



(11) **EP 2 006 628 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
06.03.2013 Patentblatt 2013/10

(51) Int Cl.:
F28C 3/14 ^(2006.01) **F28F 27/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08008794.3**

(22) Anmeldetag: **10.05.2008**

(54) **Vorrichtung zum Kühlen oder Heizen von Schüttgut sowie Verfahren zum Betreiben einer derartigen Vorrichtung**

Device for cooling or heating bulk material and method for operating such a device

Dispositif de refroidissement ou de chauffage de produits en vrac ainsi que procédé de fonctionnement d'un tel dispositif

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

(30) Priorität: **19.06.2007 DE 102007027967**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.12.2008 Patentblatt 2008/52

(73) Patentinhaber: **Coperion GmbH
70469 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:
• **Stark, Bernhard, Dr.**
88273 Fronreute (DE)
• **Zechner, Egon**
88250 Weingarten (DE)

(74) Vertreter: **Hofmann, Matthias et al**
Rau, Schneck & Hübner
Patentanwälte
Königstrasse 2
90402 Nürnberg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 580 511 WO-A1-02/36255

EP 2 006 628 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung zum Kühlen oder Heizen von Schüttgut nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Eine Vorrichtung der eingangs genannten Art ist bekannt aus der DE 10 2004 041 375 A1 und der EP 1 580 511 A2. Dort wird zur Verbesserung des Wärmeübergangs Gas im Gegenstrom durch die Wärmetauscherrohre geführt.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung zum Kühlen oder Heizen von Schüttgut der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass der Wärmeübergang vom Schüttgut auf das Wärmeträgerfluid verbessert wird.

[0004] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung zum Kühlen oder Heizen von Schüttgut mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0005] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass der Wärmeübergang vom Schüttgut auf das Wärmeträgerfluid deutlich vom Gasstrom des im Gegenstrom durch die Wärmetauscherrohre geführten Wärmeträger-Gases abhängt. Für ein bestimmtes Schüttgut gibt es überraschenderweise ein Maximum des Wärmeübergangs bei einer ganz bestimmten Menge des Wärmeträger-Gases, die durch die Wärmetauscherrohre geführt wird. Diese optimale Gasmenge, der eine Leerrohrgasgeschwindigkeit zugeordnet ist, die nachfolgend als kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit $V_{Lg,kr}$ bezeichnet ist, liegt bei einem für das jeweilige Schüttgut eindeutig bestimmbar Differenzdruck am Wärmetauscherabschnitt der Vorrichtung. Die kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit wird berechnet aus der optimalen Gasmenge und dem freien Querschnitt aller Wärmetauscherrohre im Wärmetauscherabschnitt der Vorrichtung. Die kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit ist eine Funktion der Produkttemperatur, also eine Funktion des durch die Rohre geleiteten Schüttgutes, und des statischen Drucks in den Wärmetauscherrohren. Beim Kühlen des Schüttgutes ist beispielsweise die Leerrohrgasgeschwindigkeit am unteren Austrittsende der Wärmetauscherrohre aufgrund des gekühlten Schüttgutes niedriger als am Eintritt in die Wärmetauscherrohre. Die hier genannten kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeiten $v_{Lg,kr}$ beziehen sich auf eine mittlere Schüttguttemperatur und einen mittleren statischen Druck im Wärmetauscherabschnitt. In Versuchen hat sich herausgestellt, dass ein sehr guter Wärmeübergang zwischen dem Schüttgut und dem Wärmeträgerfluid ohne Störung des Schüttguttransports in den Wärmetauscherrohren erzielt werden kann, wenn eine Wärmeträger-Gasmenge im Gegenstrom zugeführt wird, die einer Leerrohrgasgeschwindigkeit im Bereich zwischen 20 % und 200 % der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit entspricht. Bevorzugt wird eine Gasmenge, die einer Leerrohrgasgeschwindigkeit entspricht, die im Bereich

zwischen 40 % und 160 %, insbesondere zwischen 60 % und 140 %, mehr bevorzugt zwischen 80 % und 120 %, noch mehr bevorzugt bei 100 % der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit liegt. Die Vorrichtung kann auch so gestaltet sein, dass sie Schüttgut entweder ausschließlich kühlt oder ausschließlich heizt. Die Wärmetauscherrohre sind vorzugsweise rund. Bevorzugte Verhältnisse zwischen Rohrrinnen- und mittleren Partikeldurchmessern sind in der DE 10 2004 041 375 A1 offenbart, der Rohrdurchmesser kann aber auch größer oder kleiner sein als die angegebenen Verhältnisse. Die Wärmetauscherrohre können aber auch eine beliebige Querschnittsform haben. Prinzipiell können die Wärmetauscherrohre beispielsweise auch einen quadratischen oder rechteckigen Querschnitt haben, wobei eine lange Seite des Querschnitts eine Erstreckung bis hin zum Durchmesser des Gehäuses haben kann. In diesem Fall sind diejenigen Gehäuseabschnitte, in denen das Wärmeträgerfluid geführt ist, plattenförmig. Daher ist auch eine plattenförmige Ausgestaltung von Wärmetauscher-elementen, wie beispielsweise in der EP 0 444 338 B1 beschrieben, eine Ausgestaltung mit Wärmetauscherrohren im Sinne dieser Anmeldung. Eine Gasquelle der Gas-Zuführeinrichtung kann beispielsweise gleichzeitig auch die Gasversorgung einer im Zusammenhang mit der Vorrichtung verwendeten pneumatischen Fördervorrichtung sein. Dies kann realisiert werden, indem in einer Reingasleitung vor einer der Kühl- oder Heizvorrichtung beispielsweise nachgeschalteten Zellenradschleuse ein Gas-Teilstrom abgezogen und mit der Zuführleitung für das Wärmeträger-Gas verbunden wird.

[0006] Für typische Schüttgüter, insbesondere für Granulate mit einer typischen Partikelgröße von einigen Millimetern und damit verbundenen typischen Werten, was die Schüttdichte, das Volumen von Hohlräumen zwischen den Schüttgutpartikeln und die Partikeldichte angeht, hat sich eine Wärmeträger-Gasmenge zur Schaffung eines optimalen Wärmeübergangs zwischen dem Schüttgut und dem Wärmeträgerfluid als geeignet herausgestellt, die bei absoluten Leerrohrgasgeschwindigkeiten zwischen 0,2 m/s und 2,0 m/s liegt. Eine Wärmeträger-Gasmenge, die einer Leerrohrgasgeschwindigkeit von 0,5 m/s bis 1,2 m/s in den Wärmetauscherrohren entspricht, hat sich dabei für viele typischerweise verwendete Schüttgüter als geeignet herausgestellt.

[0007] Ein Betriebsverfahren für eine erfindungsgemäße Vorrichtung nach Anspruch 3 führt zu einem möglichst effizienten Arbeiten des Schüttgut-Wärmetauschers, insbesondere zu einer Beschleunigung der Inbetriebnahme des Schüttgut-Wärmetauschers. Das schrittweise Erhöhen der Wärmeträger-Gasmenge, ausgehend von einer zunächst niedrigen Gasmenge, bei gleichzeitiger Überwachung des Differenzdrucks und/oder der Schüttguttemperatur im Austragsabschnitt führt zu einer definierten und sicheren Bestimmung der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit und damit zu einer reproduzierbaren Vorgabe einer Wärmeträger-Gasmenge, die zu einem optimierten Wärmeübergang vom

Schüttgut auf das Wärmeträgerfluid führt.

[0008] Eine Bestimmung der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit über eine Temperaturmessung nach Anspruch 4 und/oder über eine Differenzdruckmessung nach Anspruch 5 ermöglicht eine sichere und reproduzierbare Bestimmung der optimalen Wärmeträger-Gasmenge.

[0009] Ein Filter nach Anspruch 6 sorgt für eine Reinigung des Wärmeträger-Gases vor der Einleitung in den bzw. nach der Abführung aus dem Schüttgut-Wärmetauscher.

[0010] Im Weg des Wärmeträger-Gases vor der Einmündung der Zuführleitung kann eine Gas-Heizeinrichtung und/oder eine Gas-Kühl-Einrichtung angeordnet sein. Dies ermöglicht eine zusätzliche Verbesserung der Wirkung des Schüttgut-Wärmetauschers dadurch, dass auch das Wärmeträger-Gas eine Wärmetauscher-Wirkung bekommt. Wenn das Schüttgut geheizt werden soll, wird das Wärmeträger-Gas mittels der Gas-Heizeinrichtung erwärmt. Wenn das Schüttgut gekühlt werden soll, wird das Wärmeträger-Gas mittels der Gas-Kühleinrichtung gekühlt.

[0011] Zwischen der Gas-Kühleinrichtung und der Einmündung der Zuführleitung kann ein Kondensat-Abscheider angeordnet sein. Ein solcher Kondensat-Abscheider verhindert, dass unerwünscht Feuchtigkeit über das Wärmeträger-Gas dem Schüttgut zugeführt wird.

[0012] Die Abführleitung kann mit der Umgebung des Schüttgut-Wärmetauschers kommunizieren. Eine solche Ausführung der Abführleitung ermöglicht einen drucklosen Schüttgut-Eintragsabschnitt.

[0013] Die Abführleitung kann druckdicht mit dem dann ebenfalls druckdicht ausgeführten Schüttgut-Eintragsabschnitt verbunden sein. Eine solche Ausführung der Abführleitung ermöglicht die Wärmeträger-Gaszuführung mit einem Druckgaserzeuger, insbesondere mit genau einem Druckgaserzeuger, oder mit einem Sauggaserzeuger, insbesondere mit genau einem Sauggaserzeuger.

[0014] Eine Zellenradschleuse nach Anspruch 7 ermöglicht einen im Wesentlichen druckdichten abführseitigen Abschluss des Eintragsabschnitts. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine druckdichte abführseitige Gestaltung der Abführleitung und/oder des Schüttgut-Eintragsabschnitts realisiert werden soll.

[0015] Ein Sieb nach Anspruch 8 verhindert, dass unerwünscht große beziehungsweise kleine Partikel in den Eintragsabschnitt gelangen. Das Sieb kann auch innerhalb des Eintragsabschnitts untergebracht sein. Alternativ können auch ein Verteiler oder ein Sieb zur Vorgabe von Schüttgut-Partikelgrößen eingesetzt werden.

[0016] Eine Schüttgut-Zuführleitung nach Anspruch 9 sorgt für eine definierte und symmetrische Schüttgutzufuhr. Auch eine exzentrische Schüttgut-Zufuhr ist möglich, was insbesondere bei kleinen Durchmessern der Vorrichtung aus Platzgründen von Vorteil sein kann.

[0017] Entsprechendes gilt für eine Schüttgut-Verteiler-

einheit kann insbesondere als der Schüttgut-Zuführleitung nachgeordneter Konus ausgeformt sein, dessen Spitze der Schüttgut-Zuführleitung zugewandt und zentrisch zu dieser angeordnet ist.

[0018] Eine Abführleitung nach Anspruch 11 führt zu einem definiert symmetrischen Strom des Wärmeträger-Gases. Die Abführleitung kann insbesondere als konzentrischer Spalt bzw. als Ringleitung um die Schüttgut-Zuführleitung ausgeführt sein.

[0019] Eine Sichtungsgas-Zuführleitung nach Anspruch 12 ermöglicht eine Sichtung des dem Schüttgut-Eintragsabschnitt zugeführten Schüttguts.

[0020] Dimensionsverhältnisse der Wärmetauscherrohre nach Anspruch 13 haben sich als für einen effizienten Betrieb des Schüttgut-Wärmetauschers besonders geeignet herausgestellt.

[0021] Eine Ausgestaltung nach Anspruch 14 ermöglicht eine Anpassung der Wärmeträger-Gasmenge an die Temperatur des ausgetragenen Schüttguts.

[0022] Eine Ausgestaltung nach Anspruch 15 ermöglicht eine Optimierung der Wärmeträger-Gasmenge in Abhängigkeit vom gemessenen Differenzdruck. Weitere Vorteile der Verfahren nach den Ansprüchen 4 und 5 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Vorrichtungen nach den Ansprüchen 14 und 15 erläutert wurden.

[0023] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Fig. 1 eine Schüttgut-Kühl- oder Heizvorrichtung schematisch im vertikalen Längsschnitt;

Fig. 2 bis 4 weitere Ausführungen von Schüttgut-Kühl- oder Heizvorrichtungen in einer zur Fig. 1 ähnlichen Darstellung;

Fig. 5 schematisch in einem Diagramm die Abhängigkeit einer kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit in Wärmetauscherrohren der Schüttgut-Kühl- oder Heizvorrichtungen nach den Fig. 1 bis 4 von einer Schüttdichte des zu kühlenden oder zu heizenden Schüttguts;

Fig. 6 schematisch in einem Diagramm die Abhängigkeit der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit von einem typischen Durchmesser d_p von Schüttgutpartikeln;

Fig. 7 schematisch in einem Diagramm die Abhängigkeit der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit von einem typischen Hohlraumvolumen V_H , welches zwischen Schüttgutpartikeln gebildet ist; und

Fig. 8 schematisch in einem Diagramm die Ab-

hängigkeit der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit von einer Partikeldichte ρ_p der Schüttgutpartikel.

[0024] Eine in der Fig. 1 dargestellte Vorrichtung zum Kühlen oder Heizen von Schüttgut hat einen oberen Eintrags- bzw. Pufferabschnitt 1, einen mittleren Wärmetauscherabschnitt 2 und einen unteren Austragsabschnitt 3. Die Abschnitte 1, 2, 3 haben jeweils einen Kreisquerschnitt. Der gehäuseartige, im Wesentlichen umschlossene Pufferabschnitt 1 ist mit einem oberen Zulaufstutzen 4 zur Zuführung eines zu kühlenden oder heizenden Schüttguts versehen. Beim zu kühlenden oder heizenden Schüttgut handelt es sich insbesondere um ein Granulat bzw. um ein pelletförmiges Schüttgut. Eine Partikel- bzw. Korngrößenverteilung des Schüttguts kann im Wesentlichen um ein ausgeprägtes Maximum zentriert sein, also zu einem homogenen Schüttgut mit praktisch gleichen Partikelgrößen führen, wie dies in der Regel für ein Granulat der Fall ist. Alternativ kann die Partikel- bzw. Korngrößenverteilung auch heterogener sein, d. h. es können Partikel deutlich unterschiedlicher Größen entweder in Form einer kontinuierlichen Korngrößenverteilung oder in Form einer Korngrößenverteilung mit mehreren Maxima vorliegen. Eine derart heterogene Verteilung ist in der Regel bei granulatförmigen Schüttgut der Fall. Dabei kann es sich um Kunststoffgranulate, Harnstoffpellets, Düngemittelprills oder Holz- oder Futtermittelpellets handeln. Das Volumen des oberen Pufferabschnitts 1 ist derart groß, dass Schüttgut dort eine Verweilzeit hat, die geringer ist als 2 Minuten. Prinzipiell sind auch größere Verweilzeiten bis hin zu 30 Minuten möglich.

[0025] Der Zulaufstutzen 4, der eine Schüttgutzufuhr-Leitung in den Pufferabschnitt 1 darstellt, mündet zentrisch in den Pufferabschnitt 1 ein. Dem Zulaufstutzen 4 vorgeordnet kann im Förderweg des Schüttguts noch eine Siebeinrichtung 4a sein, mit der Grob- und/oder Feianteile des Schüttguts, deren Partikelgrößen oberhalb eines ersten vorgegebenen Grenzwerts oder unterhalb eines zweiten vorgegebenen Grenzwerts liegen, zurückgehalten oder abgeschieden werden. Alternativ oder zusätzlich zur Siebeinrichtung 4a kann im Zuführweg des Schüttguts vor dem Zulaufstutzen 4 auch ein Verteiler oder ein Sieb angeordnet sein. Alternativ oder zusätzlich zu der Siebeinrichtung 4a kann ein statisches Sieb 4b im Eintrags- beziehungsweise Pufferabschnitt 1 eingebaut sein. Das statische Sieb 4b dient insbesondere dazu, Schüttgut-Agglomerate zurückzuhalten.

[0026] Der Wärmetauscherabschnitt 2 hat ein Gehäuse 5, in dessen Innenraum 6 parallel zueinander Wärmetauscherrohre 7 jeweils mit Abstand zueinander angeordnet sind. Der Innenraum 6 ist also ein Wärme-tausch-Raum. Die Wärmetauscherrohre 7 haben ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser, welches im Bereich zwischen 15 und 300 und insbesondere zwischen 30 und 250 liegt.

[0027] Benachbart zum Austragsabschnitt 3 mündet

in den Innenraum 6 des Gehäuses 5 des Wärmetauscherabschnitts 2 ein Zuführstutzen 8 für Wärmeträgerfluid ein. Benachbart zum Pufferabschnitt 1 mündet ein Abführstutzen 9 für Wärmeträgerfluid aus dem Innenraum 6 des Gehäuses 5 aus. Im Innenraum 6 sind Umlenkplatten 10 jeweils quer zur Längsrichtung der Rohre 7 im Abstand voneinander derart angebracht, dass das über den Zuführstutzen 8 zugeführte Wärmeträgerfluid entsprechend einem Strömungsrichtungspfeil 11 mäanderförmig durch den Innenraum 6 jeweils quer zur Längsrichtung der Rohre 7 schrittweise nach oben zum Abführstutzen 9 strömt. Die Umlenkplatten 10 werden von den Rohren 7 durchtreten. Der Wärmetauscherabschnitt 2 ist also für einen Kreuzgegenstrom des Wärmeträgerfluids ausgelegt.

[0028] Der Innenraum 6 kann mit einer die Rohre 7 umhüllenden Schüttung 12 aus Glaskugeln, Stahlkugeln und/oder Kunststoffgranulat gefüllt sein, die zur Verbesserung des Wärmeübergangs zwischen dem Wärmeträgerfluid und den Rohren 7 beiträgt. Die Einfüllung dieser Schüttung 12 in den Innenraum 6 erfolgt über den Abführstutzen 9. Eine eventuelle Entnahme der Schüttung 12 erfolgt über den Zuführstutzen 8. Zur Sicherung der Schüttung 12 im Innenraum 6 haben die Stutzen 8, 9 herausnehmbare Rückhaltesiebe 13. Die Größe der Partikel der Schüttung 12 sollte so sein, dass sie nach der Herstellung des Wärmetauscherabschnitts 2 in diesen eingebracht werden können. Die Partikel der Schüttung 12 sind also in jedem Fall kleiner als der Teilungsabstand der Rohre 7. Die Partikel der Schüttung 12 haben bevorzugt Kugel-, Linsen- oder Zylinderform.

[0029] Die Rohre 7 sind an ihren oberen Enden mit einem fest mit dem Gehäuse 5 verbundenen Einlauf-Rohrboden 14 und an ihren unteren Enden mit einem Auslauf-Rohrboden 15 derart verbunden, dass sie zum Pufferabschnitt 1 und zum Austragsabschnitt 3 hin offen sind. Zwischen dem Pufferabschnitt 1 und dem Wärmetauscherabschnitt 2 einerseits und dem Wärmetauscherabschnitt 2 und dem Austragsabschnitt 3 andererseits bestehen Flanschverbindungen 16 beziehungsweise 17. Der Einlauf-Rohrboden 14 ist so gestaltet, dass jedes Rohr 7 einen sich zum Pufferabschnitt 1 hin erweiternden, sich zum jeweiligen Rohr 7 hin also verengenden Zulauftrichter 18 aufweist. Benachbarte Trichter 18 sind so dimensioniert, dass sie sich oben in einer verhältnismäßig scharfen Kante treffen. Die Zulauf-Trichter 18 haben einen Öffnungswinkel α , der zwischen 30° und 180° liegen kann und vorzugsweise im Bereich von 40° bis 120° liegt. Hierdurch wird vermieden, dass im Einlauf-Rohrboden 14 zwischen benachbarten Rohren 7 Toträume, Totflächen oder Schüttgut-Brücken entstehen, auf denen Schüttgut 20 unerwünscht liegen bleibt. Alternativ ist auch ein gerader Einlauf-Rohrboden 14 ($\alpha = 180^\circ$) möglich. Bevorzugte Anordnungen für die Rohre 7 sind dreieckig, also insbesondere eine hexagonale Anordnung, bei der jedes Rohr sechs nächste Nachbarn hat, quadratisch, also eine Anordnung, bei der jedes Rohr vier nächste Nachbarn hat, oder eine Anordnung auf Teil-

kreisen.

[0030] An der Außenseite 5 sind Vibratoren 21 angebracht, mit denen der gesamte Wärmetauscherabschnitt 2 und damit die Rohre 7 in Vibrationen 7 versetzt werden können, wodurch ein Wärmeübergang auf der Innenseite der Rohre 7, also zwischen diesen und dem Schüttgut 20, verbessert wird.

[0031] Der Austragsabschnitt 3 hat die Form eines sich nach unten verjüngenden kegelförmigen Trichters. Eine solche Form bewirkt, dass das Schüttgut 20 im Austragsabschnitt 3 an allen Stellen eines beliebig ausgewählten Querschnitts mit nahezu der gleichen Geschwindigkeit fließt, wobei bei dieser Betrachtung der unmittelbare Randbereich nicht berücksichtigt wird, da hier immer eine gewisse Verzögerung durch Wandreibung eintritt. Als Austrageeinrichtung ist eine Zellenradschleuse 22 vorgesehen, deren Gehäuse 23 über ein Fallrohr 24 mit dem Austragsabschnitt 3 verbunden ist. Im Gehäuse 23 ist ein Zellenrad 25 angeordnet, dass von einem Motor 26 drehantreibbar ist. Der Motor 26 wird von einem Füllstands-Melder 27 angesteuert, der den Füllstand des Schüttguts 20 im Pufferabschnitt 1 erfasst.

[0032] Die Zellenradschleuse 22 kann gleichzeitig als Austragsorgan in eine pneumatische Fördereinrichtung genutzt werden, was in der Zeichnung nicht dargestellt ist. Anstelle der Zellenradschleuse 22 können auch andere, hinreichend fluiddichte Austragsorgane eingesetzt werden. Zu derartigen alternativen Austragsorganen gehören Doppelklappenschleusen oder Förderschnecken, in denen das Produkt zur Fluid-Abdichtung verdichtet wird. Als Austragsorgan kann auch ein langes Fallrohr mit einem zugeordneten Dosierschieber eingesetzt werden, soweit das Schüttgut im Fallrohr eine hinreichend fluiddichtende Wirkung übernimmt.

[0033] In den Austragsabschnitt 3 mündet eine Zuführleitung 28 für ein Wärmeträger-Gas ein. An die Zuführleitung 28 angeschlossen ist ein Druckgaserzeuger 29, bei dem es sich beispielsweise um einen Ventilator, um ein Drehkolbengebläse, um einen Schraubenverdichter oder um ein Seitenkanalgebläse handeln kann. Der Druckgaserzeuger 29 saugt Wärmeträger-Gas, zum Beispiel Luft, über eine Saugleitung 30 und einen Ansaugfilter 31 an. Dem Druckgaserzeuger 29 in der Gas-Zuführleitung 28 nachgeordnet ist ein Gas-Wärmetauscher 32, mit dem das Wärmeträger-Gas wahlweise geheizt oder gekühlt werden kann. Sofern das Wärmeträger-Gas je nach Einsatz des Schüttgut-Wärmetauschers nur gekühlt oder nur geheizt werden soll, kann anstelle des Gas-Wärmetauschers 32 auch ein reiner Gaskühler oder ein reiner Gasheizer vorgesehen sein.

[0034] Dem Gas-Wärmetauscher 32 in der Gas-Zuführleitung 28 nachgeordnet ist ein Kondensatabscheider 33. Zwischen diesem und der Einmündung der Zuführleitung 28 in den Austragsabschnitt 3 ist ein Sicherheitsfilter 33a zum Herausfiltern restlicher Rückstände im Wärmetauscher-Gas angeordnet.

[0035] Ein Differenzdrucksensor 34a steht über eine erste Messleitung 34b mit dem oberen Pufferabschnitt 1

und über eine zweite Messleitung 34c mit dem Austragsabschnitt 3 in Verbindung. Über eine nicht dargestellte Signalverbindung steht der Differenzdrucksensor 34a mit der Steuereinrichtung 45 und einer Steuereinheit 34d in Verbindung. Letztere steht wiederum mit dem Druckgaserzeuger 29 in Signalverbindung.

[0036] Nach dem Eintritt in den Austragsabschnitt 3 durchströmt das Wärmeträger-Gas den Schüttgut-Wärmetauscher entgegen der Strömungsrichtung des Schüttguts 20. Der Schüttgut-Wärmetauscher ist also für einen Gegenstrom des Wärmeträger-Gases zum Schüttgut 20 ausgelegt. Nach dem Verlassen der Wärmetauscherrohre 7 strömt das Wärmeträger-Gas durch den oberen Pufferabschnitt 1 und verlässt diesen über einen Abgasstutzen 34. Ausgangsseitig des Abgasstutzens 34 liegt eine offene Stelle 35. In diesem Bereich ist der Weg des Wärmeträger-Gases also nicht druckdicht zur Umgebung hin abgeschlossen. Oberhalb der offenen Stelle 35 ist ein Ansaugtrichter 36 einer weiteren Saugleitung 37 angeordnet. Die Saugleitung 37 mündet in einen Sauggaserzeuger 38, bei dem es sich ebenfalls um einen Ventilator, um ein Drehkolbengebläse, um einen Schraubenverdichter oder um ein Seitenkanalgebläse handeln kann. Zwischen dem Ansaugtrichter 36 und dem Sauggaserzeuger 38 ist ein Zyklon beziehungsweise ein Filter 39 zur Reinigung des Wärmeträger-Gases angeordnet. Vor dem Sauggaserzeuger 38 kann eine nicht dargestellte Kühleinrichtung für das Wärmeträger-Gas angeordnet sein, um zu vermeiden, dass das Gas insbesondere für Kühlaufgaben mit zu hoher Temperatur in den Sauggaserzeuger 38 eintritt.

[0037] Die Förderleistung des Sauggaserzeugers 38 ist auf diejenige des Druckgaserzeugers 29 abgestimmt. Nach dem Sauggaserzeuger 38 kann das Wärmeträger-Gas über eine in der Zeichnung nicht dargestellte Verbindungsleitung wiederum über den Ansaugfilter 31 und die Saugleitung 30 dem Druckgaserzeuger 29 zugeführt werden, sodass eine geschlossene Führung des Wärmeträger-Gases resultiert.

[0038] Der Druckgaserzeuger 29 stellt eine Gas-Zuführeinrichtung für Wärmeträger-Gas dar. Die Leistung des Druckgaserzeugers 29 ist abgestimmt auf die Strömungsverhältnisse in den Wärmetauscherrohren 7 derart, dass das Wärmeträger-Gas in den Rohren 7 eine Leerrohrgasgeschwindigkeit hat, die im Bereich zwischen 20 % und 200 % einer kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit liegt. Typische Dimensionen des Schüttguts 20, nämlich insbesondere eine typische Schüttgutdichte, einen typischen Durchmesser der Schüttgutpartikel, ein typisches Volumen von Hohlräumen (vergleiche beispielhaft 40 in der Fig. 1) zwischen den Schüttgutpartikeln und eine typische Partikeldichte vorausgesetzt, ist die Leistung des Druckgaserzeugers 29 so abgestimmt, dass das Gas in den Wärmetauscherrohren 7 eine Leerrohrgasgeschwindigkeit zwischen 0,2 m/s und 2,0 m/s, vorzugsweise zwischen 0,4 m/s und 1,6 m/s, noch mehr bevorzugt zwischen 0,6 m/s und 1,4 m/s, noch mehr bevorzugt zwischen 0,6 m/s und 1,2 m/s, hat.

[0039] Im Austragsabschnitt 3 sind Leitflächen 41 für die Gaszufuhr ausgebildet. Das Wärmeträger-Gas kann auch auf andere konstruktive Art in den Austragsabschnitt 3 eingebracht werden. Entsprechende Vorrichtung zur Gaseinbringung, zum Beispiel beim Einblasen von Gas über einen im Vergleich zum Austragsabschnitt 3 umgekehrten Konus sind dem Fachmann beispielsweise aus der DE 100 54 240 A1 bekannt. Im Fallrohr 24 ist eine weitere Leitfläche 42 ausgebildet, die das Schüttgut 20 aus dem Austragsabschnitt 3 zur aufdrehenden Seite des in einer Drehrichtung 43 angetriebenen Zellenrades 25 leitet. Dies gewährleistet einen gleichmäßigen Abzug des Schüttguts 20 über den gesamten Zulaufquerschnitt der Zellenradschleuse 22.

[0040] An der Innenwand des Fallrohrs 24 ist ein Temperatursensor 44 zur Bestimmung der Temperatur des Schüttguts 20 im Fallrohr 24 angeordnet. Der Temperatursensor 44 steht mit einer zentralen Steuereinrichtung 45 des Schüttgut-Wärmetauschers in Signalverbindung. Diese Signalverbindung kann kabelgebunden oder drahtlos sein. Die Steuereinrichtung 45 steht wiederum in nicht dargestellter Weise, die ebenfalls kabelgebunden oder drahtlos sein kann, mit dem Druckgaserzeuger 29 und dem Sauggaserzeuger 38 in Signalverbindung. Auch eine Verbindung der Steuereinrichtung 45 mit einer nicht dargestellten Drosselarmatur zur Einstellung eines Gasvolumenstroms ist möglich.

[0041] Beim Betrieb des Schüttgut-Wärmetauschers wird zunächst eine kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit $V_{Lg,kr}$ bestimmt. Dabei wird zunächst der Schüttgut-Wärmetauscher mit Schüttgut 20 und mit einer ersten niedrigen Leistung des Druckgaserzeugers 29 betrieben, die einer ersten, niedrigen Gegenstrom-Gasmenge entspricht. Diese Gasmenge wird dann durch schrittweises Erhöhen der Leistung des Druckgaserzeugers 29 oder durch Öffnen einer nicht dargestellten Drosselarmatur auf der Saug- oder auf der Druckseite des Druckgaserzeugers 29 schrittweise erhöht. Gleichzeitig wird der Einfluss des Wärmeträger-Gases auf das Schüttgut innerhalb der Wärmetauscherrohre 7 überwacht. Diese Überwachung kann beispielsweise durch eine Messung des Differenzdruckes am Wärmetauscherabschnitt 2 über den Differenzdrucksensor 34a erfolgen. Alternativ kann die Überwachung erfolgen durch Temperaturmessung des Schüttgutes 20 über den Temperatursensor 44 im Austragsabschnitt 3.

[0042] Eine kritische Wärmeträger-Gasmenge ist im Falle einer Differenzdruck-Überwachung erreicht, wenn sich nach einer schrittweisen Erhöhung der Wärmeträger-Gasmenge ein maximaler Druckverlust zwischen dem Pufferabschnitt 1 und dem Austragsabschnitt 3, gemessen durch den Differenzdrucksensor 34a, eingestellt hat. Bei einer Temperatur-Überwachung ist die kritische Wärmeträger-Gasmenge erreicht, wenn die Temperatur des Schüttguts im Austragsabschnitt 3 beim Kühlen des Schüttguts 20 minimal wird beziehungsweise beim Aufheizen des Schüttguts 20 maximal wird.

[0043] Prinzipiell kann zur Bestimmung einer kriti-

schen Wärmeträger-Gasmenge auch der Schüttgut-Transport durch die Wärmetauscherrohre 7 überwacht werden. Diese Überwachung kann beispielsweise durch eine Sichtprüfung einer Gasblasenbildung in den Wärmetauscherrohren 7 erfolgen. Alternativ kann die Überwachung erfolgen durch eine Messung des Mengentransports des Schüttguts durch alle Wärmetauscherrohre 7 oder durch bestimmte Wärmetauscherrohre 7. Schließlich kann die Überwachung auch erfolgen, indem die Geschwindigkeit des Schüttguttransports durch alle oder durch bestimmte Wärmetauscherrohre 7 gemessen wird. Eine kritische Wärmeträger-Gasmenge ist erreicht, wenn sich bei der Sichtprüfung erstmals Gasblasen in den Rohren 7 transportierten Schüttgut 20 bilden oder wenn eine beginnende Fluidisierung des Schüttguts 20 festgestellt wird. Bei einer Überwachung durch Mengentransport-Messung ist eine kritische Wärmeträger-Gasmenge dann erreicht, wenn der gemessene Schüttgut-Mengentransport weniger als 90 % eines Wärmeträger-Gas-Gegenstrom-freien Schüttgutmengentransports beträgt. Bei einer Geschwindigkeitsüberwachung des Schüttgut-Transports ist eine kritische Wärmeträger-Gasmenge erreicht, wenn die gemessene Schüttgut-Geschwindigkeit weniger als 90 % einer Wärmeträger-Gas-Gegenstrom-freien Schüttgut-Geschwindigkeit beträgt.

[0044] Die jeweils bestimmte kritische Gasmenge ist eindeutig korreliert mit einer kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit in den Wärmetauscherrohren 7, das heißt mit der Geschwindigkeit des Wärmetauscher-Gases bei vorgegebener Leistung des Druckgaserzeugers 29 zur Erzeugung der kritischen Gasmenge in den leeren Wärmetauscherrohren 7.

[0045] Nach Bestimmung der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit wird dann der Schüttgut-Wärmetauscher mit einer Wärmeträger-Gasmenge betrieben, die einer Leerrohrgasgeschwindigkeit entspricht, die im Bereich zwischen 20 % und 200 % der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit liegt.

[0046] Alternativ kann beim Betrieb des Schüttgut-Wärmetauschers, insbesondere, wenn Schüttgut 20 verwendet wird, dessen Daten hinsichtlich der Schüttdichte, der Partikelgröße, Hohlraumvolumens und der Partikeldichte innerhalb vorgegebener Grenzwerte liegen, auf die Bestimmung der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit verzichtet werden. In diesem Fall wird der Schüttgut-Wärmetauscher mit einer Leistung des Druckgaserzeugers 29 betrieben, die zu einer Leerrohrgasgeschwindigkeit zwischen 0,2 m/s und 2,0 m/s, vorzugsweise zwischen 0,4 m/s und 1,6 m/s, noch mehr bevorzugt zwischen 0,6 m/s und 1,4 m/s, noch mehr bevorzugt zwischen 0,6 m/s und 1,2 m/s führt.

[0047] Das im Gegenstrom durch die Wärmetauscherrohre 7 strömende Wärmeträger-Gas verbessert den Wärmeübergang zwischen dem Schüttgut 20 und dem durch den Innenraum 6 strömenden Wärmeträgerfluid. Dabei dient das Wärmeträger-Gas einerseits als direktes Wärmeübertragungsmedium; andererseits sorgt das

Wärmeträger-Gas für eine mechanische Umlagerung der Schüttgutpartikel zueinander und zu den Innenwänden der Rohre 7.

[0048] Zudem nimmt das Wärmeträger-Gas selbst Wärme vom Schüttgut 20 auf beziehungsweise gibt Wärme an das Schüttgut 20 ab.

[0049] Wenn das Schüttgut 20 im Schüttgut-Wärmetauscher gekühlt werden soll, wird das Wärmeträger-Gas im Wärmetauscher 32 vorgekühlt. Wenn das Schüttgut 20 im Schüttgut-Wärmetauscher erwärmt werden soll, wird das Wärmeträger-Gas im Wärmetauscher 32 vorgewärmt. Wenn das Wärmeträger-Gas gekühlt wird, kann hierdurch auftretendes Kondensat im Kondensat-Abscheider 33 abgeschieden werden.

[0050] Die für die Erzielung eines optimalen Wärmeübergangs auf das Schüttgut 20 einzustellende Wärmeträger-Gasmenge kann von der Auslauftemperatur des Schüttguts 20 abhängig sein. Dies kann beim Schüttgut-Wärmetauscher nach Fig. 1 berücksichtigt werden. In diesem Fall wird mit dem Temperatursensor 44 die Temperatur des Schüttguts 20 im Austragsabschnitt 3 beziehungsweise im Fallrohr 24 bestimmt. Durch entsprechende Ansteuerung des Druckgaserzeugers 29 über die Steuereinrichtung 45 wird dann die Wärmeträger-Gasmenge in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur und von der aktuellen Leistung des Druckgaserzeugers 29, also von der aktuellen Gasmenge, verändert.

[0051] Die schematischen Diagramme der Fig. 5 bis 8 zeigen typische Zusammenhänge zwischen Parametern des Schüttguts 20 und der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit. Die kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit $V_{Lg, kr}$ steigt mit steigender Schüttdichte ρ_{Sch} (vergleiche Fig. 5). Die kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit $V_{Lg, kr}$ steigt mit dem mittleren Partikeldurchmesser d_p (vergleiche Fig. 6). Die kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit $V_{Lg, kr}$ steigt mit den Volumen V_H der Hohlräume 40 zwischen den Schüttgutpartikeln (vergleiche Fig. 7). Die kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit $V_{Lg, kr}$ steigt mit der Partikeldichte ρ_p (vergleiche Fig. 8).

[0052] Die Hohlraum-Volumina können zu einem Hohlraumanteil zwischen den Schüttgutpartikeln führen, der in der Regel zwischen 30 % und 70 % und oftmals zwischen 35 % und 60 % liegt.

[0053] Das Schüttgut 20 kann einen typischen mittleren Partikeldurchmesser (Durchmesser einer Kugel gleichen Volumens) im Bereich zwischen 0,5 mm und 15 mm, zum Beispiel zwischen 1 und 10 mm, haben. Hierbei werden Feinanteile, Stab oder feiner Kornbruch nicht berücksichtigt. Der mittlere Partikeldurchmesser ist insbesondere im Bereich von 2 mm bis 6 mm.

[0054] Eine weitere Ausführung eines Schüttgut-Wärmetauschers wird nachfolgend anhand der Fig. 2 beschrieben. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend schon unter Bezugnahme auf die Fig. 1 erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0055] Bei der Ausführung nach Fig. 2 ist dem Zulauf-

stutzen 4 eine Zuführ-Zellenradschleuse 46 direkt vorgeordnet. Die Zuführ-Zellenradschleuse 46 dichtet den Zulaufstutzen 4 zuführseitig im Wesentlichen ab.

[0056] Bei der Ausführung nach Fig. 2 ist der Abgasstutzen 34 druckdicht mit einer Förderleitung 47 für das Wärmeträger-Gas verbunden. In der Förderleitung 47 ist ein Filter beziehungsweise ein Zyklon 48 zur Reinigung des durch die Förderleitung 47 geführten Wärmeträger-Gases, insbesondere zur Staubabscheidung, angeordnet. Über eine nicht dargestellte Verbindungsleitung kann die Förderleitung 47 mit dem Ansaugfilter 31 und der Saugleitung 30 verbunden sein, sodass insgesamt ein geschlossenes Leitungssystem zur Führung des Wärmeträger-Gases resultiert.

[0057] Bei der Ausführung nach Fig. 2 kann auf den zusätzlichen Sauggaserzeuger (vergleiche Sauggaserzeuger 38 in der Fig. 1) verzichtet werden. Die gesamte Gasmenge und die gesamte Führung des Wärmeträger-Gases wird vom Druckgaserzeuger 29 bereitgestellt. Bei der Ausführung nach Fig. 2 steht insbesondere auch der Pufferabschnitt 1 unter Druck.

[0058] Eine weitere Ausführung eines Schüttgut-Wärmetauschers wird nachstehend anhand der Fig. 3 erläutert. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend schon unter Bezugnahme auf die Schüttgut-Wärmetauscher nach den Fig. 1 und 2 erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0059] Anstelle eines Abgasstutzens (vergleiche Abgasstutzen 34 in den Fig. 1 und 2) hat der Pufferabschnitt 1 des Schüttgut-Wärmetauschers nach Fig. 3 eine konzentrisch zum Zulaufstutzen 4 angeordnete Abgas-Ringleitung 49, die vom koaxial hierzu angeordneten Zulaufstutzen 4 durchtreten wird. Die Ringleitung 49 beziehungsweise ein entsprechend angeordneter konzentrischer Spalt steht wiederum mit einer Verbindungsleitung 50 in Fluidverbindung, die wiederum unterhalb des Ansaugtrichters 36 endet.

[0060] Unterhalb der Ausmündung des Zulaufstutzens 4 in den Pufferabschnitt 1 ist als Schüttgut-Verteilereinheit 51 ein Konus angeordnet. Die Spitze 52 des Konus 51 ist dem Zulaufstutzen 4 zugewandt. Die Spitze 52 ist zentrisch unterhalb der Ausmündung des Zulaufstutzens 4 in den Pufferabschnitt 1 angeordnet. Die Schüttgut-Verteilereinheit 51 ist um eine zentrale Längsachse des Pufferabschnitts 1 rotationssymmetrisch.

[0061] In den Pufferabschnitt 1 des Schüttgut-Wärmetauschers nach Fig. 3 mündet eine Sichtungsgas-Zuführleitung 53 ein. Letztere steht mit einer Sichtungsgas-Zuführeinrichtung 54 in Form eines weiteren Druckgaserzeugers in Verbindung.

[0062] Über die Sichtungsgas-Zuführleitung 53 kann Sichtungsgas in den Pufferabschnitt 1 eingeblasen werden, wodurch das zugeführte Schüttgut 20 gesichtet werden kann. Alternativ ist es auch möglich, das Sichtungsgas über die Zuführeinrichtung für das Wärmeträger-Gas zuzuführen, also über den Druckgaserzeuger 29 oder den Sauggaserzeuger 39.

[0063] Eine weitere Ausführung eines Schüttgut-Wärmetauschers wird nachfolgend anhand der Fig. 4 erläutert. Komponenten, die denjenigen entsprechen, die vorstehend schon unter Bezugnahme auf die Ausführungen nach den Fig. 1 bis 3 beschrieben wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0064] Die Wärmeträger-Gasführung unterscheidet sich beim Schüttgut-Wärmetauscher nach Fig. 4 von demjenigen nach Fig. 1 in Folgendem: Der Schüttgut-Wärmetauscher nach Fig. 4 hat keinen Druckgaserzeuger (vergleiche Druckgaserzeuger 29 in der Fig. 1). Das Schüttgut wird den Wärmetauschern nach Fig. 4 über eine hinreichend gasdichte Zellenradschleuse 46 zugeführt. Zudem fehlt beim Schüttgut-Wärmetauscher nach Fig. 4 die offene Stelle 35. Der Abgasstutzen 34 ist druckdicht mit der Saugleitung 37 verbunden. Zur Erzeugung einer durch den Schüttgut-Wärmetauscher geförderten Wärmeträger-Gasmenge reicht bei der Ausführung nach Fig. 4 also der Sauggaserzeuger 38 aus. In diesem Falle ist also der Sauggaserzeuger 38 die Gas-Zuführeinrichtung. Für die Einstellung der Leistung des Sauggaserzeugers 38 gilt daher, insbesondere im Zusammenhang mit der Bestimmung der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit im Vorbereitungs-Betrieb des Schüttgut-Wärmetauschers, was vorstehend zum Druckgaserzeuger 29 der Ausführungen nach den Fig. 1 und 3 erläutert wurde.

[0065] Das durch das Schüttgut 20 strömende Wärmeträger-Gas kann insbesondere auch eine Trocknung des Schüttguts herbeiführen. Hierzu kann das Wärmeträger-Gas in der Gas-Zuführleitung 28 vorgetrocknet werden.

[0066] Ein Beispiel für das Schüttgut 20 ist pelletiertes Tierfutter mit einer Schüttdichte von 650 kg/m^3 und einer Partikeldichte von 1461 kg/m^3 . Der sich hieraus ergebende Hohlraum-Volumenanteil ist 56 %. Die Tierfutter-Pellets sind stäbchenförmig mit einem Durchmesser der Stäbchen von etwa 5 mm und einer Länge von etwa 10 bis 25 mm. Die optimale Leerrohrgasgeschwindigkeit zur Erzielung eines effizienten Wärmeübergangs vom Schüttgut 20 auf das Wärmeträgerfluid liegt im Bereich von etwa 0,8 m/s bis 1,4 m/s.

[0067] Bei einem weiteren Beispiel ist das Schüttgut 20 ein unter Wasser granuliertes Kunststoffgranulat mit einer Schüttdichte von 530 kg/m^3 und einer Feststoffdichte von 950 kg/m^3 . Es ergibt sich hieraus ein Hohlraum-Volumenanteil von 42 %. Der äquivalente volumengleiche Kugeldurchmesser dieses Granulats beträgt 3,8 mm. Das Schüttgut 20 wurde von einer Temperatur von 90° bis 95° C mit Hilfe von Kühlwasser mit einer Temperatur von etwa 20° bis 30° C gekühlt und es wurden verschiedene Wärmeträger-Gasmengen eingeblasen. Die ermittelte kritische Leerrohrgasgeschwindigkeit lag bei 0,7 m/s bis 0,9 m/s, wobei im Bereich der Leerrohrgasgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 1,1 m/s ein guter Wärmeübergang vom Schüttgut auf das Wärmeträgerfluid festgestellt wurde. Weiterhin wurde bei den

durchgeführten Messungen ein Druckverlustmaximum zwischen dem Pufferabschnitt 1 und dem Austragsabschnitt 3 bei einer kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit im Bereich von 0,7 m/s bis 0,9 m/s festgestellt. Für die Versuche wurden verschiedene Rohrdurchmesser im Bereich von 25 mm bis 50 mm verwendet.

[0068] Typische Wärmeleitfähigkeitswerte für das Schüttgut 20 liegen im Bereich zwischen 0,05 und 0,25 W/mK, so lange die Schüttungen nicht gasdurchströmt sind.

[0069] Neben Luft können als Wärmetauscher-Gas auch andere Gase, insbesondere Stickstoff, Kohlendioxid, Offgas, also Stickstoff verunreinigt mit diverser Kohlenwasserstoff, und gegebenenfalls auch Wasserdampf, zum Einsatz kommen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung zum Kühlen oder Heizen von Schüttgut

- mit einem ein Gehäuse (5) aufweisenden Wärmetauscherabschnitt (2),
- mit im Gehäuse (5) im Wesentlichen in Schwerkraftrichtung angeordneten Wärmetauscherrohren (7) oder plattenförmigen Wärmetauscher-elementen,
- mit einer in das Gehäuse (5) einmündenden Zuführung (8) für ein Wärmeträgerfluid,
- mit einer aus dem Gehäuse (5) ausmündenden Abführung (9) für das Wärmeträgerfluid,
- mit einem am oberen Ende der Wärmetauscherrohre (7) oder den plattenförmigen Wärmetauscher-elementen angeordneten Schüttgut-Eintragsabschnitt (1) zur Zuführung des Schüttguts (20) in die Rohre (7) oder die plattenförmigen Wärmetauscher-elemente,
- mit einem am unteren Ende der Wärmetauscherrohre (7) oder der plattenförmigen Wärmetauscher-elemente angeordneten Schüttgut-Austragsabschnitt (3) zur Abführung des Schüttguts (20) aus den Rohren (7) oder der plattenförmigen Wärmetauscher-elemente,
- mit einer in den Schüttgut-Austragsabschnitt (3) einmündenden Zuführleitung (28) für ein Wärmeträger-Gas,
- mit einer aus dem Schüttgut-Eintragsabschnitt (1) ausmündenden Abführleitung (34; 49) für das Wärmeträger-Gas,
- mit einer Gas-Zuführeinrichtung (29; 38), die das Wärmeträger-Gas im Gegenstrom zum Schüttgutstrom von der Zuführleitung (28) über die Rohre (7) oder die plattenförmigen Wärmetauscher-elemente hin zur Abführleitung (34; 49) führt,

dadurch gekennzeichnet, dass mit der Gas-Zu-

- föhreinrichtung (29; 38) eine derart große Gasmenge bereitgestellt wird, dass das Wärmeträger-Gas in den Rohren (7) oder den plattenförmigen Wärmetauscherelementen eine Leerrohrgasgeschwindigkeit hat, die im Bereich zwischen 20 % und 200 % einer kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Gas-Zuföhreinrichtung (29; 38) eine derart große Gasmenge bereitgestellt wird, dass das Gas in den Rohren (7) oder den plattenförmigen Wärmetauscherelementen eine Leerrohrgasgeschwindigkeit hat, die im Bereich zwischen 0,2 und 2,0 m/s liegt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2 mit folgenden Schritten:
- Bestimmen einer kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit ($v_{Lg, kr}$) durch
 - Betreiben der Vorrichtung mit einer ersten, niedrigen Gegenstrom-Gasmenge,
 - schrittweises Erhöhen der Gasmenge bei gleichzeitiger Überwachung eines Differenzdrucks zwischen dem oberen Pufferabschnitt (1) und dem Austragsabschnitt (3) und/oder bei gleichzeitiger Überwachung einer Schüttguttemperatur im Austragsabschnitt (3) bis zum Erreichen einer kritischen Gasmenge, die der zu bestimmten Leerrohrgasgeschwindigkeit ($v_{Lg, kr}$) entspricht,
 - Betreiben der Vorrichtung mit einer Gasmenge im Bereich zwischen 20 % und 200 % der kritischen Leerrohrgasgeschwindigkeit.
4. Verfahren nach Anspruch 3 mit folgenden Schritten:
- Bestimmen der Temperatur des Schüttguts (20) im Austragsabschnitt (3),
 - Verändern der Wärmeträger-Gasmenge in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur, bis eine weitere Veränderung der Wärmeträger-Gasmenge zu keiner weiteren Temperaturänderung föhrt.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4 mit folgenden Schritten:
- Bestimmen des Differenzdrucks zwischen dem oberen Pufferabschnitt (1) und dem Austragsabschnitt (3),
 - Verändern der Wärmeträger-Gasmenge in Abhängigkeit vom gemessenen Differenzdruck, bis der Differenzdruck ein Maximum erreicht.
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet durch** einen Filter (31, 34, 39, 48) im Weg des Wärmeträger-Gases vor der Einmündung der Zuföhrlleitung (28) und/oder im Weg des Wärmeträger-Gases nach der Ausmündung der Abföhrlleitung (34; 49).
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **gekennzeichnet durch** eine Zellenradschleuse (46) zum Zuföhren des Schüttguts (20) in den Eintragsabschnitt (1).
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **gekennzeichnet durch** ein Sieb (4a; 4b) im Weg des Schüttguts (20) vor oder in dem Eintragsabschnitt (1).
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **gekennzeichnet durch** eine zentrisch in den Eintragsabschnitt einmündende Schüttgut-Zuföhrlleitung (4).
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schüttgut-Zuföhrlleitung (4) im Eintragsabschnitt (1) eine Schüttgut-Verteilereinheit (51) nachgeordnet ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abföhrlleitung (49) koaxial zur Schüttgut-Zuföhrlleitung (4) angeordnet ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **gekennzeichnet durch** eine in den Eintragsabschnitt (1) einmündenden Sichtungsgas-Zuföhrlleitung (59), die mit der oder einer weiteren Gas-Zuföhreinrichtung (54) in Verbindung steht.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmetauscherrohre (7) oder die plattenförmigen Wärmetauscherelemente ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser haben im Bereich zwischen 10 und 300, insbesondere im Bereich zwischen 30 und 250.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **gekennzeichnet durch**
- einen Temperatursensor (44) zur Bestimmung der Temperatur des Schüttguts (20) im Austragsabschnitt (3),
 - eine Steuereinrichtung (45), die mit dem Temperatursensor (44) und der Gas-Zuföhreinrichtung (29; 38) in Signalverbindung steht.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 14, **gekennzeichnet durch**
- einen Differenzdrucksensor (34a) zur Bestimmung eines Differenzdrucks zwischen dem

Schüttgut-Eintragsabschnitt (1) und dem Austragsabschnitt (3),
 - eine Steuereinrichtung (45), die mit dem Differenzdrucksensor (34) und der Gas-Zuführeinrichtung (29; 38) in Signalverbindung steht.

5

Claims

1. Method for operating a device for cooling or heating bulk material

10

- with a heat exchanger section (2) comprising a housing (5),
 - with heat exchanger pipes (7) or plate-like heat exchanger elements arranged in the housing (5) essentially in the direction of gravity,
 - with an inlet (8) opening into the housing (5) for a heat carrier fluid,
 - with an outlet (9) opening out of the housing (5) for the heat carrier fluid,
 - with a bulk material entry section (1) arranged at the upper end of heat exchanger pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements for supplying the bulk material (20) into the pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements,
 - with a bulk material output section (3) arranged at the lower end of the heat exchanger pipes (7) or the plate-like heat-exchanger elements for removing the bulk material (20) out of the pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements,
 - with a feed pipe (28) for a heat exchanger gas opening into the bulk material output section (3),
 - with a removal pipe (34; 49) for the heat exchanger gas opening out of the bulk material entry section (1),
 - with a gas supply device (29; 38), which guides the heat exchanger gas in a counter flow relative to the bulk material flow from the feed pipe (28) via the pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements up to the removal pipe (34; 49),
characterised in that by means of the gas supply device (29; 38) such a large amount of gas is provided that the heat carrier gas in the pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements has an empty pipe gas velocity, which lies in a range of between 20% and 200% of a critical empty pipe gas velocity.

15

20

25

30

35

40

45

2. Method according to claim 1,
characterised in that by means of the gas supply device (29; 38) such a large amount of gas is provided that the gas in the pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements has an empty pipe gas velocity which is in a range of between 0.2 and 2.0 m/s.

50

55

3. Method according to any one of claims 1 to 2 comprising the following steps:

- determining a critical empty pipe gas velocity ($v_{Lg, kr}$) by
 - running the device with a first, low counterflow gas amount,
 - increasing step-by-step the amount of gas at the same time as monitoring a differential pressure between the upper buffer section (1) and the output section (3) and/or at the same time as monitoring a bulk material temperature in the output section (3) until reaching a critical gas amount which corresponds to the empty pipe gas velocity ($v_{Lg, kr}$) to be determined,
 - operating the device with a gas amount that is in a range of between 20 % and 200 % of the critical empty pipe gas velocity.

4. Method according to claim 3 comprising the following steps:

- determining the temperature of the bulk material (20) in the output section (3),
 - changing the heat carrier gas amount as a function of the measured temperature until a further change of the heat carrier gas amount does not lead to a further change in temperature.

5. Method according to claim 3 or 4 comprising the following steps:

- determining the differential pressure between the upper buffer section (1) and the output section (3),
 - changing the heat carrier gas amount as a function of the measured differential pressure until the differential pressure reaches a maximum.

6. Device for performing the method according to any one of claims 1 to 5, **characterised by** a filter (31, 34, 39, 48) in the path of the heat carrier gas ahead of the inlet opening of the feed pipe (28) and/or in the path of the heat carrier gas after the outlet opening of the removal pipe (34; 49).

7. Device according to claim 6, **characterised by** a rotary feeder (46) for supplying the bulk material (20) to the entry section (1).

8. Device according to any one of claims 6 to 7, **characterised by** a sieve (4a; 4b) in the path of the bulk material (20) ahead of or in the entry section (1).

9. Device according to any one of claims 6 to 8, **characterised by** a bulk material feed pipe (4) opening centrally into the entry section.

10. Device according to any one of claims 6 to 9, **characterised in that** a bulk material distributor unit (51) is arranged downstream of the bulk material feed

pipe (4) in the entry section (1).

11. Device according to any one of claims 6 to 9, **characterised in that** the removal pipe (49) is arranged coaxially relative to the bulk material feed pipe (4). 5
12. Device according to any one of claims 6 to 11, **characterised by** a sifting gas feed pipe (59) opening into the entry section (1) which is connected to the or a further gas feed device (54). 10
13. Device according to any one of claims 6 to 12, **characterised in that** the heat exchanger pipes (7) or the plate-like heat exchanger elements have a length to diameter ratio in a range of between 10 and 300, in particular in a range of between 30 and 250. 15
14. Device according to any one of claims 6 to 13, **characterised by** 20
 - a temperature sensor (44) for determining the temperature of the bulk material (20) in the output section (3),
 - a control device (45) which is in signal connection with the temperature sensor (44) and the gas supply device (29; 38). 25
15. Device according to any one of claims 6 to 14, **characterised by** 30
 - a differential pressure sensor (34a) for determining a differential pressure between the bulk material entry section (1) and the output section (3),
 - a control device (45) which is in signal connection with the differential pressure sensor (34) and the gas supply device (29; 38). 35

Revendications 40

1. Procédé de fonctionnement d'un dispositif de refroidissement ou de chauffage de produits en vrac 45
 - comprenant un carter (5) présentant un compartiment échangeur de chaleur (2),
 - comprenant des tuyaux échangeurs de chaleur (7), ou des éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques, disposés dans l'ensemble dans la direction gravitationnelle dans le carter (5), 50
 - comprenant une alimentation (8) débouchant dans le carter (5) pour le fluide caloporteur,
 - comprenant une évacuation (9) sortant du carter (5) pour le fluide caloporteur, 55
 - comprenant une partie d'introduction de produits en vrac (1) disposée sur l'extrémité supérieure des tuyaux échangeurs de chaleur (7), ou

des éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques, pour l'alimentation du produit en vrac (20) dans les tuyaux (7) ou dans les éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques,

- comprenant une partie de sortie du produit en vrac (3) disposée à l'extrémité inférieure des tuyaux échangeurs de chaleur (7), ou des éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques, pour l'évacuation du produit en vrac (20) à partir des tuyaux (7), ou des éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques,
- comprenant une canalisation d'entrée (28) pour un gaz caloporteur, débouchant sans la partie de sortie du produit en vrac (3),
- comprenant une canalisation de sortie (34 ; 49) pour le gaz caloporteur, sortant de la partie d'introduction de produits en vrac (1),
- comprenant un dispositif d'alimentation en gaz (29 ; 38) qui emmène le gaz caloporteur à contre courant du flux de produit en vrac de la canalisation d'entrée (28) en passant par les tuyaux (7), ou par les éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques, jusqu'à la canalisation de sortie (34 ; 49),

caractérisé en ce qu'une quantité de gaz si importante est disponible avec le dispositif d'alimentation en gaz (29 ; 38) que le gaz caloporteur possède dans les tuyaux (7), ou dans les éléments échangeurs de chaleur sous forme de plaques, une vitesse d'écoulement de gaz dans une tuyère vide, qui se situe dans un domaine entre 20 % et 200 % d'une vitesse critique d'écoulement du gaz dans une tuyère vide.

2. Procédé selon la revendication 1

caractérisé en ce qu'avec le dispositif d'alimentation en gaz (29 ; 38), une quantité de gaz si importante est disponible que le gaz possède dans les tuyaux (7), ou dans les éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques, une vitesse d'écoulement de gaz dans une tuyère vide, qui se situe entre 0,2 et 2,0 m/s.

3. Procédé selon l'une des revendications de 1 à 2 comprenant les étapes suivantes :

- détermination d'une vitesse critique d'écoulement de gaz dans une tuyère vide ($V_{Lg,kr}$) en

- mettant le dispositif en marche avec une première quantité de gaz, faible, à contre-courant,

- augmentant graduellement la quantité de gaz tout en exerçant une surveillance simultanée de la différence de pression entre la partie d'introduction (1) supérieure et la partie de sortie (3) et/ou tout en exerçant une

- surveillance simultanée d'une température du produit en vrac dans la partie de sortie (3) jusqu'à ce qu'une quantité de gaz critique soit atteinte, ce qui correspond à la vitesse d'écoulement du gaz dans une tuyère vide ($V_{Lg,kr}$) à déterminer,
- mise en marche du dispositif avec une quantité de gaz dans un domaine entre 20 % et 200 % de la vitesse critique d'écoulement du gaz dans une tuyère vide.
4. Procédé selon la revendication 3 comprenant les étapes suivantes :
- détermination de la température du produit en vrac (20) dans la partie de sortie (3),
 - modification de la quantité de gaz caloporteur en fonction de la température mesurée jusqu'à ce qu'une nouvelle modification de la quantité de gaz caloporteur ne conduise plus à une autre modification de la température.
5. Procédé selon les revendications 3 ou 4 comprenant les étapes suivantes :
- détermination de la différence de pression entre la partie d'introduction (1) supérieure et la partie de sortie (3),
 - modification de la quantité de gaz caloporteur en fonction de la différence de pression mesurée jusqu'à ce que la différence de pression atteigne un maximum.
6. Dispositif de fonctionnement du procédé selon l'une des revendications de 1 à 5 **caractérisé par** un filtre (31, 34, 39, 48) sur le trajet du gaz caloporteur avant qu'il ne débouche dans la canalisation d'entrée (28), et/ou sur le trajet du gaz caloporteur après la sortie dans la canalisation de sortie (34 ; 49).
7. Dispositif selon la revendication 6 **caractérisé par** une vanne à roue cellulaire (46) pour l'alimentation du produit en vrac (20) dans la partie d'introduction (1).
8. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 7 **caractérisé par** un tamis (4a ; 4b) dans la trajectoire du produit en vrac (20) avant ou dans la partie de l'introduction (1).
9. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 8 **caractérisé par** une canalisation d'alimentation de produit en vrac (4) débouchant dans la partie d'alimentation de manière centrale.
10. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 9 **caractérisé en ce qu'**une unité de distribution de produit en vrac (51) est disposée après la canalisation d'alimentation de produit en vrac (4) dans la partie d'introduction (1).
11. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 9 **caractérisée en ce que** la canalisation de sortie (49) est disposée de manière coaxiale par rapport à la canalisation d'alimentation du produit en vrac (4).
12. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 11 **caractérisé par** une canalisation d'alimentation en gaz de classification (59), débouchant dans la partie d'introduction (1), qui est en relation avec le, ou un autre, dispositif d'alimentation en gaz (54).
13. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 12 **caractérisé en ce que** les tuyaux échangeurs de chaleur (7), ou les éléments échangeurs de chaleur en forme de plaques, possèdent un rapport longueur sur diamètre dans le domaine entre 10 et 300, en particulier, dans le domaine entre 30 et 250.
14. dispositif selon l'une des revendications de 6 à 13 **caractérisé par**
- un capteur de température (44) pour la détermination de la température du produit en vrac (20) dans la partie de sortie (3),
 - un dispositif de commande (45) qui est en relation par signal avec le capteur de température (44) et le dispositif d'alimentation en gaz (29 ; 38).
15. Dispositif selon l'une des revendications de 6 à 14 **caractérisé par**
- un capteur de différence de pression (34a) pour la détermination de la différence de pression entre la partie d'introduction du produit en vrac (1) et la partie de sortie (3),
 - un dispositif de commande (45) qui est relation par signal avec le capteur de différence de pression (34) et le dispositif d'alimentation en gaz (29 ; 38).

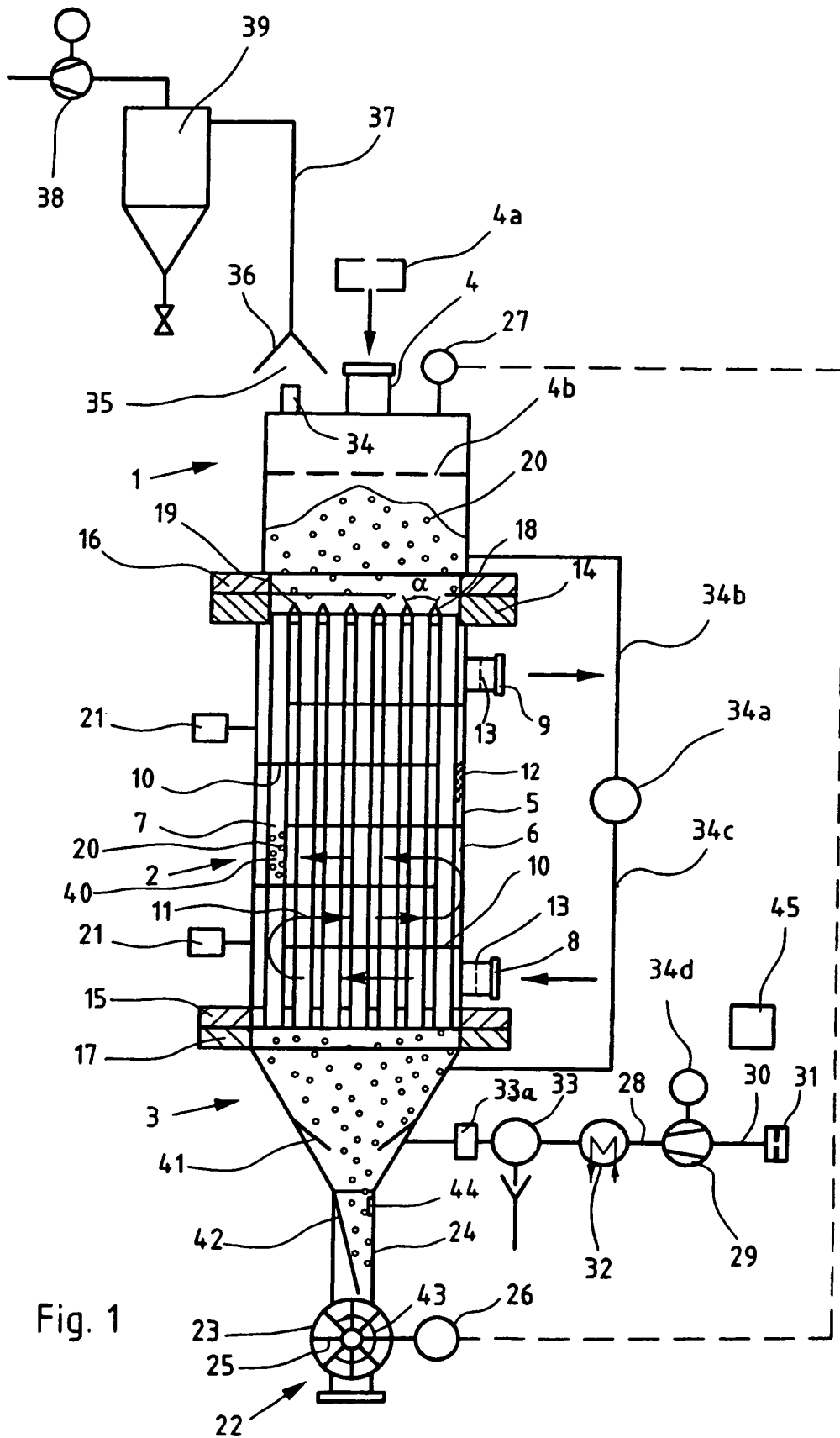


Fig. 1

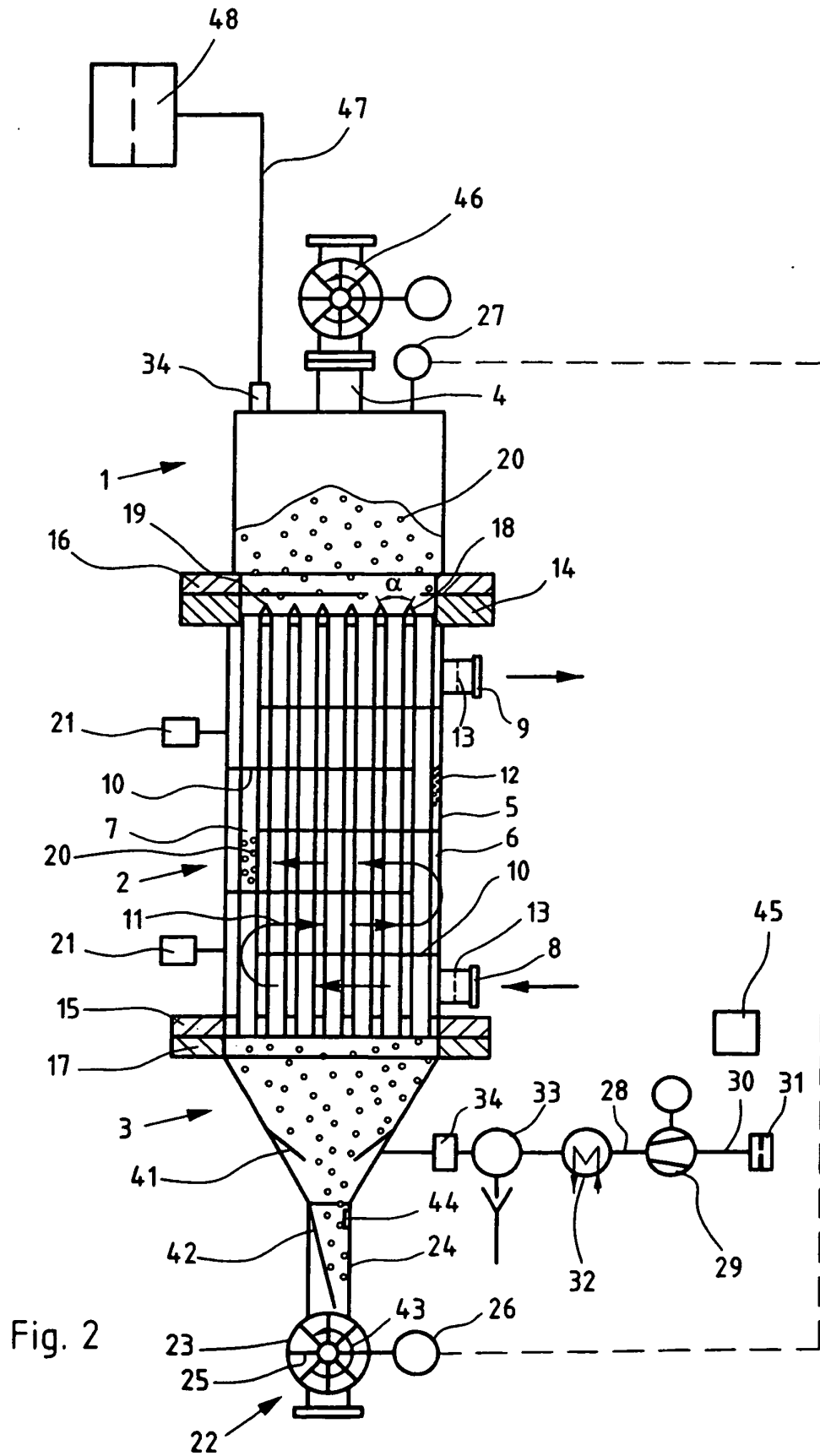


Fig. 2

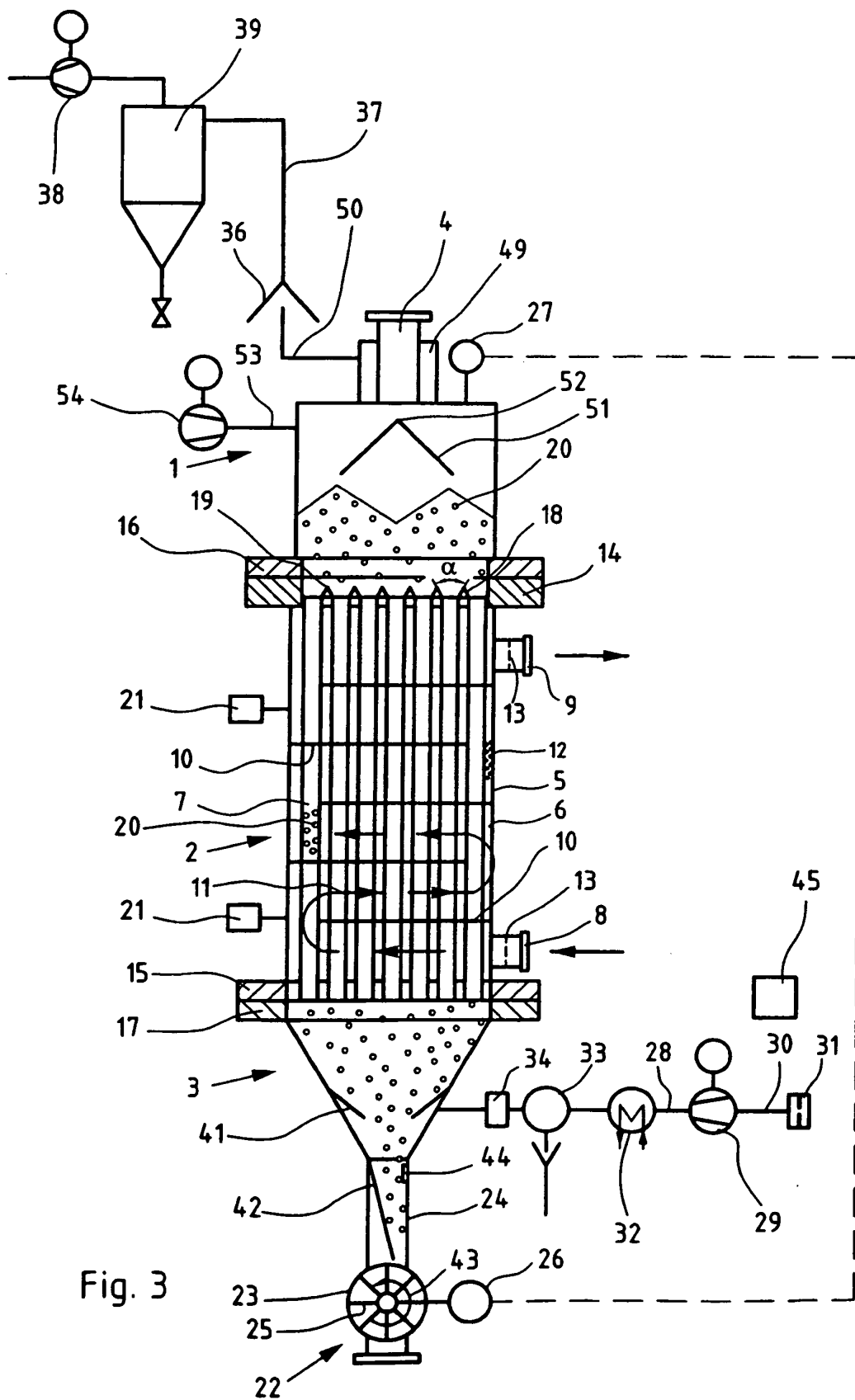
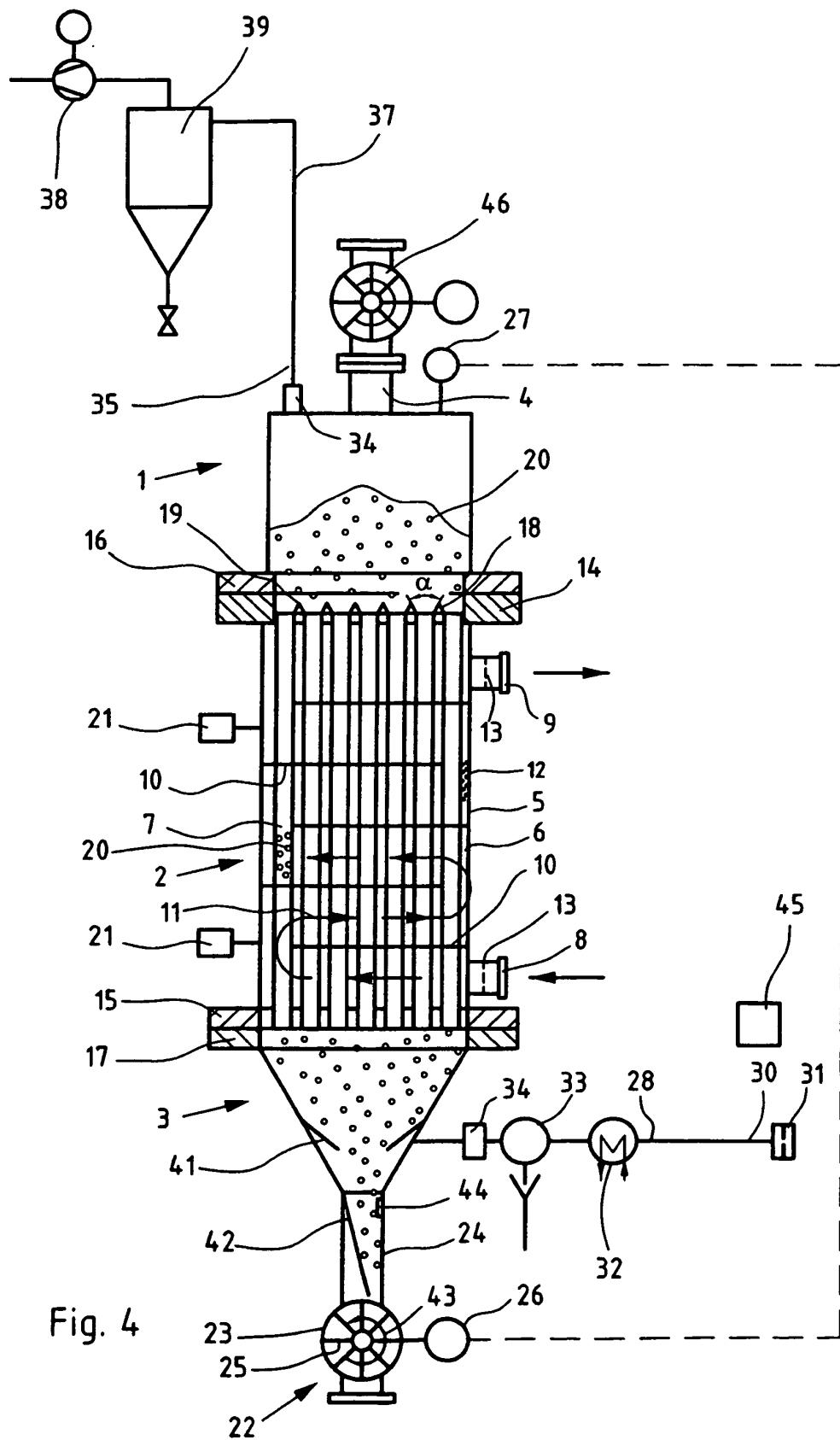


Fig. 3



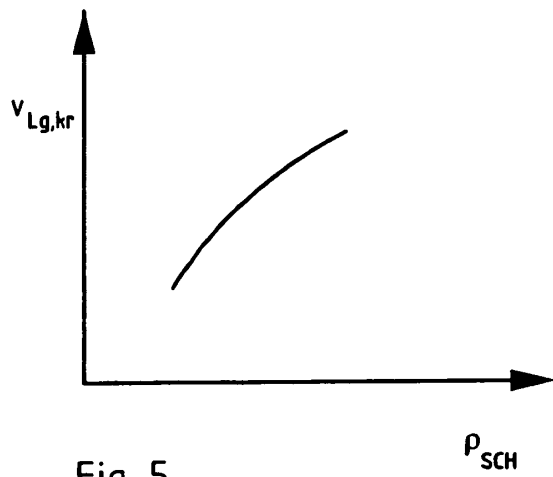


Fig. 5

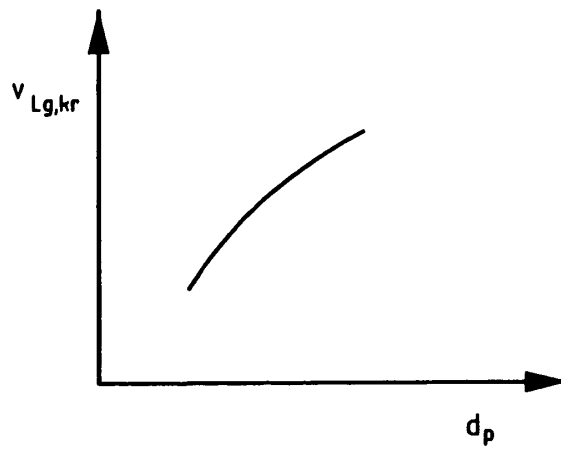


Fig. 6

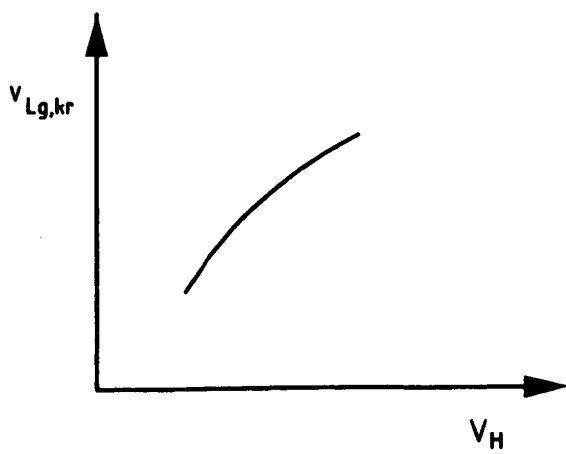


Fig. 7

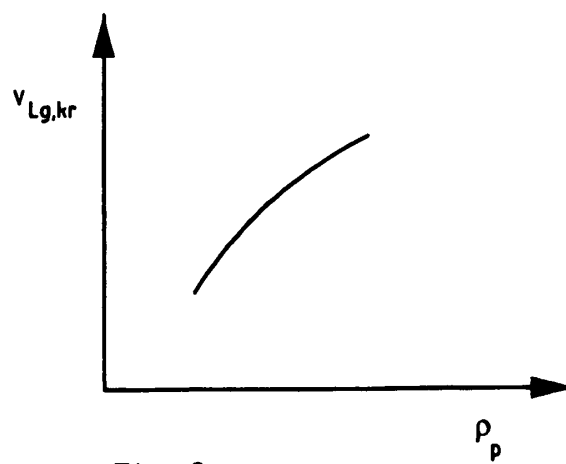


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102004041375 A1 **[0002]** **[0005]**
- EP 1580511 A2 **[0002]**
- EP 0444338 B1 **[0005]**
- DE 10054240 A1 **[0039]**