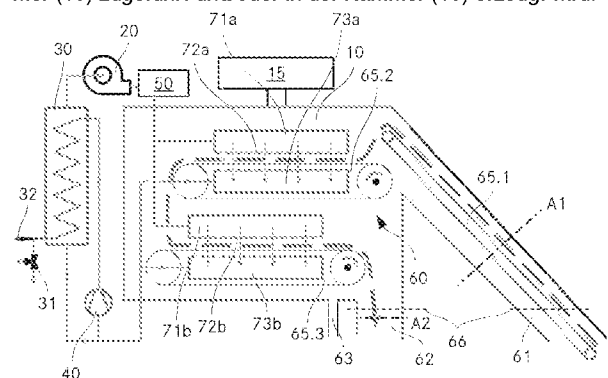
(72) Erfinder:
Christoph Müller, 5032 Aarau-Rohr (CH)
Thomas Lajos Manyoky, 4053 Basel (CH)

(74) Vertreter:
Keller Schneider Patent- und Markenanwälte AG (Bern),
Eigerstrasse 2 Postfach
3000 Bern 14 (CH)

(54) Verfahren zum Betreiben einer Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf.

(57) Eine Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf umfasst eine nach unten offene Kammer (10) mit einem Einlass (61) für das Trocknungsgut, einem Auslass (62) für getrocknetes Trocknungsgut, einem Einlass (71a, 71b) für überhitzten Dampf und einem Auslass (73a, 73b) für einen Brüden. Sie umfasst weiter ein Fördersystem (60) für das Einbringen des Trocknungsguts in die Kammer (10), den Transport des Trocknungsguts in der Kammer (10), während der Trocknung, und das Ausbringen des getrockneten Trocknungsguts aus der Kammer (10) sowie einen Brüdenkompressor (40) zum Verdichten eines ersten Anteils des aus der Kammer (10) rückgeführten Brüdens und einen Wärmetauscher (30) zum Übertragen von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem ein Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils kondensiert wird. Die Anlage wird derart betrieben, dass in einem oberen Bereich der Kammer (10) eine Dampfatmosfera gebildet ist, die auf in einem unteren Bereich der Kammer (10) befindlicher Umgebungsluft schwimmt, wobei zwischen dem oberen Bereich und dem unteren Bereich eine Übergangsschicht (66) ausgebildet ist. Eine Höhe der Übergangsschicht (66) wird in einem vorgegebenen Bereich gehalten, indem eine aktuelle Höhe bestimmt und in Abhängigkeit der bestimmten Höhe ein Volumenstrom des dem Wärmetauscher (30) zugeführten verdichteten ersten Anteils oder ein Volumenstrom eines Dampfgenerators (15) geregelt wird, wobei der Dampfgenerator (15)

derart angeordnet ist und betrieben wird, dass Dampf der Kammer (10) zugeführt und/oder in der Kammer (10) erzeugt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf und eine entsprechende Anlage.

Stand der Technik

[0002] Die industrielle Materialtrocknung verzehrt in industrialisierten Ländern zwischen 12 und 25 % des gesamtindustriellen Energiebedarfs, womit der Prozess der Trocknung zu den energieintensivsten zählt. Da Trocknung meist auf fossilen Energiequellen basiert, ist der CO₂-Ausstoss gigantisch hoch. Einer Senkung des zur Trocknung benötigten Energiebedarfs kommt deshalb im Hinblick auf die CO₂-Reduktion eine essenzielle Bedeutung zu.

[0003] Bei hinsichtlich des Energiebedarfs vorteilhaften Verfahren wird zum Trocknen anstelle von Heissluft überhitzter Dampf eingesetzt. In der US 5,711,086 (Heat-Win Limited) wurde dazu eine Vorrichtung vorgeschlagen, bei der feuchtes Material kontinuierlich durch eine Öffnung in eine Kammer, durch die Kammer hindurch und durch eine Öffnung aus der Kammer hinaus gefördert wird. In der Kammer herrscht eine Atmosphäre aus überhitztem Dampf, der aus der Feuchtigkeit des zu trocknenden Materials entsteht und/oder von aussen zugeführt wird. In den Öffnungen und in einem Entlüftungskanal bildet sich dabei eine Übergangsschicht zwischen der Dampfatmosphäre und der Umgebung, die ein Entweichen von Dampf aus der Kammer verhindern, gleichzeitig aber die Materialzu- und -abfuhr ermöglichen.

[0004] Das System ermöglicht also eine einfache Zu- und Abführung des Materials. Der überschüssige Dampf wird kondensiert. Durch Konstanthalten des Materialmassenstroms, der Verweilzeit, des Heissdampfmassenstroms und dessen Temperatur kann auf einfache Weise ein konstanter Trockensubstanzgehalt erreicht werden. Aufgrund der Kondensation des überschüssigen Dampfes und der Erstattung der entsprechend abgeführten Wärme mittels Neubeheizung resultiert aber ein Energieverlust.

[0005] Die WO 2012/140125 A1 (Epcon Evaporation Technology) beschreibt ein Verfahren mit einer geschlossenen Kammer, in der ein Mischsystem angeordnet ist, in dem das feuchte Material mit überhitztem Dampf kontaktiert wird. Der überschüssige Dampf wird mechanisch verdichtet und einem Wärmetauscher zugeführt, so dass eine Energierückgewinnung und damit eine höhere Effizienz möglich sind.

[0006] Die Prozesskontrolle ist aufgrund der geschlossenen Kammer ebenfalls gewährleistet. Allerdings ergeben sich hier Herausforderungen bei der Materialzu- und -abführung.

Darstellung der Erfindung

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein dem eingangs genannten technischen Gebiet zugehöriges Verfahren zum Betreiben einer Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf und eine entsprechende Anlage zu schaffen, welche eine hohe Energieeffizienz bei einfacher Materialzu- und -abführung ermöglichen.

[0008] Die Lösung der Aufgabe ist durch die Merkmale des Anspruchs 1 definiert. Gemäss der Erfindung wird zum Trocknen von Trocknungsgut mit überhitztem Dampf eine Anlage betrieben, die folgendes umfasst:

- a) eine nach unten offene Kammer mit einem Einlass für das Trocknungsgut, einem Auslass für getrocknetes Trocknungsgut, einem Einlass für überhitzten Dampf und einem Auslass für einen Brüden;
- b) ein Fördersystem für das Einbringen des Trocknungsguts in die Kammer, den Transport des Trocknungsguts in der Kammer, während der Trocknung, und das Ausbringen des getrockneten Trocknungsguts aus der Kammer;
- c) einen Brüdenkompressor zum Verdichten eines ersten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens;
- d) einen Wärmetauscher zum Übertragen von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem ein Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils kondensiert wird.

[0009] Diese Anlage wird derart betrieben, dass

- e) in einem oberen Bereich der Kammer eine Dampfatmosphäre gebildet ist, die auf in einem unteren Bereich der Kammer befindlicher Umgebungsluft schwimmt, wobei zwischen dem oberen Bereich und dem unteren Bereich eine Übergangsschicht (stratification layer) ausgebildet ist, und
- f) eine Höhe der Übergangsschicht in einem vorgegebenen Bereich gehalten wird, indem eine aktuelle Höhe bestimmt und in Abhängigkeit der bestimmten Höhe
 - f1) der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils geregelt wird; oder

- f2) ein Volumenstrom eines Dampfgenerators geregelt wird, wobei der Dampfgenerator derart angeordnet ist und betrieben wird, dass Dampf der Kammer zugeführt und/oder in der Kammer erzeugt wird.

[0010] Entsprechend umfasst eine erfindungsgemässe Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf:

- a) eine nach unten offene Kammer mit einem Einlass für das Trocknungsgut, einem Auslass für getrocknetes Trocknungsgut, einem Einlass für überhitzten Dampf und einem Auslass für einen Brüden;
- b) ein Fördersystem für das Einbringen des Trocknungsguts in die Kammer, den Transport des Trocknungsguts in der Kammer, während der Trocknung, und das Ausbringen des getrockneten Trocknungsguts aus der Kammer;
- c) einen Brüdenkompressor zum Verdichten eines ersten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens;
- d) einen Wärmetauscher zum Übertragen von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem ein Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils kondensiert wird; und
- e) eine Steuerung zum Erfassen und Verarbeiten von Messwerten und zum Generieren von Steuersignalen.

[0011] Dabei wird die Steuerung insbesondere derart betrieben, dass

- f) in einem oberen Bereich der Kammer eine Atmosphäre aus überhitztem Dampf gebildet ist, die auf in einem unteren Bereich der Kammer befindlicher Umgebungsluft schwimmt, wobei zwischen dem oberen Bereich und dem unteren Bereich eine Übergangsschicht ausgebildet ist, und
- g) eine Höhe der Übergangsschicht in einem vorgegebenen Bereich gehalten wird, indem eine aktuelle Höhe der Übergangsschicht bestimmt und in Abhängigkeit der bestimmten Höhe
 - g1) der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils geregelt wird; oder
 - g2) ein Volumenstrom eines Dampfgenerators geregelt wird, wobei der Dampfgenerator derart angeordnet ist und betrieben wird, dass Dampf der Kammer zugeführt und/oder in der Kammer erzeugt wird.

[0012] Beim Trocknungsgut handelt es sich insbesondere um Schüttgut, z. B. um Produkte oder Nebenprodukte der Lebensmittel- oder Futterindustrie, Brenn- oder Baustoffe, Grundsubstanzen für die chemische Industrie oder die Papierindustrie und Biomasse allgemein. Die Technologie ist auch im Zusammenhang mit der Trocknung von Textilien (inkl. Wäsche) einsetzbar. Grundsätzlich eignet sich das Verfahren am besten zur Trocknung von Materialien, die eine Trocknungstemperatur zwischen 100° und 200°C erfordern und dabei nicht zusätzliche organische Substanzen vergasen lassen.

[0013] Beim Dampf handelt es sich insbesondere um Wasserdampf, es sind aber auch andere Lösungsmittel einsetzbar, z. B. Ethanol.

[0014] Aufgrund der Abwesenheit von Sauerstoff während der Trocknung wird eine Oxidation des Trocknungsguts vermieden. So werden beispielsweise Fette in Lebensmitteln oder Tierfutter nicht ranzig. Zudem wird auch die Brand- und Explosionsgefahr minimiert.

[0015] Durch den Kreislaufprozess wird ein Aromaverlust minimiert. Geruchs- und Staubemissionen an die Umgebung unterbleiben. Weil die Temperatur durchwegs über 100 °C beträgt, wird das zu trocknende Material pasteurisiert oder gar sterilisiert.

[0016] Die Kammer ist nach oben geschlossen, während sie nach unten ganz oder teilweise geöffnet ist. Sie kann am unteren Ende eine oder mehrere Öffnungen aufweisen, die an der Hauptkammerbegrenzung oder an einem nach innen oder aussen weisenden, z. B. rohrartigen, Fortsatz angeordnet sind. Entsprechend kann das Hauptvolumen der Kammer ganz mit der Dampfatmosfera gefüllt sein, also gänzlich im oberen Bereich der Kammer liegen, und sich die Übergangsschicht im rohrartigen Fortsatz bzw. in mehreren rohrartigen Fortsätzen ausbilden. Die Öffnung bzw. die Öffnungen sind insbesondere so dimensioniert, dass zum einen ein Druckausgleich und ein gewisser Gasfluss zwischen der Kammer und der Umgebung möglich ist und dass zum anderen das Ein- und Ausschleusen des getrockneten Materials durch die Öffnung bzw. mindestens eine der Öffnungen ermöglicht ist. Insbesondere wird sämtliches getrocknetes Material letztlich durch eine oder mehrere solcher Öffnungen in die Kammer ein- und aus der Kammer ausgeschleust. Der Einlass und der Auslass für das Trocknungsgut werden also durch eine oder mehrere dieser Öffnungen gebildet. So kann Material in kostengünstiger Bauweise ein- und ausgeschleust werden, ohne dabei nennenswerte Mengen an Luft in den Dampf zu transportieren.

[0017] Die Dampfatmosfera enthält einen Restanteil an Luft, bevorzugt ist dieser geringer als 4 Vol.%.

[0018] Beim Brüden handelt es sich um Dampf, dessen Eigenschaften durch die Wechselwirkung mit dem Trocknungsgut und der Kammeratmosfera gegenüber dem eingebrachten überhitzten Dampf verändert wurden. In der Regel wird der Brüden eine höhere Sättigung und eine tiefere Temperatur aufweisen als der eingebrachte überhitzte Dampf. Der Brüden kann zudem weitere Bestandteile, insbesondere geringe Mengen an Trocknungsgut bzw. Staub, als Aerosol sowie weitere Dämpfe aus dem Material, z. B. Aromen, enthalten.

[0019] Das Fördersystem ermöglicht insbesondere einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage. Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfasst es einen Steigförderer für das Einbringen des Trocknungsguts durch eine Öffnung auf der Kammerunterseite, einen Bandförderer für den Transport des Trocknungsguts in der Kammer und eine gravitative Abführung durch dieselbe oder bevorzugt eine weitere Öffnung in der Kammerunterseite. Bei einer alternativen Ausführungsform umfasst das Fördersystem einen Rotor oder mehrere Rotoren, und die Anlage wird als Scheibentrockner betrieben. Weitere Fördersysteme sind im Rahmen der Erfindung einsetzbar, z. B. ein Fliessbett oder ein Schaufelförderer. Die Anlage ist auch beispielsweise zusammen mit einem Sprühtrocknungsturm einsetzbar. Das Fördersystem kann teilweise durch eine vorgeordnete Anlagekomponente gebildet sein, z. B. wenn das zu trocknende Material direkt von dieser Komponente, z. B. einem Extruder, in die Dampfatmosfera eingebracht oder über einen Dampfstrom hineingeblasen wird. Das Fördersystem kann einen oder mehrere Förderer (z. B. Bänder oder Gondeln) umfassen. Die Kammer kann - z. B. bei einem Paddelmischer - selbst Teil des Fördersystems sein. Das Einbringen, der Transport in der Kammer und/oder das Ausbringen können jeweils ganz oder teilweise aufgrund der Schwerkraft erfolgen. So kann z. B. das getrocknete Material durch eine untenliegende Öffnung herausfallen.

[0020] Im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens wird nun die Höhe der Übergangsschicht, also eine vertikale Position, in einem vorgegebenen Bereich gehalten. Dies entspricht einem Konstanthalten des Volumens der Dampfatmosfera in der Kammer.

[0021] Die Bestimmung der aktuellen Höhe kann direkt oder indirekt erfolgen. Als Steuergrösse für die Regelung des Volumenstroms des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils bzw. des Dampfgenerators kann anstelle der Höhe auch eine davon abhängige Grösse dienen, z. B. eine an einer bestimmten Stelle oder mehreren Stellen gemessene Temperatur und/oder der Gehalt irgendeines in der Luft enthaltenen Gases, z. B. O₂ oder N₂, an einer bestimmten Stelle oder an mehreren Stellen.

[0022] In einer ersten Variante wird der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils bevorzugt durch die Regelung des Volumenstroms des Brüdenkompressors eingestellt. Dies kann durch Einstellung der Drehzahl des Brüdenkompressors und/oder der Öffnung einer dem Brüdenkompressor vor- oder nachgeordneten regelbaren Blende erfolgen. Alternativ kann dem Brüdenkompressor ein regelbares Ventil nachgeordnet sein, wobei ein (anteilter) Volumenstrom des verdichteten Brüdens dem Wärmetauscher zugeführt wird, während der (allfällige) Rest in die Kammer rückgeführt wird. Diese alternative Variante ist beispielsweise im Zusammenhang mit Turboverdichtern einsetzbar, die idealerweise mit einem gewissen konstanten Volumenstrom betrieben werden. Grundsätzlich kann ein solches (Bypass-)Ventil auch nach dem Wärmetauscher angeordnet sein, wobei in diesem Fall der gesamte verdichtete erste Anteil durch den Wärmetauscher geführt, dort aber nur ein Teil kondensiert wird, während der verbleibende Rest durch das Bypass-Ventil in die Kammer rückgeführt wird. Auch eine Kombination der Varianten ist denkbar, wobei insbesondere die Regelung bis zu einem gewissen Mindest-Volumenstrom durch Regelung des Brüdenkompressors erfolgt, und das Regelventil nur dann zum Einsatz kommt, wenn der dem Wärmetauscher zugeführte verdichtete Anteil weiter reduziert werden muss.

[0023] Die Regelung erfolgt in der ersten Variante insbesondere derart, dass der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils erhöht wird, wenn ein Fallen der Übergangsschicht festgestellt wird, und dass der Volumenstrom reduziert wird, wenn ein Ansteigen der Übergangsschicht festgestellt wird. Dadurch wird letztlich der Volumenstrom des ersten Anteils zum Erhöhen bzw. Erniedrigen des ausgeschleusten Anteils eingestellt und damit das Volumen der Dampfatmosfera in der Kammer.

[0024] Die Regelung des Volumenstroms des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils erfolgt in der ersten Variante also bevorzugt gemäss einem der folgenden Verfahren (wobei diese Verfahren grundsätzlich auch miteinander kombinierbar sind):

1. Die Höhe der Übergangsschicht wird durch die Einstellung der Drehzahl des Brüdenkompressors geregelt. Durch Erhöhen der Drehzahl wird der zu verdichtende erste Anteil des aus der Kammer rückgeführten Brüdens erhöht, es wird also ein grösserer Anteil verdichtet und anschliessend als Volumenstrom dem Wärmetauscher zugeführt.
2. Die Höhe der Übergangsschicht wird durch einen der Kammer zurückgegebenen Volumenstrom aus dem ersten verdichteten Anteil geregelt. Dazu wird die Öffnung eines (Bypass-)Ventils nach dem Brüdenkompressor derart geregelt, dass die Höhe der Übergangsschicht im Soll-Bereich bleibt. Wird das (Bypass-)Ventil stärker geöffnet,

steigt der der Kammer zurückgegebene Volumenstrom, entsprechend steht ein geringerer Volumenstrom zur Kondensation im Wärmetauscher zur Verfügung.

3. Die Höhe der Übergangsschicht wird durch die Einstellung der Öffnung einer Blende vor oder nach dem Brüdenkompressor geregelt. So kann der zu verdichtende erste Anteil des aus der Kammer rückgeführten Brüdens bei gleichbleibender Drehzahl des Brüdenkompressors geregelt werden.

[0025] In einer zweiten Variante erfolgt die Regelung insbesondere derart, dass der Volumenstrom des Dampfgenerators reduziert wird, wenn ein Fallen der Übergangsschicht festgestellt wird, und dass der Volumenstrom des Dampfgenerators erhöht wird, wenn ein Ansteigen der Übergangsschicht festgestellt wird. Dadurch wird letztlich das Volumen der Dampf-atmosphäre in der Kammer unmittelbar beeinflusst.

[0026] Die Rückführung der Prozesswärme durch Verdichtung und Kondensation in einem Wärmetauscher ermöglicht eine höhere Effizienz, führt aber dazu, dass alle relevanten Verfahrensparameter voneinander abhängig werden, was zu einem nichtlinearen Verhalten des Systems führt. Dies stellt besonders beim Betreiben einer Anlage mit offener Kammer eine Herausforderung dar, da stets sichergestellt werden muss, dass die Übergangsschicht zwischen Dampf-atmosphäre und Umgebung stabil und in einem zulässigen Höhenbereich bleibt. Durch den erfindungsgemässen Betrieb wird es ermöglicht, auch bei einer offenen Kammer einen stabilen Prozess mit konstantem Trockensubstanzanteil zu erreichen.

[0027] Namentlich der Brüdenkompressor lässt sich mittels elektrischer Energie betreiben, was ohne Weiteres den Betrieb mit erneuerbarer Energie und damit verglichen mit herkömmlichen Trocknungsverfahren eine massive Reduktion des CO₂-Ausstosses ermöglicht.

[0028] Bevorzugt wird die aktuelle Höhe der Übergangsschicht anhand von Messwerten mindestens eines Temperatursensors bestimmt, der in einem dem vorgegebenen Bereich entsprechenden Höhenbereich angeordnet ist.

[0029] Der mindestens eine Temperatursensor ist bevorzugt in einem Rohr angeordnet, das sich vom Hauptvolumen der Kammer nach unten erstreckt, insbesondere in vertikaler Richtung, und die Kammer mit der Umgebung verbindet. Alternativ oder zusätzlich kann der Temperatursensor auch in der Öffnung zum Ausbringen des getrockneten Trocknungsguts angeordnet sein.

[0030] Der Temperatursensor bzw. die Temperatursensoren fungieren als Dampffüllstandssensoren und ermitteln letztlich die Höhe der Dampf-Luft-Übergangsschicht (bzw. einen unmittelbar damit verbundenen Parameter). In einer bevorzugten Ausführungsform wird von einem Fallen der Übergangsschicht ausgegangen, wenn ein bestimmter Temperatursensor einen Wert liefert, der einen ersten Schwellenwert überschreitet, während von einem Steigen der Übergangsschicht ausgegangen wird, wenn der bestimmte Temperatursensor einen Wert liefert, der einen zweiten Schwellenwert unterschreitet. Die Schwellenwerte sind insbesondere im Bereich von 90-100 °C gewählt und unterscheiden sich bevorzugt um 2-8 °C. Besonders bevorzugt beträgt der erste Schwellenwert ca. 98 °C, während der zweite Schwellenwert ca. 96 °C beträgt.

[0031] Temperatursensoren können im Bereich des Einlasses und/oder des Auslasses angeordnet sein. Eine Anordnung unterhalb der Kammer, insbesondere im Bereich des Auslasses, ist dabei bevorzugt, weil dort störende Einflüsse des getrockneten Materials auf die Temperaturmessung in der Regel kleiner sind als störende Einflüsse des zu trocknenden Materials beim Einlass. Die Einflüsse können weiter verringert werden, wenn die Temperatursensoren in einem vom Auslass gesonderten Rohr in der Nachbarschaft des Auslasses angeordnet sind. Es hat sich gezeigt, dass ein Rohr mit einem Durchmesser von 1.5-6 cm dazu ausreicht. Besonders bevorzugt sind Temperatursensoren sowohl beim Einlass als auch beim Auslass angeordnet. So sind eine bestmögliche Überwachung des Prozesses und eine frühzeitige Erkennung von Fehlfunktionen möglich.

[0032] Die Steuerung der Anlageparameter, insbesondere der Drehzahl des Brüdenkompressors, anhand der Temperaturmesswerte erfolgt mit Vorteil durch eine PID-Regelung, wobei die Temperaturmesswerte mehrerer auf unterschiedlicher Höhe angeordneter Temperatursensoren und damit insbesondere auch Temperaturgradienten herangezogen werden können. Die Steuerung kann in eine übliche Maschinensteuerung (SPS) integriert sein bzw. von dieser wahrgenommen werden.

[0033] Wird anstelle von Wasser ein anderes Lösungsmittel verwendet, ergeben sich andere Temperaturwerte. Einen Einfluss hat auch der herrschende Luftdruck, insbesondere aufgrund der Höhe über dem Meeresspiegel, was bei der Einstellung der Temperaturwerte zu beachten ist. Die obigen Angaben beziehen sich auf eine Durchführung des Trocknungsverfahrens auf Meereshöhe.

[0034] Anstelle des Temperatursensors bzw. der Temperatursensoren oder in Ergänzung dazu können andere Messwerte zur Bestimmung der Höhe der Übergangsschicht herangezogen werden, z. B. eine oder mehrere Lambda-Sonden zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts oder ein chemischer Sensor zur Bestimmung des Stickstoffgehalts oder des Gehalts eines anderen in der Luft enthaltenen Gases.

[0035] Mit Vorteil wird im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens eine Trocknungstemperatur in einem vorgegebenen Bereich gehalten, indem sie mit einem Sollwert verglichen und in Abhängigkeit des Vergleichs:

- g1) ein Volumenstrom eines Dampfgenerators geregelt wird, wobei der Dampfgenerator derart angeordnet und betreibbar ist, dass Dampf der Kammer zuführbar oder in der Kammer erzeugbar ist, vorausgesetzt die Höhe der Übergangsschicht wird durch Regelung des Volumenstroms des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils im vorgegebenen Bereich gehalten; oder
- g2) eine Heizleistung einer Heizeinrichtung geregelt wird; oder
- g3) der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils geregelt wird, vorausgesetzt die Höhe der Übergangsschicht wird durch Regelung des Volumenstroms des Dampfgenerators im vorgegebenen Bereich gehalten.

[0036] Es ergeben sich also folgende Varianten für die Regelung der Höhe der Übergangsschicht und der Trocknungstemperatur:

Variante	Regelung der Höhe der Übergangsschicht	Regelung der Trocknungstemperatur
1A	verdichteter Anteil zum Wärmetauscher	Dampfgenerator
1B	verdichteter Anteil zum Wärmetauscher	Heizeinrichtung
2A	Dampfgenerator	Heizeinrichtung
2B	Dampfgenerator	verdichteter Anteil zum Wärmetauscher

[0037] Bei der Variante 2A, gemäss welcher die Trocknungstemperatur durch die Heizleistung der Heizeinrichtung und die Übergangsschicht durch den Dampfgenerator geregelt wird, hat der Brüdenkompressor die Aufgabe, einen ersten Anteil Brüden aus der Kammer abzusaugen, die grösser ist als bei der Variante 1B, aber geringer als bei der Variante 2B. Der Brüdenkompressor sorgt damit dafür, dass im Wärmetauscher eine höhere Temperatur erzielt wird als bei der Variante 1 B und damit die Heizleistung der Heizeinrichtung verringert werden kann.

[0038] Bei der Trocknungstemperatur handelt es sich insbesondere um die Temperatur des in die Kammer eingebrachten überhitzten Dampfs oder - namentlich bei einer indirekten Trocknung - um die Temperatur einer Kontaktfläche mit dem Trocknungsgut. Der entsprechende Sollwert hängt insbesondere vom Material und dem angestrebten Trockensubstanzgehalt ab.

[0039] Der Trockensubstanzgehalt des verarbeiteten Trocknungsguts kann in der Kammer bestimmt werden, z. B. durch eine Temperaturmessung der Oberfläche des Trocknungsguts. Dazu sind Infrarot-Temperatursensoren gut geeignet. Anhand der gemessenen Oberflächentemperatur kann über eine zuvor empirisch ermittelte Kennlinie auf den Trockensubstanzanteil geschlossen werden. Entspricht dieser nicht den Vorgaben, werden Anlageparameter angepasst, insbesondere die Soll-Trocknungstemperatur des überhitzten Dampfs oder der Kontaktfläche bei indirekter Trocknung und/oder die Fördergeschwindigkeit des Fördersystems (und damit die Verweildauer des Trocknungsguts in der Kammer).

[0040] Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Anlage ein Leitungssystem zwischen dem Auslass für den Brüden und dem Einlass für den überhitzten Dampf, wobei im Leitungssystem folgendes angeordnet ist:

- g) der Brüdenkompressor;
- h) ein Kreislaufgebläse;
- i) der Wärmetauscher zum Erhitzen eines zweiten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens durch Übertragung von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils kondensiert wird; und
- j) eine Heizeinrichtung für den Dampf, angeordnet zwischen dem Wärmetauscher und dem Einlass für den überhitzten Dampf.

[0041] Die Wärmeübertragung im Wärmetauscher erfolgt insbesondere im Gegenstrom, wobei der verdichtete Dampfstrom von oben nach unten läuft.

[0042] Das Kreislaufgebläse kann vor oder nach dem Wärmetauscher angeordnet sein. Es dient dazu, den Dampfstrom im Kreislauf aufrecht zu erhalten, den erlittenen Druckabfall somit zu kompensieren. Es hat sich gezeigt, dass der benötigte Massenstrom ungefähr linear mit der Verdampfungsrate ansteigt. Der vom Kreislaufgebläse zu liefernde Massenstrom sollte mindestens das 60-fache des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten Massenanteils betragen. So ist sichergestellt, dass neben dem eigentlichen Verdampfen der Flüssigkeit aus dem zu trocknenden Material auch Wärmeverluste kompensiert und das zu trocknende Material mitsamt dem beinhalteten Wasser und daran befindliches Oberflächenwas-

ser vorgeheizt werden können. Der Massenstrom wird bevorzugt höher als 60:1 eingestellt, so dass eine Sicherheitsmarge gegeben ist, denn die zu erwartende Dissipation aufgrund des hohen Massenstroms geht in systeminterne Wärme über und trägt somit zur Erwärmung des Dampfs bei. Je nach konkreter Ausgestaltung der Anlage sind auch höhere Verhältnisse von 100:1, 150:1 oder noch höher einzustellen. Das Kreislaufgebläse unterstützt somit die Heizeinrichtung und kann diese in gewissen Ausführungsformen gar ersetzen.

[0043] Beim Brüdenkompressor handelt es sich um einen mechanischen Verdichter. Er dient zur Wärmerückgewinnung. Die Zuführung des Brüdens erfolgt über Teile des Leitungssystems oder direkt aus der Kammer. Der Brüdenkompressor kann mehrstufig ausgebildet sein, d. h. durch mehrere seriell angeordnete Kompressorstufen.

[0044] Der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten, durch den Brüdenkompressor verdichteten ersten Anteils des Brüdens ist insbesondere proportional zur Menge Dampf, die beim Trocknen des Materials frei wurde, derart dass sich im Kreislauf ein konstanter Massenstrom ergibt. Der erste Anteil ergibt sich aus dem Druckverhältnis und der Drehzahl des Brüdenkompressors gemäss dem Kompressorkennfeld. Durch die Regelung der Drehzahl lässt sich somit der erste Anteil einstellen. Der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils beträgt in der Regel zwischen 1:30 und 1:160, jeweils bezogen auf den Kreislaufdampf.

[0045] Im Wärmetauscher sind nebst der Kondensation des verdichteten Brüdens (und gegebenenfalls von Dampf aus dem Dampfgenerator) weitere Wärmequellen möglich, z. B. Abwärme oder dedizierte Heizeinrichtungen.

[0046] Die Heizeinrichtung für den Dampf ist vom Wärmetauscher unabhängig. Es handelt sich insbesondere um eine elektrische Widerstandsheizung. Alternativ kann auch z. B. ein Gasbrenner eingesetzt werden. Die Heizeinrichtung kann wie erwähnt in das Kreislaufgebläse integriert sein, insbesondere erfolgt die Erwärmung des Dampfs aufgrund von Dissipation im Gebläse. Ist sie separat vom Gebläse, so ist sie in Kreislaufrichtung nach dem Gebläse, bevorzugt unmittelbar vor dem Einlass in die Kammer, angeordnet. Mittels Regelung der Heizeinrichtung lässt sich letztlich der gewünschte Trockensubstanzanteil einstellen. Anstelle einer Widerstandsheizung (oder als Ergänzung dazu) kann in der Heizeinrichtung Abwärme genutzt werden, z. B. von Abgasen aus Gasmotoren, wobei diese über einen regelbaren Wärmetauscher (z. B. Gas-Gas-Wärmetauscher zur Nutzung von Heissgasabwärme) an den Dampf abgegeben wird.

[0047] Die Heizeinrichtung kann eine oder mehrere Heizeinheiten umfassen. Beispielsweise ist bei einem Bandrockner jedem Band eine gesonderte Heizeinheit zugeordnet. Entsprechend kann der Betrieb einzelner Heizeinheiten separat oder zentral geregelt werden.

[0048] Angestrebt wird letztlich ein konstanter Trockensubstanzgehalt. Bei einer Veränderung der Brüdenkompressionsrate zur Einstellung der Höhe der Übergangsschicht wird mittelfristig die Kondensationstemperatur im Kondensator verändert und damit auch die Verdampfungsrate im Material beeinflusst, was wiederum zu einer Änderung des Dampfstandes führt. Dieser Effekt kann durch die Regelung der Heizleistung ausgeglichen werden.

[0049] Obwohl durch die offenen Schleusen kaum Luft ins System gelangt, können Spuren Mengen nie komplett ausgeschlossen werden. Die kleinen Luftanteile im System konzentrieren sich im Kondensator auf und blockieren mit der Zeit wertvolle Wärmeübertragungsfläche. Um dies zu vermeiden, muss der Kondensator kontinuierlich entlüftet werden. Mit Vorteil weist der Wärmetauscher deshalb kondensatorseitig ein Entlüftungsventil auf, und eine Öffnung des Entlüftungsventils wird anhand eines bestimmten kondensatorseitigen Luftanteils geregelt. Der Luftanteil kann anhand des Kondensatordrucks und der Kondensationstemperatur, anhand der Abweichung von der Sättigungstemperatur oder direkt mittels einer Lambda-Sonde bestimmt werden.

[0050] Das Entlüftungsventil ist insbesondere als Nadelventil angeordnet, mit Vorteil oberhalb des Kondensatablasses. Letzterer ermöglicht den Ablass von überschüssigem kondensierten Wasser. Mit Vorteil wird er anhand der Messwerte eines oder mehrerer Füllstandssensoren geregelt, die z. B. durch kapazitive Endschalter gebildet sein können. Letztlich wird das Wasser aus dem Trocknungsgut zurückgewonnen und zwar meistens in sterilem und demineralisiertem Zustand.

[0051] Mit Vorteil wird der kondensatorseitige Luftanteil auf einen Wert von 0-50%, bevorzugt 5-20%, besonders bevorzugt 7-12%, geregelt. Wird ein unterer Sollwert unterschritten, ergibt sich ein substantieller Dampfverlust. Ist der Wert zu hoch, leidet die Effizienz der Brüdenkompression.

[0052] Da der in den Kondensator geführte Luftmassenstrom nicht konstant ist und stark vom Betriebszustand der Anlage abhängig ist, muss das Entlüftungsventil laufend nachjustiert werden. Damit kann der Luftanteil im Kondensator beim angestrebten Prozentsatz gehalten werden.

[0053] Mit Vorteil ist der Einlass für den überhitzten Dampf derart an der Kammer angeordnet, dass der überhitzte Dampf in einem gerichteten Dampfstrom einen Förderweg des Trocknungsguts in der Kammer schneidet. Bevorzugt erfolgt dies im Kreuz- oder Gegenstrom. Die Zu- und Abführung des überhitzten Dampfs und die Innengeometrie der Kammer sind insbesondere derart aufeinander abgestimmt, dass ein Kreislauf durch die Dampfatosphäre in der Kammer hindurch stattfindet.

[0054] Bei einer Ausführung der erfindungsgemässen Anlage als Bandrockner ist es vorteilhaft, wenn die Einströmung des überhitzten Dampfs und die Absaugung möglichst nahe am Material stattfinden.

[0055] Bevorzugt ist kammerseitig des Einlasses ein Element zur Homogenisierung des Dampfstroms angeordnet. Das Element bildet dabei insbesondere einen Strömungswiderstand, der den Dampfstrom beruhigt, d. h. insbesondere gross-

skalige Wirbel bzw. Sekundärströmungen beseitigt, und das Strömungsprofil vereinheitlicht. Der Widerstand ist so dimensioniert, dass eine ausreichende Harmonisierung des Dampfstroms erreicht wird, ein unnötiger Druckverlust mit damit einhergehender Erhöhung der erforderlichen Leistung des Kreislaufgebläses aber vermieden wird. Das Element kann in der Art eines Filters bzw. aus fein perforiertem Material ausgebildet sein. Geeignet sind z. B. Glasfasermatten. Vorgeordnet kann ein Diffusor angeordnet sein, der den Dampfstrom auf einen grösseren Querschnitt verteilt.

[0056] Durch ein solches Element lässt sich die Zirkulation des überhitzten Dampfs in der Kammer kontrollieren. Zudem hat es sich gezeigt, dass dadurch die Übergangsschicht stabilisiert wird.

[0057] Bei der Inbetriebnahme der Anlage muss zunächst die benötigte Dampfatosphäre im oberen Bereich der Kammer gebildet werden. Dazu umfasst die Anlage bevorzugt einen Dampfgenerator, und es werden insbesondere folgende Schritte ausgeführt:

- Erzeugen von Dampf in einem Dampfgenerator und Einleiten des erzeugten Dampfs in die Kammer, wobei in der Kammer befindliche Luft aus der Kammer nach unten verdrängt wird;

während des Betriebs des Dampfgenerators (nach Abschluss des Aufbaus der Dampfatosphäre bzw. des Verdrängens der Luft aus der Kammer), bis ein Betriebsdruck im Wärmetauscher erreicht ist:

- Aktivieren des Kreislaufgebläses,
- Aktivieren der Heizeinrichtung und/oder des Brüdenkompressors,
- Einbringen von Trocknungsgut mittels des Fördersystems und
- Aktivieren des Brüdenkompressors.

[0058] Das Einleiten des erzeugten Dampfs erfolgt insbesondere von oben, bevorzugt an der höchsten Stelle der Kammer und/oder des Leitungssystems. Bevorzugt wird die Kammer zuvor mit Luft auf 100 °C vorgeheizt. Die Luft wird durch den eingeleiteten Dampf nicht nur aus der Kammer, sondern insbesondere auch aus dem Leitungssystem verdrängt.

[0059] Während der letzten Phase, in der sowohl der Dampfgenerator als auch der Brüdenkompressor aktiv sind, wird in dem als Kondensator betriebenen Wärmetauscher der Betriebsdruck unter Erhaltung der Dampfatosphäre aufgebaut. Dieser beträgt insbesondere 1.5-4 barÜ, abhängig von weiteren Maschinen- und Verfahrensparametern. Wenn der Betriebsdruck erreicht wird, erfolgt die Ausschaltung des Dampfgenerators und damit der Übergang in den Nennbetrieb.

[0060] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Fördersystem eine in der Kammer angeordnete rotierende Hohlwelle mit mehreren Scheiben auf, die den Wärmetauscher bildet, wobei in einem Innern der Hohlwelle ein Hohlraum angeordnet ist, dem vom Brüdenkompressor der Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils des Brüdens zum Erwärmen der Scheiben zuführbar ist; der erste Anteil entspricht bei dieser Ausführungsform also der Gesamtheit des rückgeführten Brüdens, allerdings kann bei einer entsprechenden Ausführungsform davon ein Anteil durch ein dem Brüdenkompressor nachgeordnetes (Bypass-)Ventil in die Kammer zurückgegeben werden. Die Hohlwelle wirkt somit als Kondensator für den rückgeführten, verdichteten Brüden. Der Hohlraum kann sich bis in die Scheiben erstrecken oder sich auf den zentralen Teil der Hohlwelle beschränken.

[0061] Den Scheiben wird das zu trocknende flüssige Material durch einen Einlass zugeführt, getrocknet und schliesslich, nach der Trocknung, von den Scheiben entfernt, z. B. abgeschabt und durch einen Materialauslass aus der Kammer abgeführt. Die Trocknung folgt bei dieser Ausführungsform somit indirekt.

[0062] Bei der Ausführungsform mit der rotierenden Scheibenwelle wird bevorzugt Dampf aus einem Dampfgenerator der Kammer zugeführt. Diese Zuführung erfolgt (auch) während des Trocknungsprozesses, insbesondere in einer kontinuierlichen Weise, und dient nach Verdichtung des Dampfs durch den Brüdenkompressor und Zuführung in die Hohlwelle letztendlich der Trocknung des flüssigen Materials sowie der Beheizung der Kammer und dem Ausgleich von Verlusten.

[0063] Der Dampfgenerator ist derart angeordnet und wird derart betrieben, dass Dampf der Kammer zuführbar oder in der Kammer erzeugbar ist. Die Zuführung kann direkt in die Kammer oder indirekt, z. B. über ein Leitungssystem, erfolgen. Die Erzeugung von Dampf erfolgt beispielsweise durch Einspritzen von Wasser in eine Atmosphäre aus überhitztem Dampf. Entsprechend kann der Dampfgenerator auch unmittelbar in der Kammer angeordnet sein.

[0064] In einer Ausführungsform der Erfindung wird der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils wiederum anhand der aktuellen Höhe der Übergangsschicht geregelt. Der Volumenstrom des Dampfgenerators wird dabei bevorzugt anhand einer gemessenen Kondensationstemperatur im Hohlraum der Hohlwelle derart geregelt, dass diese Kondensationstemperatur in einem vorgegebenen Intervall bleibt. Dadurch wird letztlich der Trockensubstanzanteil des Trocknungsguts eingestellt. Dies entspricht der oben dargestellten Variante 1A.

[0065] In einem weiteren Regelungsverfahren, das ebenfalls für die Variante mit der rotierenden Scheibenwelle geeignet ist, erfolgt das Halten der Höhe der Übergangsschicht im vorgegebenen Bereich nicht durch die Regelung des Volumenstroms des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils, sondern durch die Regelung des Volu-

menstroms des Dampfgenerators. Der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils wird bei diesem alternativen Verfahren insbesondere anhand der gemessenen Kondensationstemperatur im Hohlraum derart geregelt, dass diese Kondensationstemperatur in einem vorgegebenen Bereich bleibt. Dies entspricht der oben dargestellten Variante 2B.

[0066] Bei allen Ausführungsformen der Erfindung kann ein in der Anlage angeordneter Dampfgenerator durch Abwärme betrieben werden. Dabei kann insbesondere Kondensat aus dem Wärmetauscher als Speisewasser dienen. Reicht das Kondensat nicht zur Speisung aus, kann eine weitere Wasserzuführung, z. B. aus einem Tank, vorgesehen sein.

[0067] In Anlagen mit Dampfkreislauf kann Dampf aus einem solchen Dampfgenerator in den Kreislauf eingeführt werden, so dass der dem Wärmetauscher zugeführte verdichtete erste Anteil erhöht werden kann. Dadurch ergibt sich eine höhere Kondensationstemperatur und damit eine erhöhte Wärmemenge, die über den Wärmetauscher an den Kreislaufstrom abgegeben wird. Entsprechend kann die Leistung der Heizeinrichtung reduziert werden, was zu einer erhöhten Prozesseffizienz führen kann.

[0068] Aus der nachfolgenden Detailbeschreibung und der Gesamtheit der Patentansprüche ergeben sich weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Merkmalskombinationen der Erfindung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0069] Die zur Erläuterung des Ausführungsbeispiels verwendeten Zeichnungen zeigen:

- | | |
|------------|--|
| Fig. 1A, B | Schematische Blockdiagramme einer erfindungsgemässen Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Wasserdampf gemäss einer ersten Ausführungsform bzw. einer zweiten Ausführungsform; |
| Fig. 2 | eine schematische Schnittansicht der Anlage gemäss der ersten Ausführungsform; |
| Fig. 3 | eine schematische Schnittansicht der Anlage gemäss einer dritten Ausführungsform; |
| Fig. 4A, B | schematische Schnittansichten einer Trocknungskammer einer erfindungsgemässen Anlage gemäss einer vierten Ausführungsform; |
| Fig. 5A, B | schematische Schnittansichten einer Trocknungskammer einer erfindungsgemässen Anlage gemäss einer fünften Ausführungsform. |
| Fig. 6 | eine Darstellung der Stellglieder und Regelgrössen der erfindungsgemässen Anlage; |
| Fig. 7 | ein Blockdiagramm der Sensorik der erfindungsgemässen Anlage gemäss der ersten Ausführungsform; |
| Fig. 8 | Verläufe der gemessenen Temperatur in drei Höhen in einem vertikalen Rohr neben dem Auslass; und |
| Fig. 9 | Verläufe der Temperatur und des Luftanteils bei der Inbetriebnahme der erfindungsgemässen Anlage; |

[0070] Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0071] Die Figuren 1A, B sind schematische Blockdiagramme einer erfindungsgemässen Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Wasserdampf gemäss einer ersten Ausführungsform bzw. einer zweiten Ausführungsform. Die Figur 2 zeigt eine schematische Schnittansicht der Anlage gemäss der ersten Ausführungsform. Die erste und die zweite Ausführungsform unterscheiden sich in der Positionierung des Kreislaufgebläses im Dampfkreislauf. Zudem umfasst die zweite Ausführungsform einen weiteren Dampfgenerator, der mit Abwärme betreibbar ist. Es ist zu beachten, dass der Einsatz eines solchen Dampfgenerators auch bei einer Positionierung des Kreislaufgebläses wie in der ersten Ausführungsform möglich ist. Ansonsten gelten alle folgenden Ausführungen sowohl für die erste als auch für die zweite Ausführungsform.

[0072] Die Anlage umfasst eine Kammer 10, in die mittels eines Fördersystems 60 feuchtes Material 1 eingebracht und getrocknetes Material 2 ausgelassen werden kann. Bei der dargestellten Anlage beträgt der Massenstrom des feuchten Materials 1 (Trockensubstanzanteil 50%, Temperatur 50-70 °C) 36 kg/h. Die Kammer 10 ist nach oben und seitlich geschlossen und nach unten offen; in den dargestellten Ausführungsbeispielen umfasst sie entsprechend

einen Einlass 61, der als schräg nach oben zu einem oberen Bereich einer Seitenwand der Kammer 10 verlaufendes Rohr mit einem darin angeordneten, als Steigförderer wirkenden, Becherförderer 65.1 des Fördersystems 60 ausgebildet ist; der Querschnitt A1 senkrecht zur Längsachse des Rohrs beträgt ca. 0.10 m^2 ;

- einen Auslass 62, der als Öffnung an der Unterseite der Kammer 10 ausgebildet ist, durch diesen wird das getrocknete Material 2 unter Wirkung der Schwerkraft abgelassen; der Querschnitt A2 der Öffnung beträgt ca. 0.02 m^2 ;
- ein nach unten offenes Messrohr 63 (vgl. Fig. 2), das im Bereich des Auslasses 62 angeordnet ist und mehrere Temperatursensoren enthält.

[0073] Der Becherförderer 65.1 umfasst Schalen zur Aufnahme des zu trocknenden Materials, die perforiert sind, damit beim Übergang in die Kammer 10 Luft nicht nach oben mittransportiert wird.

[0074] Die Kammer 10 ist im Betrieb mit Wasserdampf gefüllt, der über der Umgebungsluft schwimmt.

[0075] In die Oberseite der Kammer 10 mündet eine Zuleitung eines Dampfgenerators 15, so dass bei Bedarf - insbesondere bei der Inbetriebnahme wie später beschrieben - der Kammer 10 unmittelbar Dampf zugeführt werden kann. Ebenfalls an der Oberseite der Kammer 10 können Dampfablassventile angeordnet sein, um überschüssigen Dampf aus der Kammer 10 abzulassen (nicht dargestellt).

[0076] Der Becherförderer 65.1 führt das feuchte Material 1 von unten her aus der Umgebungsluft langsam, mit einer Geschwindigkeit von 10-30 mm/s, ohne Mitführen von Luft in die Dampf-atmosphäre ein.

[0077] In der Kammer 10 sind zwei horizontale, Bandförderer 65.2, 65.3 derart angeordnet, dass der erste dieser weiteren Bandförderer 65.2 das feuchte Material vom Becherförderer 65.1 empfängt, durch eine erste Trocknungsstufe befördert und an den zweiten der Bandförderer 65.3 abgibt, der das Material durch eine zweite Trocknungsstufe befördert. Die vom Dampf durchströmte Fläche im Bereich der Bandförderer 65.2, 65.3 beträgt je ca. 0.45 m^2 . Vom zweiten Bandförderer 65.3 fällt das Material durch den Auslass 62 aus der Kammer 10 hinaus, durch die Dampf-Luft-Übergangsschicht hindurch.

[0078] Die Verweilzeit des Materials in der Kammer 10 wird durch die Fördergeschwindigkeit des Fördersystems 60 eingestellt. Bei der dargestellten Anlage beträgt sie typischerweise ca. 20-30 min.

[0079] An die Kammer 10 ist ein geschlossener Kreislauf-Dampfkanal angekoppelt. Der Kreislauf wird durch ein Kreislaufgebläse 20 angetrieben. Bei der dargestellten Anlage beträgt der Volumenstrom im Kreislauf $2'150 \text{ m}^3/\text{h}$.

[0080] Der aufbereitete, überhitzte Dampf wird beim Eintritt in die Kammer in zwei Teilströme aufgeteilt. Jeder der Teilströme passiert zunächst einen Diffusor, in welchem er auf einen grösseren Querschnitt verteilt wird, und dann ein Filterelement 72a, 72b. Diese sind im dargestellten Ausführungsbeispiel als biaxial verwebte Glasfasermatten mit einem Flächengewicht von 610 g/m^2 ausgebildet. Es ergibt sich ein Druckverlustbeiwert ζ von 400 bei einer Dampf-Strömungsgeschwindigkeit von 1.3 m/s und ein Wert für ζ von 200 bei einer Dampf-Strömungsgeschwindigkeit von 7 m/s oder mehr.

[0081] Sie dienen zur Homogenisierung des Dampfstroms. Anschliessend werden die Dampfströme durch einen ersten Dampfeinlass 71a benachbart zum ersten Bandförderer 65.2 und durch einen zweiten Dampfeinlass 71b benachbart zum zweiten Bandförderer 65.3 geteilt abgegeben. Bei der dargestellten Anlage beträgt der Verdampfungsmassenstrom ca. 16 kg/h (entsprechend $26.7 \text{ m}^3/\text{h}$ Dampf). Das Dampf-volumen in der Dampfkammer beträgt 0.85 m^3 , wobei der Luftanteil tiefer ist als 4%.

[0082] Die Dampfströme kreuzen die Transportflächen der Bandförderer 65.2, 65.3 und werden durch jeweils einen Dampfauslass 73a, 73b auf der Gegenseite wieder aus der Kammer 10 abgesaugt. Der Dampf führt dem zu trocknenden Material Wärme zu, wodurch Wasser verdampft. Der Trockensubstanzanteil des Materials wird dabei durch eine Analyse des Materials nach Austritt in die Umgebungsluft bestimmt, auf dessen Basis die Dampftemperatur und die Verweilzeit nachjustiert werden. Alternativ kann der Trockensubstanzanteil auch durch eine (optische) Temperaturmessung der Materialoberfläche im Dampf überprüft werden, wobei entlang des Förderwegs in der Kammer mehrere entsprechende Sensoren angeordnet sein können, um den Trocknungsvorgang zu überwachen.

[0083] Zur Wärmeeinführung in den Kreislaufdampfkanal beinhaltet dieser einen Wärmetauscher 30 und nachfolgend eine Heizeinrichtung 50. Letztere umfasst mit Vorteil eine erste Heizeinheit 51a für denjenigen Dampfanteil, der dem ersten Dampfeinlass 71a zugeführt wird und eine unabhängig davon regelbare zweite Heizeinheit 51b für denjenigen Dampfanteil, der dem zweiten Dampfeinlass 71b zugeführt wird.

[0084] Beim Wärmetauscher 30 handelt es sich um einen Lamellenwärmetauscher. Er weist eine äussere Wärmetauscherfläche von ca. 95 m^2 auf sowie eine innere Wärmetauscherfläche von ca. 2.3 m^2 . Dem Wärmetauscher 30 kann ein Filter vorgeordnet sein, um dessen Verschmutzung durch mitgeführte Materialanteile zu vermeiden. Der Wärmetauscher 30 arbeitet inwendig als Kondensator, indem ein Brüdenkompressor 40 einen Teil des aus der Kammer 10 abgesaugten Dampf verdichtet und dem Kondensator zuführt, wo er unter erhöhtem Druck, typischerweise 2.5-4 barA, kondensiert und dabei die Verdampfungsenthalpie über den Wärmetauscher 30 an den Kreislaufdampfstrom übergibt. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Brüdenkompressor 40 eine installierte Leistung von 3.7 kW auf. Im Betrieb beträgt die Leistung üblicherweise ca. 1.1 kW.

[0085] Die nachfolgende Heizeinrichtung 50 überhitzt den Kreislauf-Dampfstrom weiter auf die notwendige Trocknungstemperatur.

[0086] Zur Ausschleusung des Wassers weist der Kondensator des Wärmetauschers 30 ein Kondensatablassventil 31 auf, das je nach Wasserstand automatisch geöffnet wird. Dazu wird der Wasserstand mit einem oder mehreren kapazitiven Füllstandssensoren überwacht und das Ventil für einen vorgegebenen Zeitraum geöffnet, wenn der Wasserstand ein gewisses Sollniveau überschreitet. Werden zwei Wasserstandssensoren eingesetzt, kann der obere Sensor dazu dienen, den Entleerungsvorgang einzuleiten, während das vorgegebene Zeitintervall dann verkürzt wird, wenn während des Entleerens der untere Wasserstandssensor anspricht. So wird sichergestellt, dass im Höhenbereich zwischen dem unteren Sensor und dem Ventil stets eine Kondensatsäule verbleibt, so dass das Dampf-Luftgemisch nicht direkt durch das Ventil entweichen kann. Bei der dargestellten Anlage beträgt der Massestrom des Kondensats typischerweise ca. 7.5 kg/h (entsprechend 13.6 m³/h Dampf).

[0087] Zudem ist über dem Wasserauslass ein Luftablassventil 32 angebracht, durch das nichtkondensierbare Gase abgelassen werden. Der Anteil dieser Gase im Dampf wird durch Temperatur- und Drucksensoren am Kondensatorausgang ermittelt.

[0088] Im Rahmen der zweiten Ausführungsform wird das Kondensat aus dem Wärmetauscher 30 einem Dampferzeuger 17 zugeführt. Diesem wird Abwärme (z. B. mit einer Temperatur von ca. 170 °C) zugeführt, um das Kondensat zu verdampfen. Der erzeugte Dampf wird dann dem Dampfkreislauf, nach dem Kreislaufgebläse 20 und vor der Verzweigung der Zuleitungen zum Wärmetauscher 30 und zum Brüdenkompressor 40, zugeführt.

[0089] Die Figur 3 zeigt eine schematische Schnittansicht der Anlage gemäß einer dritten Ausführungsform. Die Anlage gemäß der dritten Ausführungsform dient der indirekten Trocknung. Sie umfasst eine mit Dampf befüllte, nach oben geschlossene und nach unten teilweise offene Kammer 110. Das Fördersystem 160 in der Kammer 110 weist eine rotierende Hohlwelle 167 mit mehreren Scheiben 168 auf, die hohl ist und sowohl zur Förderung des Materials als auch als Wärmetauscher fungiert, also im Innern als Kondensator wirkt. Die Anlage weist weiter einen Brüdenkompressor 40, einen Dampfgenerator 115 und einen Einlass 161 für zu trocknendes flüssiges Material auf.

[0090] Durch den Einlass 161 wird der Aussenseite der Hohlwelle 167 mit den Scheiben 168 das zu trocknende flüssige Material zugeführt. Dem Brüdenkompressor 40 wird Brüden aus der Kammer 110 zugeführt. Dazu saugt der Brüdenkompressor 40 die Brüden aus der Kammer und speist nach der Komprimierung zumindest einen Teil in den hohlen Scheibenkondensator. Dort kondensiert der verdichtete Dampf und beheizt so die Hohlwelle 167 mit den Scheiben 168, wodurch das Material getrocknet wird. Der Trockensubstanzanteil des Trocknungsgutes wird dabei über die Kondensationstemperatur eingestellt. Der Luftanteil in der Hohlwelle 167, die als Kondensator wirkt, wird durch ein Ablassventil auf einen bestimmten Anteil geregelt. Das getrocknete Material wird durch einen auf der Hohlwelle 167 schleifenden Schaber von den Scheiben 168 abgeschabt und durch einen Auslass 162 an der Unterseite der Kammer 110 abgeführt. Zur steten Beheizung der Anlage sowie zum Ausgleichen von Verlusten wird kontinuierlich Dampf aus dem Dampfgenerator 115 bezogen. Ein Dampfgebläse wird bei der Anlage gemäß der dritten Ausführungsform nicht benötigt.

[0091] Die Anlage gemäß der dritten Ausführungsform kann auf zwei grundlegende Arten geregelt werden:

- Gemäss einer ersten Methode wird der Volumenstrom des Dampfgenerators 115 durch Messung der Kondensationstemperatur der Hohlwelle derart geregelt, dass diese Temperatur in einem vorgegebenen Intervall bleibt. Der Volumenstrom des dem Scheibenkondensator zugeführten verdichteten Anteils wird auf Basis eines Temperatursensors im Bereich der Dampf-Luft-Trennschicht derart geregelt, dass diese Temperatur in einem vorgegebenen Bereich bleibt, womit die Übergangsschicht in einer vorgegebenen Höhe bleibt.
- Gemäss einer zweiten Methode wird der Volumenstrom des dem Scheibenkondensator zugeführten verdichteten Anteils durch Messung der Kondensationstemperatur der Hohlwelle derart geregelt, dass diese Temperatur in einem vorgegebenen Intervall bleibt. Der Volumenstrom des Dampfgenerators 115 wird auf Basis eines Temperatursensors im Bereich der Dampf-Luft-Trennschicht derart geregelt, dass diese Temperatur in einem vorgegebenen Bereich bleibt, womit die Übergangsschicht in einer vorgegebenen Höhe bleibt.

[0092] Die Figuren 4A und 4B sind schematische Schnittansichten einer Trocknungskammer einer erfindungsgemässen Anlage gemäß einer vierten Ausführungsform sowie der entsprechenden Zu- und Abführung, wobei ein Steigförderer, der analog zu demjenigen gemäß den ersten drei Ausführungsformen ausgebildet ist und zum Einschleusen des zu trocknenden Materials in die Dampfatmosfera der Kammer dient, nicht in den Figuren dargestellt ist. Die Figur 4A zeigt eine Ansicht in einer vertikalen Ebene senkrecht zur Drehachse der Paddel, die Figur 4B zeigt eine Ansicht in einer vertikalen Ebene, die durch diese Drehachse verläuft. Die weiteren Komponenten der Anlage, insbesondere zur Dampf-Zu- und -Abführung sowie -Aufbereitung, zur Materialzuführung, zur Sensorik und Steuerung, entsprechen im Wesentlichen denjenigen von einer der ersten drei Ausführungsformen.

[0093] Die einen Förderkanal bildende Kammer 210 weist eine im Wesentlichen kreiszylindrische Form auf. Die Paddel 267.1, 267.2 sind um die Längsachse der Kammer 210 drehbar gelagert und weisen einen konstanten Abstand zur Kammerwand auf. Dieser ist in Abhängigkeit vom Fördermaterial derart klein zu wählen, dass ein Einklemmen des Materials

vermieden wird. Benachbart zu den Paddeln 267.1, 267.2 mit geringem Wandabstand sind Paddel 267.3, 267.4, 267.5 mit grösserem Wandabstand montiert, wobei der gegenseitige axiale Abstand der Paddel 267.1...5 immer gleich ist. Auch hier ist das Spaltmass in Abhängigkeit des Fördermaterials so gross zu wählen, dass gröbere Stücke nicht eingeklemmt werden können, jedoch der Materialtransport begünstigt wird. Die Paddel 267.1...5 haben jeweils axial einen Anstellwinkel in Förderrichtung von z. B. 30°. Es kann auch eine andere Anzahl Paddel eingesetzt werden.

[0094] In die Kammer 210 münden an einem Ende auf der Oberseite zwei vertikale Kanäle, einer dient als Einlass 261 für zu trocknendes Material und der andere als Auslass 273 zur Dampfabfuhr. Am anderen Ende der Kammer 210 ist im oberen Bereich ein seitlicher Auslass 262 zum Abführen des getrockneten Materials angeordnet. Die Höhe der Unterkante des Auslasses 262 und damit die Füllhöhe des Förderkanals lässt sich durch das vertikale Verstellen eines Wehres 211 einstellen. Angestrebt wird ein Füllgrad von 2/3 oder mehr.

[0095] Die Paddel 267.1...5 rotieren langsam, mit ca. 20-30 Umdrehungen pro Minute. Sie können in beiden Richtungen rotieren, wobei die Hauptdrehrichtung (zur Förderung des Materials in Richtung des Materialauslasses) so zeigt, dass sich die Paddel 267.1...5 beim Dampfeintritt nach unten bewegen.

[0096] Durch den Auslass 262 fällt das getrocknete Material in einen Förderkanal mit einer Spirale 268 zum kontrollierten Rückstau und zur kontrollierten Abfuhr des Materials. Sobald das Material die Spirale 268 passiert hat, fällt es in einen vertikalen Abfuhrkanal, in dem die Übergangsschicht 266 zwischen Umgebung und Dampfatmosfera verläuft. Der kontrollierte Rückstau stellt sicher, dass die Übergangsschicht 266 stabil ist.

[0097] Dampf wird von oben her aus dem Dampfkreislauf durch entsprechende Einlässe 271 zugeführt und im unteren Bereich der Kammer 210 verteilt über die Länge des Förderkanals seitlich/horizontal über Einlässe 274.1...3 in den Mischer/Fördertrug eingeleitet. Dabei wird der Strömungswiderstand des darauf liegenden Materials genutzt, um eine gleichförmige Anströmung zu generieren, womit ein möglichst homogener Trocknungsprozess erzeugt werden soll. Gleichzeitig wird durch diese Bauweise der Dampfzuführung verhindert, dass Material in den Dampfkreislauf zurückfällt.

[0098] Die Dampfeinströmung wird dabei so eingestellt, dass sich an den axialen Positionen der Paddel 267.1, 267.2 mit kleinem Spaltmass keine Einströmungsöffnung befindet. Die Lücke ist jeweils so breit wie die Paddelspitze. An den Stellen ohne oder mit verkürztem Paddel 267.3...5 mit grossem Spaltmass, wird der Dampf über eine Einströmungsöffnung in die Kammer 211 geleitet.

[0099] Die seitlichen Öffnungen können unterschiedlich gross sein. Je nach geforderter Dampfverteilung entlang der Mischerachse, werden sie umso kleiner je näher sie am Materialeintritt bzw. Dampfaustritt liegen. (Ansonsten würde der Dampf den Weg des geringsten Strömungswiderstandes wählen, womit ein Grossteil des Mixers nicht bzw. kaum durchströmt würde.)

[0100] Die Dampftemperatur der seitlichen Einströmungskanäle muss nicht uniform sein, sondern nimmt optimalerweise entlang des Förderkanals in Förderrichtung zu. Je trockener das Material gegen Ende des Prozesses wird, umso heisser der eingeleitete Dampf.

[0101] Der seitlich einströmende Dampf durchströmt das aufgelockerte Material vorerst annähernd quer und danach im Gegenstrom zur Materialflussrichtung. Schliesslich wird der Dampf neben dem Einlass 261 für das Material durch den Auslass 273 nach oben abgesaugt, wodurch keine Partikel mitgerissen werden sollen.

[0102] Die Figuren 5A und 5B sind schematische Schnittdarstellungen einer Trocknungskammer einer erfindungsgemässen Anlage gemäss einer fünften Ausführungsform sowie der entsprechenden Zu- und Abfuhr. Die Figur 5A zeigt eine Ansicht in einer vertikalen Ebene senkrecht zur Drehachse der Spirale, die Figur 5B zeigt eine Ansicht in einer vertikalen Ebene, die durch diese Drehachse verläuft. Die weiteren Komponenten der Anlage, insbesondere zur Dampf-Zu- und -Abfuhr sowie -Aufbereitung, zur Materialzuführung, zur Sensorik und Steuerung, entsprechen im Wesentlichen denjenigen von einer der ersten drei Ausführungsformen.

[0103] Die Trocknungskammer gemäss der fünften Ausführungsform weist viele Ähnlichkeiten mit derjenigen der vierten Ausführungsform auf. Der Hauptunterschied besteht darin, dass anstelle von Paddeln eine Spirale als Misch- und Förderelement in der Kammer eingesetzt wird. Die einen Förderkanal bildende Kammer 310 weist eine im Wesentlichen kreiszylindrische Form auf. Die Spirale 367 ist um die Längsachse der Kammer 310 drehbar gelagert, die einzelnen Windungen weisen einen geringen Abstand zur Kammerwand auf.

[0104] In die Kammer 310 münden an einem Ende auf der Oberseite zwei vertikale Kanäle, einer dient als Einlass 361 für zu trocknendes Material und der andere als Auslass 373 zur Dampfabfuhr. Am anderen Ende der Kammer 310 ist im oberen Bereich ein seitlicher Auslass 362 zum Abführen des getrockneten Materials angeordnet. Die Höhe der Unterkante des Auslasses 362 und damit die Füllhöhe des Förderkanals lässt sich durch das vertikale Verstellen eines Wehres 311 einstellen. Angestrebt wird ein Füllgrad von 2/3 oder mehr.

[0105] Die Spirale 367 rotiert langsam, mit ca. 20-30 Umdrehungen pro Minute. Sie kann in beiden Richtungen rotieren, wobei die Hauptdrehrichtung (zur Förderung des Materials in Richtung des Materialauslasses) so zeigt, dass sich die Windungen der Spirale 367 beim Dampfeintritt nach unten bewegen.

[0106] Durch den Auslass 362 fällt das getrocknete Material in einen Förderkanal mit einer Spirale bzw. einer Schnecke 368 zum kontrollierten Rückstau und zur kontrollierten Abfuhr des Materials. Sobald das Material die Spirale 368 passiert

hat, fällt es in einen vertikalen Abfuhrkanal, in dem die Übergangsschicht 366 zwischen Umgebung und Dampfatosphäre verläuft. Der kontrollierte Rückstau stellt sicher, dass die Übergangsschicht 366 stabil ist.

[0107] Dampf wird von oben her aus dem Dampfkreislauf durch entsprechende Einlässe 371 zugeführt und im unteren Bereich der Kammer 310 verteilt über die Länge des Förderkanals seitlich/horizontal aus dem Förderkanal über einen Einlass 374 in den Mischer/Fördertrog eingeleitet. Dabei wird der Strömungswiderstand des darauf liegenden Materials genutzt, um eine gleichförmige Anströmung zu generieren, womit ein möglichst homogener Trocknungsprozess erzeugt werden soll. Gleichzeitig wird durch die Bauweise der Dampfzuführung verhindert, dass Material in den Dampfkreislauf zurückfällt. Der Querschnitt des Einlasses 374 nimmt entgegen der Materialförderrichtung ab. Der Einlass 374 ist im Vorlauf in verschiedene Temperaturzonen unterteilt, so dass die Dampftemperatur entlang des Förderkanals in Förderrichtung zunimmt: Je trockener das Material gegen Ende des Prozesses wird, umso heisser der eingeleitete Dampf.

[0108] Der seitlich einströmende Dampf durchströmt das aufgelockerte Material vorerst annähernd quer und danach im Gegenstrom zur Materialflussrichtung. Schliesslich wird der Dampf neben dem Einlass 361 für das Material durch den Auslass 373 nach oben abgesaugt, wodurch keine Partikel mitgerissen werden sollen.

[0109] Im Folgenden wird der Betrieb der erfindungsgemässen Anlage anhand der ersten zwei Ausführungsformen beschrieben. Die entsprechenden Angaben lassen sich aber ohne Weiteres auch auf die drei weiteren Ausführungsformen übertragen.

[0110] Die Figur 6 ist eine Darstellung der Stellglieder und Regelgrössen der erfindungsgemässen Anlage, namentlich der Anlage gemäss der ersten Ausführungsform, wenn sie gemäss der Variante 1B betrieben wird, wobei der Volumenstrom des dem Wärmetauscher 30 zugeführten verdichteten ersten Anteils durch Regelung des Brüdenkompressors 40 eingestellt wird. Mit den Stellgliedern 81 lassen sich die Stellgrössen 82 beeinflussen. Die Stellglieder 81 umfassen das Kreislaufgebläse 20, das insbesondere über seine Drehzahl regelbar ist, um den Kreislauf-Dampfstrom 82.3 einzustellen, das Luftablassventil 32, das zur Einstellung des Entlüftungs-Massenstroms 82.5 selektiv geöffnet bzw. geschlossen werden kann, den Brüdenkompressor 40, dessen Massenstrom 82.4 ebenfalls über die Drehzahl eingestellt werden kann, die Heizeinrichtung 50, deren Leistung zur Regelung der Dampftemperatur 82.2 eingestellt werden kann, sowie das Fördersystem 60, das eine Einstellung der Fördergeschwindigkeit und damit sowohl des Materialdurchsatzes 82.1 als auch der Verweilzeit des zu trocknenden Materials in der Kammer erlaubt.

[0111] Die variablen Materialgrössen 83 umfassen den Trockensubstanzanteil 83.1 beim Eintritt, die Materialkonsistenz 83.2, die Materialform 83.3 und die materialabhängige Sorptionsisotherme 83.4. Vorgegeben werden als Steuergrössen 84 primär der Trockensubstanzanteil 84.1 beim Austritt und die Höhe 84.2 (bzw. Position) der Übergangsschicht.

[0112] Aus den Betriebsparametern ergeben sich als resultierende Grössen 85 der Kondensatordruck 85.1 und der spezifische Energieaufwand 85.2 (in kWh/kg Wasser).

[0113] Die Figur 7 ist ein Blockdiagramm der Sensorik der erfindungsgemässen Anlage. Folgende Grössen werden laufend gemessen und der Anlagensteuerung zugeführt:

Sensor	gemessene Grösse	Ort
Temperatursensor 91.1	Temperatur	nach dem Kreislaufgebläse 20, vor dem Wärmetauscher 30
Temperatursensor 91.2	Temperatur	nach dem Wärmetauscher 30, vor den Heizeinheiten 51a, 51b
Temperatursensor 91.3a	Temperatur	nach der Heizeinheit 51a (1. Dampfstrom)
Temperatursensor 91.3b	Temperatur	nach der Heizeinheit 51b (2. Dampfstrom)
Temperatursensor 91.4a	Temperatur	am Auslass der Kammer 10 für den Brüden (1. Dampfstrom)
Temperatursensor 91.4b	Temperatur	am Auslass der Kammer 10 für den Brüden (2. Dampfstrom)
Temperatursensor 91.5	Temperatur	vor dem Kreislaufgebläse 20
Temperatursensor 91.6	Temperatur	vor dem Brüdenkompressor 40
Temperatursensor 91.7	Temperatur	nach dem Brüdenkompressor 40
Temperatursensor 91.8a	Temperatur	im Messrohr 63, oben
Temperatursensor 91.8b	Temperatur	im Messrohr 63, Mitte

Sensor	gemessene Grösse	Ort
Temperatursensor 91.8c	Temperatur	im Messrohr 63, unten
Temperatursensor 91.9	Temperatur	im Kondensator
Drucksensor 92.1	Druck	nach dem Kreislaufgebläse 20, vor dem Wärmetauscher 30
Drucksensor 92.2	Druck	nach dem Wärmetauscher 30, vor den Heizeinheiten 51a, 51b
Drucksensor 92.6	Druck	vor dem Brüdenkompressor 40
Drucksensor 92.7	Druck	nach dem Brüdenkompressor 40
Drucksensor 92.9	Druck	im Kondensator
Sauerstoffsensor 93	Sauerstoffgehalt	nach dem Wärmetauscher 30, vor den Heizeinheiten 51a, 51b

[0114] Die Figur 8 zeigt Verläufe der gemessenen Temperatur in drei Höhen in einem vertikalen Rohr neben dem Auslass, gemessen durch die Temperatursensoren 91.8a, 91.8b, 91.8c im Messrohr 63 (vgl. Figur 7). Der oberste Temperatursensor 91.8a ist in einem vertikalen Abstand von 50 mm zum Kammerboden angeordnet. Benachbarte Sensoren sind in einem vertikalen Abstand von je 50 mm zueinander angeordnet. Die oberste Kurve 95a repräsentiert die vom obersten Temperatursensor 91.8a gemessenen Werte, die mittlere Kurve 95b repräsentiert die vom mittleren Temperatursensor 91.8b gemessenen Werte, und die unterste Kurve 95c repräsentiert die vom unteren Temperatursensor 91.8c gemessenen Werte. Die Messreihen beziehen sich auf den Trocknungsbetrieb, in dem durch die Regelung der erwähnten Stellgrössen 82 ein Gleichgewichtszustand angestrebt wird. Im vorliegenden Fall wird die vom obersten Temperatursensor 91.8a gemessene Temperatur als Basis für die Regelung der Stellgrössen 82, insbesondere des Massenstroms 82.4 des Brüdenkompressors 40, herangezogen, so dass die Übergangsschicht durch Regelung in ihrer Höhe 84.2 gehalten wird. Der Sollwert beträgt 97.0 °C. Alternativ kann der mittlere Temperatursensor 91.8b genutzt werden oder eine abgeleitete Grösse aus den Messwerten mehrerer Sensoren. Falls die entsprechende Temperatur oder eine aus den entsprechenden Temperaturen ermittelte Grösse ein vorgegebenes Band (z. B. Regeltemperatur ± 1 K) verlässt, wird die Drehzahl des Brüdenkompressors 40 bei einem Betrieb gemäss Variante 1A bzw. 1B hoch- oder runtergeregt. Mit Vorteil wird zur Regelung eine an sich bekannte PID-Steuerung eingesetzt. Für die Drehzahlregelung des Brüdenkompressors 40 können z. B. Werte von $P=1$, $I=10$ und $D=0$ gewählt werden.

[0115] Die Inbetriebnahme der erfindungsgemässen Anlage wird anhand der Figur 9 beschrieben, die Verläufe der Temperatur (oben, in °C) und des Luftanteils (unten, in %) bei der Inbetriebnahme der erfindungsgemässen Anlage zeigt. Die Inbetriebnahme gliedert sich in drei Phasen, eine Aufheizphase mit Luft (Phase 1), die Dampfbefüllung (Phase 2) und schliesslich die Materialbefüllung (Phase 3). Dargestellt sind im oberen Bereich die Kammertemperatur 96 im oberen Bereich der Kammer, die vom Temperatursensor 91.2 gemessene Temperatur 97.2 nach dem Wärmetauscher 30, die vom Temperatursensor 91.7 gemessene Temperatur 97.7 nach dem Brüdenkompressor 40 sowie die Temperaturen 97.8a, 97.8b, 97.8c der drei Temperatursensoren 91.8a, 91.8b, 91.8c im Messrohr 63 (mit nach unten generell abnehmender Temperatur). Im unteren Bereich sind der mittels einer Lambdasonde gemessene Luftanteil 98.1 in der Kammer 10 und der indirekt auf Basis des gemessenen Drucks und der gemessenen Temperatur des Dampfs beim Kondensatauslass nach dem Kondensator bestimmte Luftanteil 98.2 im Kondensator dargestellt. Mit diesen Messwerten kann, in Kombination mit den Temperaturmessungen, die Dampfbefüllung genau überwacht werden.

[0116] Die Dampftrocknung erfolgt in einer Dampfatmosphäre bei Umgebungsdruck, wobei der Luftanteil in der Dampfatmosphäre nicht mehr als 4% betragen soll. Die Kammer der Anlage muss deshalb zunächst mit Luft auf eine Temperatur von mindestens 100 °C vorgeheizt und darin muss eine Dampfatmosphäre geschaffen werden. Das wird in drei Phasen erreicht.

[0117] In einer ersten Phase wird die Anlage mit heisser Luft aufgeheizt. Dazu wird Luft mit dem Kreislaufgebläse 20 zirkuliert und dabei über die Heizeinrichtung 50 Wärme zugeführt. Diese Phase beginnt bei Position A in Figur 9 und dauert ca. eine Stunde. Gegen Ende dieser Phase wird der Brüdenkompressor 40 im Leerlauf (kurzgeschlossen) eingeschaltet (Pos. B), um diesen ebenfalls vorzuwärmen, wodurch grössere thermische Spannungen und Kondensation im Brüdenkompressor 40 bei der Dampfbefüllung vermieden werden. Die Phase ist abgeschlossen, wenn die Kammer 10 eine Temperatur von über 100°C erreicht. Die Temperatur 97.2 der zirkulierenden Luft im Kreislaufkanal hat zu diesem Zeitpunkt den Wert von 100°C bereits weit überschritten, da die Luft direkt beheizt wird.

[0118] Nachdem die Kammertemperatur von 100 °C erreicht ist, beginnt die Dampfbefüllung (Pos. C). Dazu werden die Heizeinrichtung 50, der Brüdenkompressor 40 und das Kreislaufgebläse 20 ausgeschaltet und Dampf vom Dampfgenerator 15 von oben in die Kammer 10 geleitet. Dabei wird die Luft, welche eine geringere Dichte hat, nach unten aus der

Kammer 10 verdrängt. Dies wird durch das Ansteigen der durch die Temperatursensoren 91.8a...c beim Materialauslass gemessenen Temperaturen 97.8a...c ersichtlich. Gegen Ende dieser Phase wird der Brüdenkompressor 40 wieder eingeschaltet, um Betriebstemperatur zu erreichen, wodurch die Temperatur 97.7 kurz einknickt (Pos. D).

[0119] In Bezug auf die Luftanteile nimmt zunächst Luftanteil 98.1 in der Kammer schlagartig ab, dann steigen die von den Temperatursensoren 91.8a...c gemessenen Temperaturen 97.8a...c langsam an, da die heisse Luft nach unten verdrängt wird. Erreichen diese 100 °C, bedeutet dies, dass das Dampfvolumen am Anlageboden angekommen ist. Es hat sich gezeigt, dass die Luft durch den leichteren Dampf von oben nach unten ohne Probleme aus der Kammer verdrängt werden kann. Schliesslich schwimmt der Dampf über der kalten Umgebungsluft. Trotz der Öffnungen an der Unterseite der Kammer bildet sich eine stabile Übergangsschicht 66 zwischen Dampf und Luft, die sogenannte Stratification Layer (vgl. Fig. 2). Im Bereich dieser Schicht stellt sich ein Temperaturprofil ein, das sich innert rund 50 cm von Umgebungstemperatur auf über 100°C erstreckt. Im Bereich des Temperaturgefälles von 100 °C auf 65 °C beträgt der Temperaturgradient typischerweise 0.13-0.26 K/mm. Der Luftanteil in der Kammer 10 sinkt dabei auf weniger als 4%.

[0120] Sobald die Dampfatosphäre generiert ist, kann Material in die Anlage geführt werden (Pos E). Während dieser Phase muss nach wie vor Dampf mit dem Dampfgenerator 15 erzeugt werden. Dies ist notwendig, da Dampf am kalten Material kondensiert und dieses damit aufwärmt. Da noch nicht ausreichend Dampf durch den Trocknungsprozess generiert wird, muss dieser vom Dampfgenerator 15 bereitgestellt werden. Während dieser Prozessphase werden die Heizeinrichtung 50 sowie das Kreislaufgebläse 20 wieder in Betrieb genommen. Sobald ein Grossteil der Aufnahmekapazität der Kammer 10 mit Material gefüllt ist, wird der Brüdenkompressor 40 weiter hochgefahren, womit der Kondensatordruck steigt (Pos. F). Dadurch erhöht sich die Kondensationstemperatur im Kondensator, wodurch Wärme wieder an den Dampfkreislauf abgegeben werden kann (Pos. G). Ist die Kammer 10 im Rahmen ihrer Aufnahmekapazität komplett mit Material gefüllt und eine ausreichende Wasserverdampfungsrate erreicht, kann der Dampfgenerator 15 abgeschaltet werden und der reguläre Trocknungsprozess beginnt. Der Luftanteil in der Kammer 10 bleibt dabei bei weniger als 4%. Bei einem Betrieb gemäss einer der Varianten 2A und 2B läuft der Dampfgenerator (in der Regel mit reduzierter Leistung) weiter, um die Höhe der Übergangsschicht zu regeln.

[0121] Da auf der einen Seite der Ziel-Trockensubstanzanteil des Materials am Austritt vom Relativdruck und damit von der Dampftemperatur abhängt (vorausgesetzt die Verweilzeit ist genügend lang) und auf der anderen Seite dem kontinuierlichen Prozess zur Materialvorheizung stetig Wärme zugeführt werden muss, wird die Wärme vor der Zuführung des Materials bei hoher Temperatur zugeführt, während die Vorheizung des Materials bei Eintritt in die Dampfatosphäre auf tieferer Temperatur durch den Brüden erfolgt.

[0122] Während dieser Phase muss der Kondensator weiter entlüftet werden. Obwohl der Luftgehalt in der Anlage sehr gering ist, staut sich die Restluft im Kondensator an und muss kontinuierlich abgelassen werden (Pos. I). Der kondensatorseitige Luftanteil wird dabei durch die Steuerung des Luftablassventils 32 auf einen Wert von weniger als 15 Vol.%, insbesondere 7-10 Vol.%, geregelt. Die Bestimmung des Luftanteils erfolgt anhand der Messwerte des Temperatursensors 91.9 und des Drucksensors 92.9.

[0123] Im Trocknungsbetrieb verdampft die Feuchtigkeit des zu trocknenden Materials in der Kammer 10 durch Wärmezufuhr aus dem überhitzten Dampf. Am Eingang der Kammer 10 ist der Dampf über die Sättigungstemperatur überhitzt. Beim Passieren des zu trocknenden Materials wird die Wärmeenergie des Dampfes ans Material übertragen und zusätzliches Wasser verdampft.

[0124] Am Ausgang der Kammer 10 wird der Dampfmassenstrom mit dem aus dem Material verdampften Wasser erhöht. Die Temperatur wird dabei in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt des Materials bzw. dem Zustand der Sorptionsisotherme und dem Mass des Wärmeübergangs ans Material gesenkt, so dass der Dampf überhitzt bleibt.

[0125] Der Hauptanteil des Kreislaufdampfs tritt dann in den Wärmetauscher 30 ein und wird durch die Kondensation des Brüdenkompressionsdampfes bei einer höheren Temperatur auf der anderen Seite des Wärmetauschers 30 erneut überhitzt.

[0126] Nach der Überhitzung im Wärmetauscher 30 werden Wärmeverluste durch die Heizeinrichtung 50 ausgeglichen. Dadurch kann auch die Trocknungstemperatur und damit der gewünschte Trockensubstanzanteil am Ausgang präzise und schnell eingestellt werden. In der Regel sind Dampftemperaturen von 140-170 °C gut für die Trocknung geeignet, während die Materialtemperatur je nach Sorptionsisotherme in der Regel bei 105-130 °C liegt.

[0127] Nachdem der Dampf die Trocknungskammer verlassen hat, wird ein Teil des zusätzlichen Dampfes aus dem Kreislauf abgesaugt und durch den Brüdenkompressor 40 auf einen Druck von ca. 2,5 bis 5 barA verdichtet. Entsprechend dem Druck im Kondensator kondensiert der Dampf bei dessen Sättigungstemperatur zwischen 130° und 150°C. Dabei wird die bei der Kondensation freiwerdende Verdampfungsenthalpie durch den Wärmetauscher dem Dampfkreislauf bei erhöhter Temperatur zurückgegeben.

[0128] Durch das Kondensatablassventil 31 verlässt demineralisiertes, steriles Wasser von über 100°C das System, wobei der Kreislaufdampf erhalten bleibt. Schliesslich kann das Wasser von 100°C zum Vorheizen oder anstelle von Leitungswasser verwendet werden.

[0129] Während des Trocknungsprozesses wird das zu trocknende bzw. getrocknete Material kontinuierlich ein- bzw. ausgeschleust, wobei es jeweils durch die Stratification Layer geführt wird und beim Ausschleusen in die Umgebungsluft

eine Nachtrocknung aufgrund des niedrigeren Partialdrucks des Dampfes in der Umgebungsluft und der verbleibenden Wärme im Trocknungsgut erfährt. Wird der Materialfluss erhöht, so muss der dem Wärmetauscher zugeführte verdichtete erste Anteil entsprechend erhöht werden. Dies funktioniert, solange die Leistung des Kreislaufgebläses dazu ausreicht, die Wärme zurückzuführen. Es hat sich gezeigt, dass innerhalb dieses Rahmens die Effizienz des Prozesses sogar gesteigert wird, wenn der Materialfluss erhöht wird.

[0130] Im Rahmen der dritten Ausführungsform wird bei der Inbetriebnahme die Dampfatmosfera hauptsächlich durch die folgenden Schritte gebildet:

1. Luftverdrängung durch Dampf aus Dampfgenerator;
2. Einbringen von Trocknungsgut;
3. Aktivieren des Brüdenkompressors (womit der Trocknungsprozess beginnt);
4. Nach Erreichen des Betriebsdrucks im Wärmetauscher wird der Dampfgenerator mit reduziertem (und wie oben beschrieben geregelt) Volumenstrom weiter betrieben.

[0131] Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Insbesondere die Dimensionierung der jeweiligen Anlagen und die eingesetzten Fördersysteme können der Art und der Menge des Trocknungsguts angepasst werden.

[0132] Das Material kann direkt aus einem vorangehenden Prozess in die Dampfatmosfera eingeführt werden. Das Material kann zudem vor dem Einbringen in die Anlage vorgeheizt werden. Dadurch wird insbesondere die für die Brüdenverdichtung zur Verfügung stehende Dampfmenge erhöht. Steht Abwärme, z. B. aus einem vor- oder nachgeordneten Prozessschritt zur Verfügung, kann diese der erfindungsgemässen Anlage ohne Weiteres zugeführt werden, so dass der Energiebedarf der Heizeinrichtung reduziert werden kann.

[0133] Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf und eine entsprechende Anlage schafft, welche eine hohe Energieeffizienz bei einfacher Materialzu- und -abführung ermöglichen

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf, wobei die Anlage folgendes umfasst:
 - a) eine nach unten offene Kammer mit einem Einlass für das Trocknungsgut, einem Auslass für getrocknetes Trocknungsgut, einem Einlass für überhitzten Dampf und einem Auslass für einen Brüden;
 - b) ein Fördersystem für das Einbringen des Trocknungsguts in die Kammer, den Transport des Trocknungsguts in der Kammer, während der Trocknung, und das Ausbringen des getrockneten Trocknungsguts aus der Kammer;
 - c) einen Brüdenkompressor zum Verdichten eines ersten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens; und
 - d) einen Wärmetauscher zum Übertragen von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem ein Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils kondensiert wird;wobei die Anlage derart betrieben wird, dass
 - e) in einem oberen Bereich der Kammer eine Dampfatmosfera gebildet ist, die auf in einem unteren Bereich der Kammer befindlicher Umgebungsluft schwimmt, wobei zwischen dem oberen Bereich und dem unteren Bereich eine Übergangsschicht ausgebildet ist, und
 - f) eine Höhe der Übergangsschicht in einem vorgegebenen Bereich gehalten wird, indem eine aktuelle Höhe bestimmt und in Abhängigkeit der bestimmten Höhe
 - f1) der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils geregelt wird; oder
 - f2) ein Volumenstrom eines Dampfgenerators geregelt wird, wobei der Dampfgenerator derart angeordnet und betreibbar ist, dass Dampf der Kammer zuführbar und/oder in der Kammer erzeugbar ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle Höhe der Übergangsschicht anhand von Messwerten mindestens eines Temperatursensors bestimmt wird, der in einem dem vorgegebenen Bereich entsprechenden Höhenbereich angeordnet ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Trocknungstemperatur in einem vorgegebenen Bereich gehalten wird, indem sie mit einem Sollwert verglichen und in Abhängigkeit des Vergleichs
 - g1) ein Volumenstrom eines Dampfgenerators geregelt wird, wobei der Dampfgenerator derart angeordnet und betreibbar ist, dass Dampf der Kammer zuführbar oder in der Kammer erzeugbar ist, vorausgesetzt die Höhe der Übergangsschicht wird durch Regelung des Volumenstroms des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils im vorgegebenen Bereich gehalten; oder
 - g2) eine Heizleistung einer Heizeinrichtung geregelt wird; oder

- g3) der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils geregelt wird, vorausgesetzt die Höhe der Übergangsschicht wird durch Regelung des Volumenstroms des Dampfgenerators im vorgegebenen Bereich gehalten.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage ein Leitungssystem zwischen dem Auslass für den Brüden und dem Einlass für den überhitzten Dampf umfasst, wobei im Leitungssystem folgendes angeordnet ist:
 - h) der Brüdenkompressor;
 - i) ein Kreislaufgebläse;
 - j) der Wärmetauscher, zum Erhitzen eines zweiten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens durch Übertragung von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils kondensiert wird; und
 - k) eine Heizeinrichtung für den Dampf, angeordnet zwischen dem Wärmetauscher und dem Einlass für den überhitzten Dampf.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Fördersystem eine in der Kammer angeordnete rotierende Hohlwelle mit mehreren Scheiben aufweist, die den Wärmetauscher bildet, wobei in einem Innern der Hohlwelle ein Hohlraum angeordnet ist, dem vom Brüdenkompressor der Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils des Brüdens zum Erwärmen der Scheiben zuführbar ist.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmetauscher kondensatorseitig ein Entlüftungsventil aufweist und dass eine Öffnung des Entlüftungsventils anhand eines bestimmten kondensatorseitigen Luftanteils geregelt wird.
 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der kondensatorseitige Luftanteil auf einen Wert von 0-50%, bevorzugt 5-20%, besonders bevorzugt 7-12%, geregelt wird.
 8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bilden der Dampfatmosfera im oberen Bereich der Kammer folgende Schritte ausgeführt werden:
 - Erzeugen von Dampf in einem Dampfgenerator und Einleiten des erzeugten Dampfs in die Kammer, wobei in der Kammer befindliche Luft aus der Kammer nach unten verdrängt wird;
 - während des Betriebs des Dampfgenerators, bis ein Betriebsdruck im Wärmetauscher erreicht ist:
 - Aktivieren des Kreislaufgebläses;
 - Aktivieren der Heizeinrichtung und/oder des Brüdenkompressors,
 - Einbringen von Trocknungsgut mittels des Fördersystems und
 - Aktivieren des Brüdenkompressors.
 9. Anlage zum Trocknen von Trocknungsgut mittels überhitztem Dampf, umfassend:
 - a) eine nach unten offene Kammer mit einem Einlass für das Trocknungsgut, einem Auslass für getrocknetes Trocknungsgut, einem Einlass für überhitzten Dampf und einem Auslass für einen Brüden;
 - b) ein Fördersystem für das Einbringen des Trocknungsguts in die Kammer, den Transport des Trocknungsguts in der Kammer, während der Trocknung, und das Ausbringen des getrockneten Trocknungsguts aus der Kammer;
 - c) einen Brüdenkompressor zum Verdichten eines ersten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens;
 - d) einen Wärmetauscher zum Übertragen von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem ein Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils kondensiert wird; und
 - e) eine Steuerung zum Erfassen und Verarbeiten von Messwerten und zum Generieren von Steuersignalen; wobei die Steuerung derart betreibbar ist, dass
 - f) in einem oberen Bereich der Kammer eine Atmosphäre aus überhitztem Dampf gebildet ist, die auf in einem unteren Bereich der Kammer befindlicher Umgebungsluft schwimmt, wobei zwischen dem oberen Bereich und dem unteren Bereich eine Übergangsschicht ausgebildet ist, und
 - g) eine Höhe der Übergangsschicht in einem vorgegebenen Bereich gehalten wird, indem eine aktuelle Höhe bestimmt und in Abhängigkeit der bestimmten Höhe
 - g1) der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils geregelt wird; oder
 - g2) ein Volumenstrom eines Dampfgenerators geregelt wird, wobei der Dampfgenerator derart angeordnet ist und betrieben wird, dass Dampf der Kammer zugeführt und/oder in der Kammer erzeugt wird.
 10. Anlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage ein Leitungssystem zwischen dem Auslass für den Brüden und dem Einlass für den überhitzten Dampf umfasst, wobei im Leitungssystem folgendes angeordnet ist:
 - h) der Brüdenkompressor;
 - i) ein Kreislaufgebläse;
 - j) der Wärmetauscher zum Erhitzen eines zweiten Anteils des aus der Kammer rückgeführten Brüdens durch Übertragung von Wärme aus dem verdichteten ersten Anteil, indem der Volumenstrom des dem Wärmetauscher zugeführten verdichteten ersten Anteils kondensiert wird; und
 - k) eine Heizeinrichtung für den Dampf, angeordnet zwischen dem Wärmetauscher und dem Einlass für den überhitzten Dampf.

11. Anlage nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Einlass für den überhitzten Dampf derart an der Kammer angeordnet ist, dass der überhitzte Dampf in einem gerichteten Dampfstrom einen Förderweg des Trocknungsguts in der Kammer schneidet.
12. Anlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass kammerseitig des Einlasses ein Element zur Homogenisierung des Dampfstroms angeordnet ist.
13. Anlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Fördersystem eine in der Kammer angeordnete rotierende Hohlwelle mit mehreren Scheiben aufweist, die den Wärmetauscher bildet, wobei in einem Innern der Hohlwelle ein Hohlraum angeordnet ist, dem vom Brüdenkompressor der Volumenstrom des verdichteten ersten Anteils des Brüdens zum Erwärmen der Scheiben zuführbar ist.
14. Anlage nach einem der Ansprüche 9 bis 13, gekennzeichnet durch einen Dampfgenerator, der derart angeordnet und betreibbar ist, dass Dampf der Kammer zugeführt und/oder in der Kammer erzeugt wird.
15. Anlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampfgenerator mit dem Wärmetauscher derart verbunden ist, dass er zumindest teilweise mit Kondensat aus dem Wärmetauscher betreibbar ist.

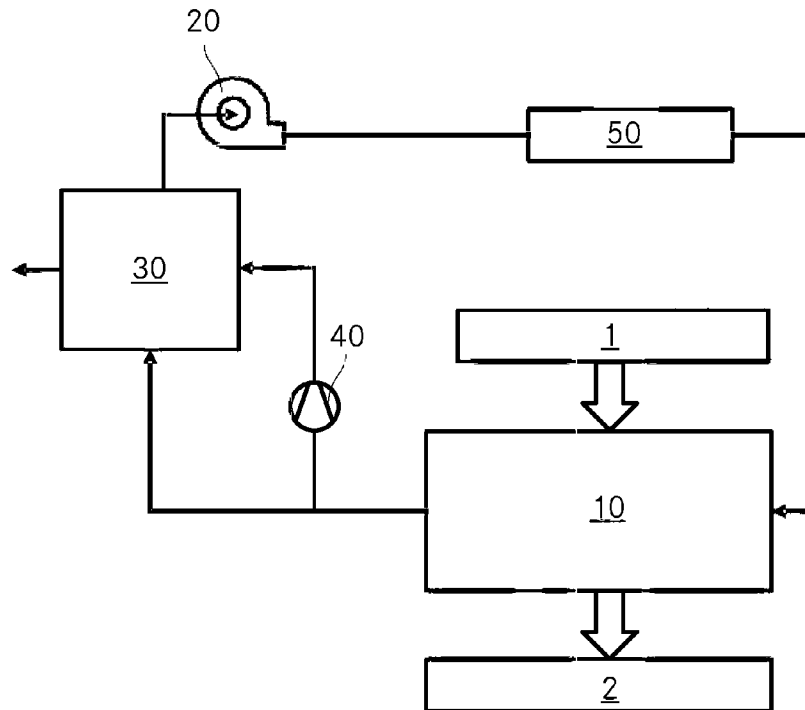


Fig. 1A

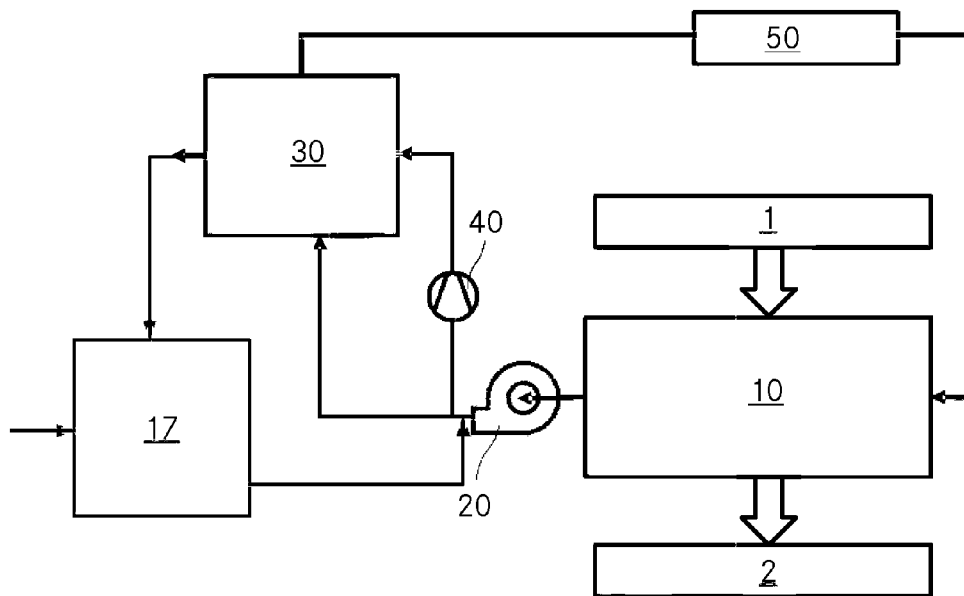


Fig. 1B

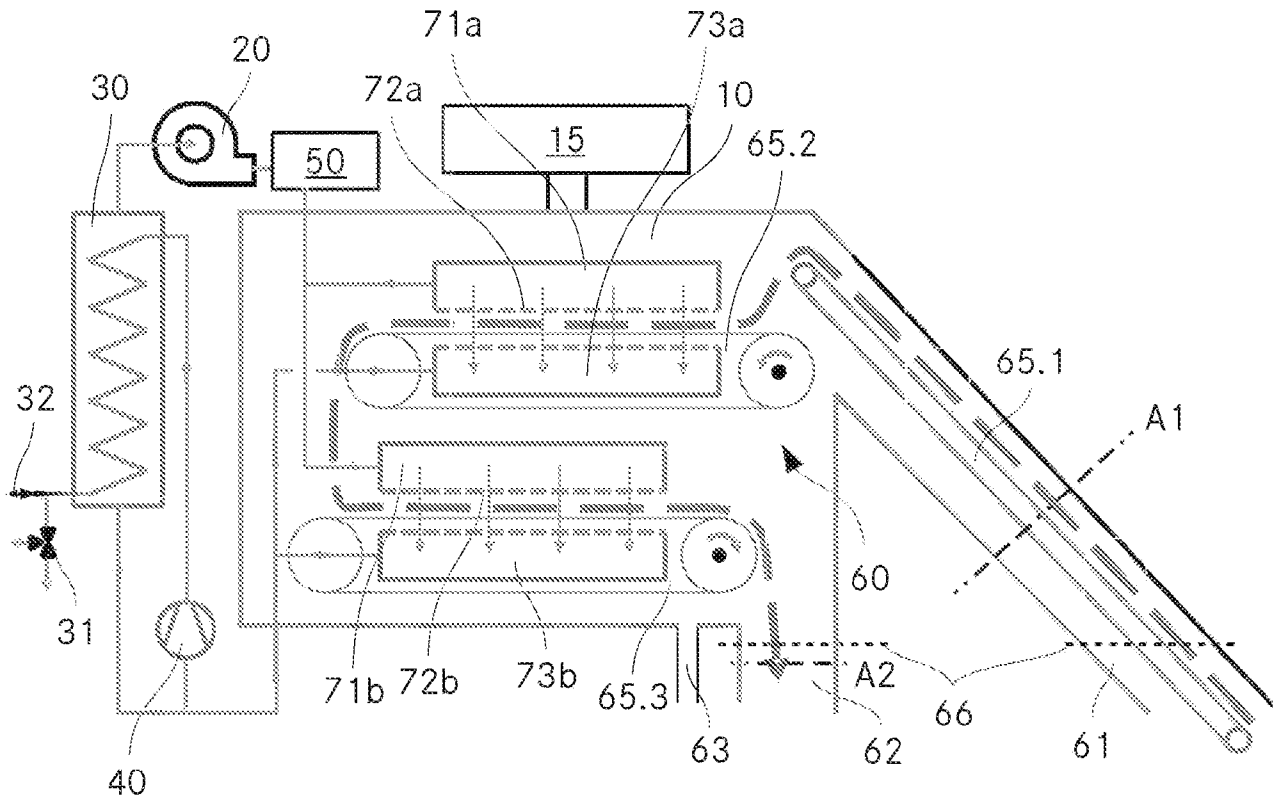


Fig. 2

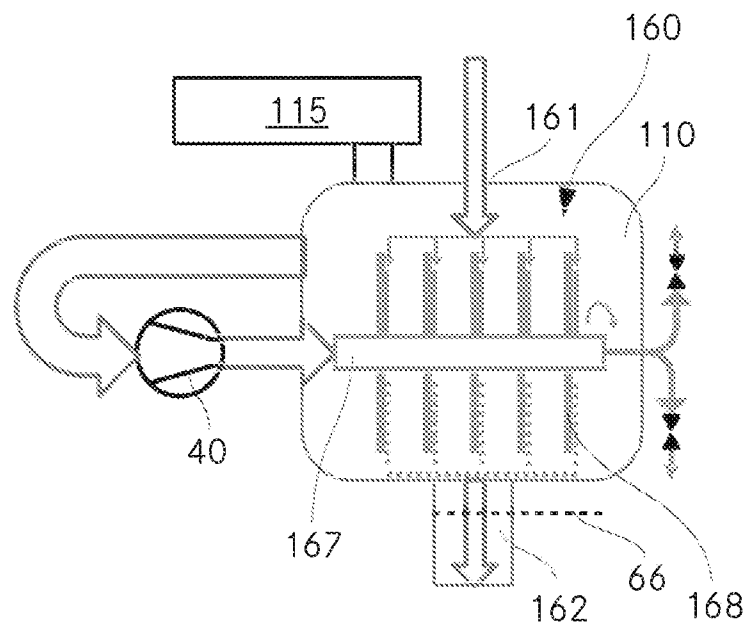


Fig. 3

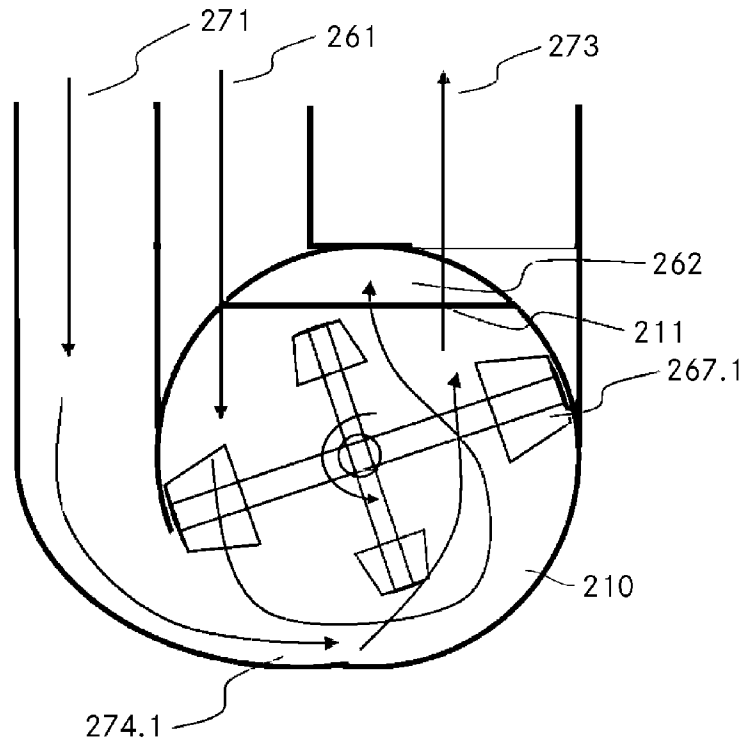


Fig. 4A

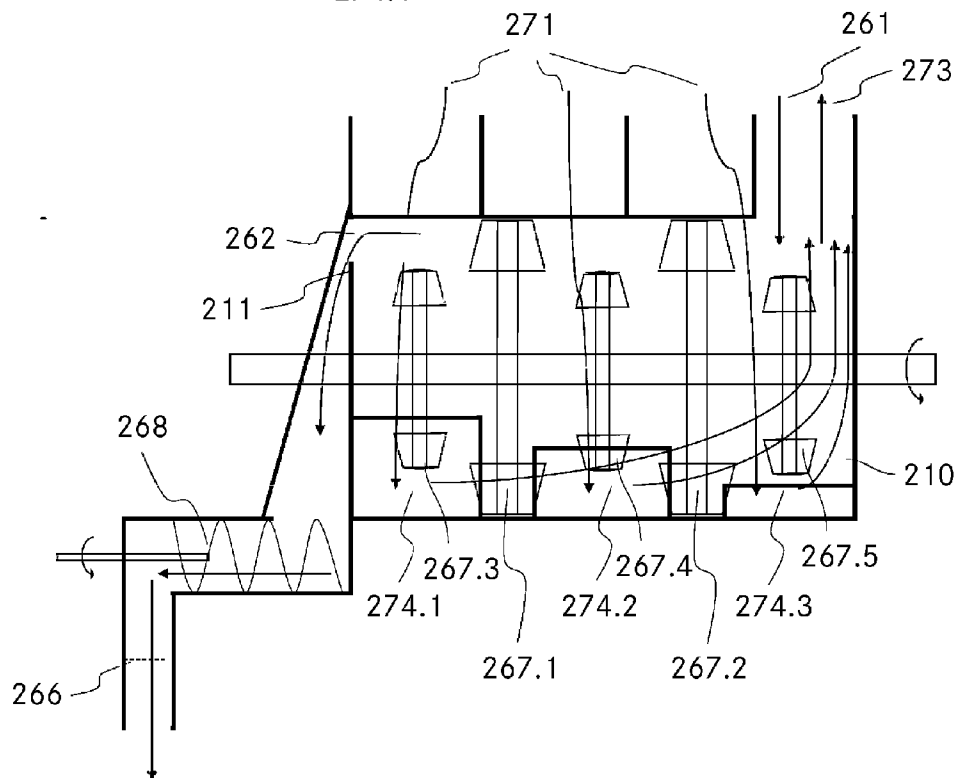


Fig. 4B

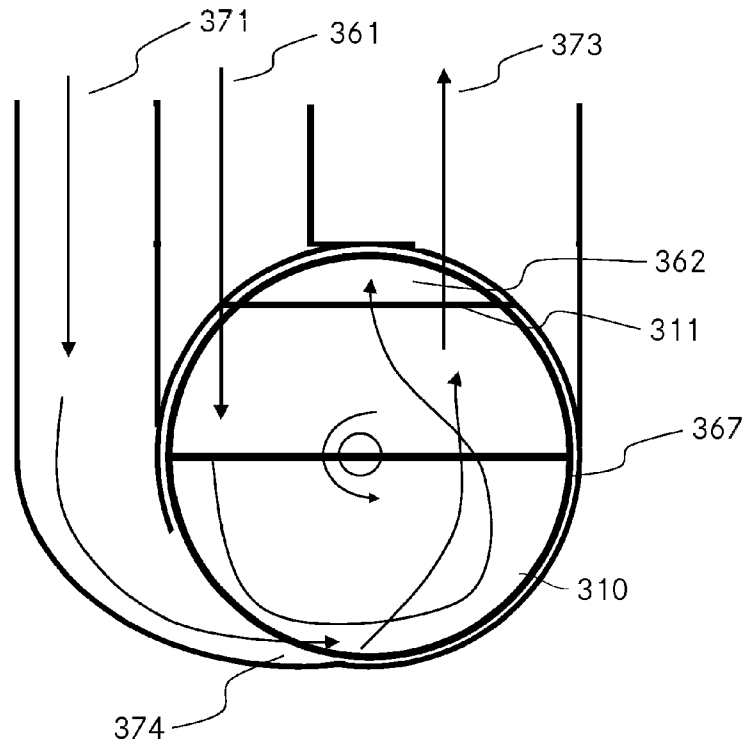


Fig. 5A

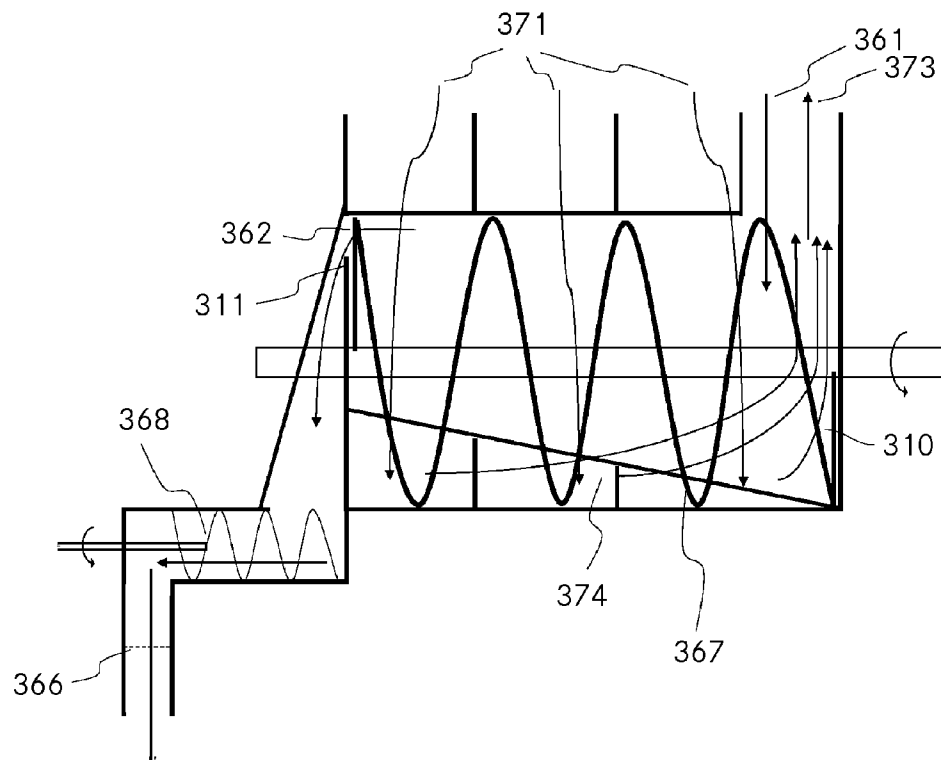


Fig. 5B

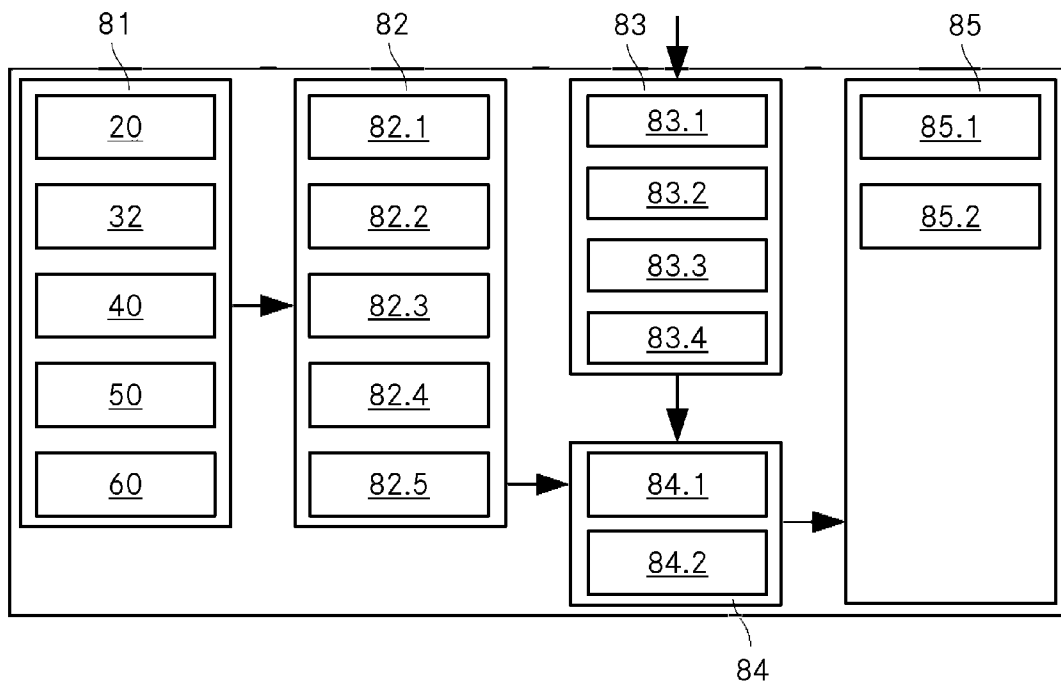


Fig. 6

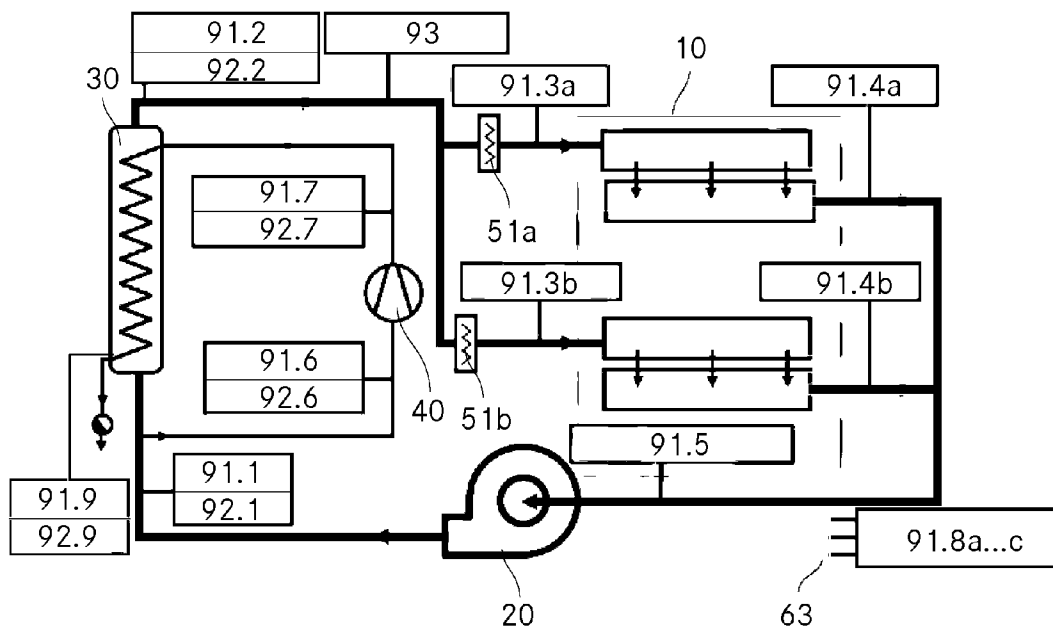


Fig. 7

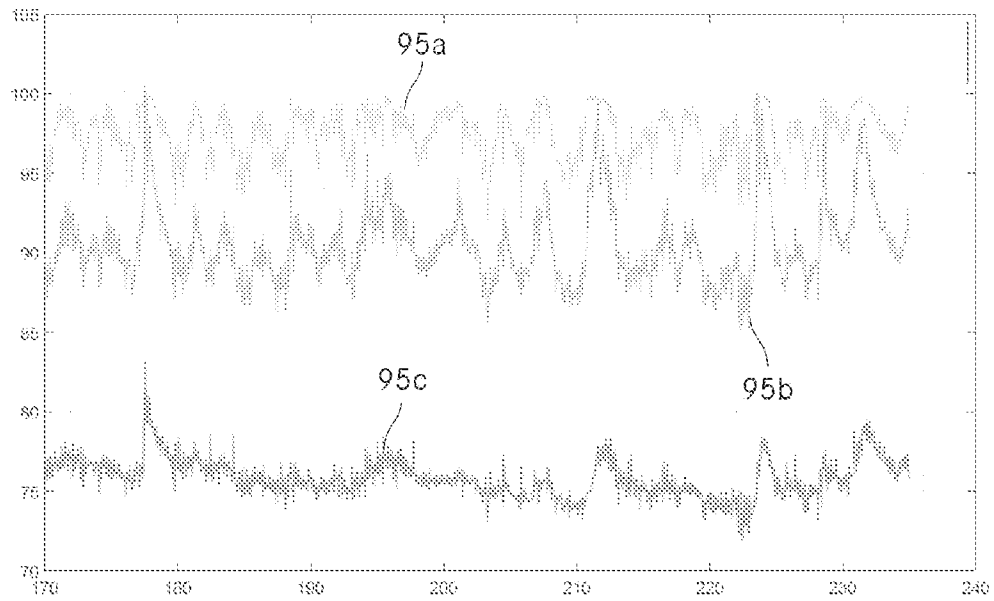


Fig. 8

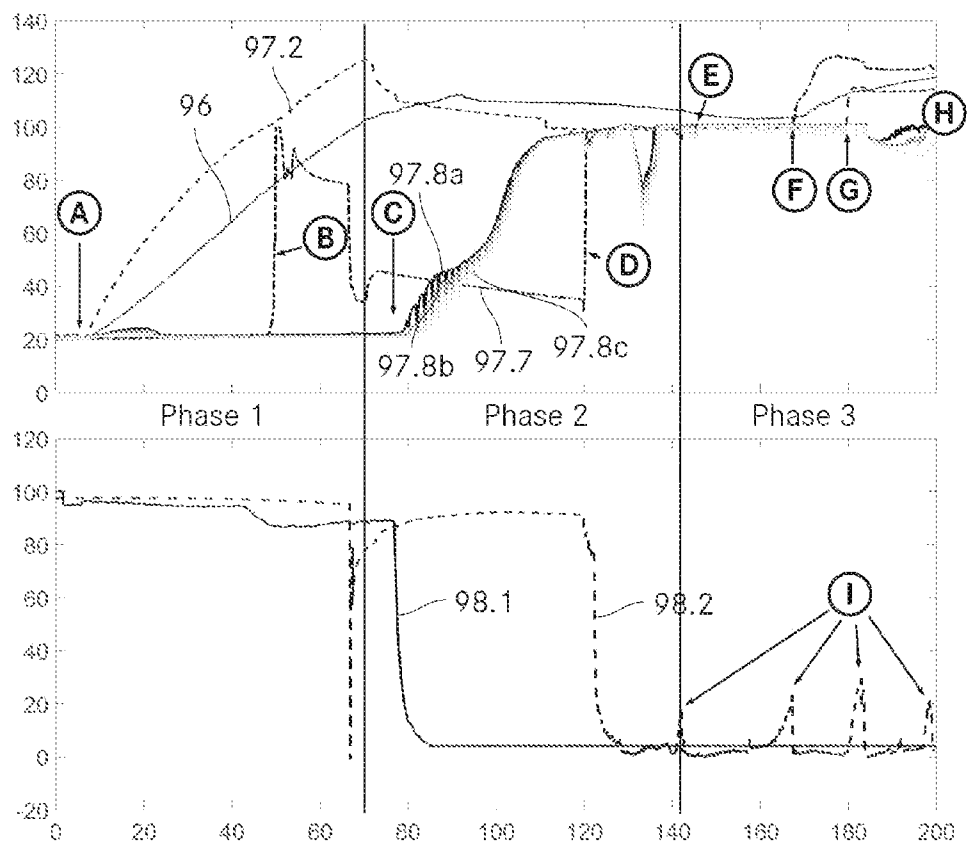


Fig. 9

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG	AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS 27776 CH						
Nationales Aktenzeichen 10652022	Anmeldedatum 13-09-2022						
Anmeldeland CH	Beanspruchtes Prioritätsdatum						
Anmelder (Name) AquAero GmbH							
Datum des Antrags auf eine Recherche internationaler Art 23-12-2022	Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat SN82816						
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben) Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC Siehe Recherchenbericht							
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="border-bottom: 1px solid black; text-align: right;">Recherchierter Mindestprüfstoff</td> </tr> <tr> <td style="width: 25%; border-bottom: 1px solid black;">Klassifikationssystem</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Klassifikationssymbole</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">IPC</td> <td style="vertical-align: middle;">Siehe Recherchenbericht</td> </tr> </table> Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen 		Recherchierter Mindestprüfstoff		Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	IPC	Siehe Recherchenbericht
Recherchierter Mindestprüfstoff							
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole						
IPC	Siehe Recherchenbericht						
III. ☐ EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)							
IV. ☐ MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)							

Formblatt PCT/SA 201 A (11/2000)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 10652022

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. F26B3/04	F26B21/00	F26B21/04 F26B21/12 F26B23/00
F26B25/00		
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
F26B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 95/06229 A1 (HEAT WIN LTD [GB]; STUBBING THOMAS JOHN [GB]) 2. März 1995 (1995-03-02)	1-7, 9-11, 13, 14
A	* Abbildung 5 * * Seiten 8-10 * * Seite 12 * * Seiten 18-19 *	8, 12, 15
X	FR 2 524 129 A1 (BERTIN & CIE [FR]) 30. September 1983 (1983-09-30)	1-7, 9-11, 13, 14
A	* Abbildungen 1-3 * * Seiten 4-6 *	8, 12, 15
A	WO 2010/051572 A2 (GROISBOECK FRANZ [AT]) 14. Mai 2010 (2010-05-14) * Abbildung 1 *	1-15
----- -/-		
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art		Absenddatum des Berichts über die Recherche internationaler Art
28. Februar 2023		08 MAR 2023
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter De Meester, Reni

Formblatt PCT/ISA/201 (Blatt 2) (Januar 2004)

Seite 1 von 2

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 10652022

C.(Fortsetzung). ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	FR 3 052 544 A1 (HAFFNER ENERGY [FR]) 15. Dezember 2017 (2017-12-15) * Seiten 10-11; Abbildung 1 *	1-15
A	EP 2 511 636 A1 (EPCON EVAPORATION TECHNOLOGY AS [NO]) 17. Oktober 2012 (2012-10-17) * Absätze [0060] - [0083]; Abbildungen 1-2 *	1-15
A	CN 202 902 824 U (GONGDA CHEMICAL INDUSTRY EQUIPMENT CO LTD) 24. April 2013 (2013-04-24) * Absätze [0016] - [0032]; Abbildung 1 *	1-15

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 10652022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9506229	A1	02-03-1995	AT 159807 T 15-11-1997
		AU 676764 B2 20-03-1997	
		BR 9407630 A 28-01-1997	
		CA 2170370 A1 02-03-1995	
		CN 1133086 A 09-10-1996	
		CZ 290133 B6 12-06-2002	
		DE 69406546 T2 14-05-1998	
		EP 0714498 A1 05-06-1996	
		ES 2111325 T3 01-03-1998	
		FI 960842 A 23-02-1996	
		GB 2281383 A 01-03-1995	
		HU 217877 B 28-04-2000	
		IN 184800 B 30-09-2000	
		JP H09502252 A 04-03-1997	
		MY 114251 A 30-09-2002	
		NO 310531 B1 16-07-2001	
		NZ 271404 A 24-02-1997	
		OA 10265 A 07-10-1997	
		PL 313164 A1 10-06-1996	
		RO 116124 B1 30-10-2000	
		RU 2127857 C1 20-03-1999	
		SG 45235 A1 16-01-1998	
		UA 48115 C2 15-08-2002	
		US 5711086 A 27-01-1998	
		WO 9506229 A1 02-03-1995	
		ZA 946035 B 20-03-1995	
FR 2524129	A1	30-09-1983	KEINE
WO 2010051572	A2	14-05-2010	AT 507766 A1 15-07-2010
		CA 2742685 A1 14-05-2010	
		EP 2364424 A2 14-09-2011	
		US 2011219639 A1 15-09-2011	
		WO 2010051572 A2 14-05-2010	
FR 3052544	A1	15-12-2017	KEINE
EP 2511636	A1	17-10-2012	DK 2511636 T3 09-03-2015
		EP 2511636 A1 17-10-2012	
		WO 2012140125 A1 18-10-2012	
CN 202902824	U	24-04-2013	KEINE