

Brevet N° **8 1 7 2 9**
 du **27 septembre 1979**
 Titre délivré : **2**

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre
 de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes
 Service de la Propriété Industrielle
 LUXEMBOURG

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

Messieurs Kurt LESCHONSKI, Am Damgraben 20, à 3392 CLAUSTHAL-ZELLERFELD, (1)
 Allemagne Fédérale et Stephan RÖHELE, Hüttenweg 8, à 3392 CLAUSTHAL-ZELLER-
 FELD, Allemagne Fédérale, représentés par Monsieur Jacques de Muyser, (2)
 agissant en qualité de mandataire

dépose ce **vingt-sept septembre 1900 soixante-dix-neuf** (3)
 à **15** heures, au Ministère de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes, à Luxembourg :

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant :

" **Verfahren und Sortieranlage zur trockenen Sortierung von** (4)
körnigen Gemischen aus zwei-oder mehreren polydispersen
Komponenten".

déclare, en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l(es) inventeur(s) est (sont) :
les déposants (5)

2. la délégation de pouvoir, datée de le

3. la description en langue **allemande** de l'invention en deux exemplaires ;

4. **5** planches de dessin, en deux exemplaires ;

5. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg,

le **27 septembre 1979**

revendique pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de

(6) **brevet** déposée(s) en (7) **Allemagne Fédérale**

le **28 septembre 1978 (No. P 28 42 259.5)** (8)

au nom de **s. déposants** (9)

élit domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg

35, bld. Royal (10)

sollicite la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes
 susmentionnées, — avec ajournement de cette délivrance à **//** mois.

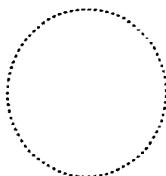
Le mandataire

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie Nationale
 et des Classes Moyennes, Service de la Propriété Industrielle à Luxembourg, en date du :

27 septembre 1979

à **15** heures



Pr. le Ministre
 de l'Économie Nationale et des Classes Moyennes,
 p. d.

BEANSPRUCHUNG DER PRIORITÄT

der Patent/~~Glyf.~~ - Anmeldung

In: DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Vom: 28. SEPTEMBER 1978



PATENTANMELDUNG

in

Luxemburg

Anmelder: Herren Kurt LESCHONSKI und Stephan RÖTHELE

Betr.: "Verfahren und Sortieranlage zur trockenen Sortierung
von körnigen Gemischen aus zwei- oder mehreren polydisperse
Komponenten".



Verfahren und Sortieranlage zur trockenen
Sortierung von körnigen Gemischen aus zwei-
oder mehreren polydispersen Komponenten.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Sortieranlage zur trockenen Sortierung eines körnigen Gemisches mit einer Anzahl p von auszusortierenden körnigen, polydispersen Feststoffkomponenten, deren Partikel die unterschiedliche Dichte und/oder Form und so breite Korngrößen- und Sinkgeschwindigkeitsverteilungen haben, daß sie sich wenigstens teilweise überdecken. Durch die Sortierung des Gemisches in seine Komponenten oder zur Aussortierung bestimmter Komponenten sollen diese rein oder zumindest ausreichend angereichert gewonnen werden.

Die bisher angewendeten Verfahren zur Aussortierung von zur Weiterverarbeitung geeigneten höherwertigen Komponenten aus einem Zwei- bzw. Mehrkomponenten-Gemisch lassen sich in Naß- und Trockenverfahren unterteilen.

Die Naßverfahren lassen sich bei vielen Gemischen nicht anwenden, weil ihre Komponenten nicht mit Flüssigkeiten in Berührung kommen sollen. Dort wo die Naßverfahren anwendbar sind, kann in der Regel als Flüssigkeit zum Trennen kein reines Wasser ver-

wendet werden, weshalb sich die Durchführung dann teuer und auch gefährlich gestaltet, wenn hochgiftige Lösungen oder Suspensionen zu verwenden sind. Diese Verfahren sind auch aus ökologischen Gründen unerwünscht, weil die unvermeidliche Aufbereitung der zur Trennung verwendeten Flüssigkeiten immer Abwasserprobleme mit sich bringt. Diese Verfahren haben bezüglich der Weiterverarbeitung der reinen oder angereicherten Komponenten vielfach den Nachteil, daß die getrennten Komponenten energieaufwendig getrocknet werden müssen.

Aus diesem Grunde besteht ein großer Bedarf an trockenen Sortierverfahren für körnige Gemische. Die bekannten trockenen Sortierverfahren lassen im allgemeinen keine befriedigenden Durchsätze bei guten Trennschäfen und hohen Ausbeuten der auszusortierenden Komponenten zu. Gleiches gilt für die manuellen oder maschinellen Ausleseverfahren. Mit der in der Getreidemüllerei entwickelten Klassierung mittels Zerkleinerung und Siebung auf sog. Plansichtern und sog. Grießputzmaschinen, mit denen leichte Verunreinigungen abgesaugt werden können, gelingt eine befriedigende Sortierung in die Komponenten nur, weil diese im Aufgabegemisch weitgehend monodispers sind und in sich nicht oder allenfalls nur geringfügig überlappenden Kornverteilungen vorliegen. Diese Klassierung versagt, wenn die Komponenten der Gemische polydispers sind und in sich erheblich oder völlig überlappenden Korngrößenverteilungen vorliegen oder wenn sie sich nicht hinsichtlich Dichte und /oder Form ganz erheblich voneinander unterscheiden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein körniges Gemisch mit einer Anzahl von p auszusortierenden Feststoffkomponenten, deren Partikel sich in der Dichte und/oder Form unterscheiden und sich überschneidende Korngrößen- und Sinkgeschwindigkeitsverteilungen aufweisen, derart trocken in die Komponenten zu sortieren, daß sie rein oder stark angereichert, d.h. mit nur einem geringen Anteil an jeweils anderen Komponenten gewonnen werden. Die Ausbeute an den auszusortierenden Komponenten soll hoch sein. Dadurch soll es möglich sein, daß die Komponenten einer geeigneten Neu- bzw. Weiterverwendung oder Wiederverwertung

als Sekundärrohstoff zugeführt werden können. Eine Sortieranlage zur Durchführung des Verfahrens soll preiswert aufgebaut und wirtschaftlich betrieben werden können.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung bei einem Sortierverfahren, bei dem das in das Verfahren eingeführte Aufgabegemisch Klassierungen unterworfen wird, um die auszusortierenden Komponenten zu gewinnen, vor, daß in einer ersten Stufe das Aufgabegemisch in aufeinanderfolgende so schmale Klassen des einen Partikelmerkmals trocken klassiert wird, daß in ihnen die Fraktionen des für eine nachfolgende weitere Klassierung maßgebenden anderen Partikelmerkmals jeder auszusortierenden Komponente von den Fraktionen der anderen Komponenten jeweils getrennt enthalten ist oder deren Fraktionen nur geringfügig überlappt, und daß dann in einer zweiten Stufe aus jeder Klasse des einen Partikelmerkmals jede auszusortierende Komponente durch eine Serie aufeinanderfolgender weiterer Trocken-Klassierungen, für die das andere Partikelmerkmal maßgebend ist, bei Trenngrenzen, die den beiden Grenzen des anderen Partikelmerkmals jeder Fraktion entsprechen, welche Partikel der auszusortierenden Komponente enthält, aussortiert wird.

Die Verwirklichung dieses Verfahrens gelingt in zwei Ausgestaltungen besonders gut, von denen der ersten Ausgestaltung vielfach der Vorzug zu geben ist.

Bei der ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels Siebungen in aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen klassiert wird in denen die Sinkgeschwindigkeitsfraktion jeder auszusortierenden Komponente von den Sinkgeschwindigkeitsfraktionen der anderen Komponenten getrennt enthalten ist oder sie nur geringfügig überlappt, und daß dann in der zweiten Stufe aus Siebkorngrößenklassen jede auszusortierende Komponente durch eine Serie aufeinanderfolgender Windsichtungen jeder dieser Klassen in Fraktionen bei Trennsichtluftgeschwindigkeiten, bei denen jeweils einmal die mit den größten

und einmal die feinsten der noch zu gewinnenden Partikel der Fraktion der jeweils auszusortierenden Komponente wenigstens weitgehend abgetrennt werden, aussortiert wird.

Bei dieser Ausgestaltung des Verfahrens wird also in der ersten Stufe das Ausgangsgemisch durch Sieben in Siebgrößenklassen klassiert und werden in der zweiten Stufe die auszusortierenden Komponenten durch Windsichten der Siebkorngrößenklassen nacheinander abgetrennt.

Die zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht dagegen vor, daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels Windsichtungen in aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen klassiert wird, in denen die Siebkorngrößenfraktion jeder auszusortierenden Komponente von den Siebkorngrößenfraktionen der anderen Komponenten getrennt enthalten ist oder sie nur geringfügig überlappt,

und daß dann in der zweiten Stufe aus Sinkgeschwindigkeitsklassen, nach deren Ausscheidung aus der Sichtluft der Windsichtung, jede auszusortierende Komponente durch eine Serie aufeinanderfolgender Siebungen jeder dieser Klassen (in Fraktionen) bei Maschenweiten, bei denen einmal die größten und einmal die feinsten der noch zu gewinnenden Partikel der Fraktion der jeweils auszusortierenden Komponente wenigstens weitgehend abgetrennt werden, aussortiert wird. Folglich wird das Aufgabegemisch in der ersten Stufe durch Windsichten in Sinkgeschwindigkeitsklassen klassiert und werden in der zweiten Stufe die auszusortierenden Komponenten durch Sieben aus jeder Sinkgeschwindigkeitsklasse abgetrennt.

Die zuvor benutzten Begriffe werden hier mit folgenden Bedeutungen verwendet:

Das Sortieren ist das Trennen eines körnigen Gemisches aus wenigstens zwei hinsichtlich der Stoffart unterschiedlichen Komponenten in die reinen oder stark angereicherten Komponenten, also z.B. das Trennen eines Gemisches aus Kupfer- und Aluminiumpartikeln in eine Kupferfraktion und eine Aluminiumfraktion.

Das Klassieren ist das Trennen eines körnigen Gemisches in zwei Klassen eines Partikelmerkmals seiner Partikel.] Partikel haben unterschiedliche Partikelmerkmale, d.h. Eigenschaften.

Ein Merkmal eines Partikels ist als seine geometrische Korngröße seine Siebkorngröße, das ist die Größe der Maschenweite, durch die das Partikel bei einer Siebung noch gerade hindurchfällt.

Ein anderes Merkmal eines Partikels ist dessen Sinkgeschwindigkeit in einem bestimmten Strömungsmittel, z.B. in Luft, Wasser oder Öl. Die Sinkgeschwindigkeitsangaben beziehen sich hier auf Luft, da alle technischen Windsichtungen im Regelfall in Luft vorgenommen werden. Die Sinkgeschwindigkeit hängt außer von der Korngröße, z.B. der Siebkorngröße, von der Dichte und der Form der Partikel ab. Die Sinkgeschwindigkeit ist nicht direkt proportional der Siebkorngröße.

Andere Partikelmerkmale sind die Form und die spezifische Oberfläche der Partikel.

Als Klasse ist ein Bereich eines ersten Partikelmerkmals zwischen zwei Grenzen bezeichnet.

Als Fraktion ist ein Bereich eines zweiten Partikelmerkmals zwischen zwei Grenzen bezeichnet.

Sinkgeschwindigkeitsklassen bzw. -fraktionen sind Partikelklassen, in denen sich Partikel unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeit zwischen einer oberen und einer unteren Grenze befinden. Sinkgeschwindigkeitsklassen bzw. -fraktionen werden durch aufeinanderfolgende Klassierungen, insbes. mittels Windsichtverfahren (Strömungstrennverfahren) bei jeweils unterschiedlichen Trennsichtluftgeschwindigkeiten erhalten.

Siebkorngrößenklassen bzw. -fraktionen sind Partikelklassen, in denen sich Partikel unterschiedlicher Siebkorngröße mit einer oberen und einer unteren Grenze befinden. Siebkorngrößenklassen werden durch aufeinanderfolgende Siebungen bei jeweils unterschiedlichen Maschenweiten erhalten.

Als Trenngrenze eines Klassierverfahrens, insbes. des Siebens oder Windsichtens, bezeichnet man die Korngröße (Trennkorngröße), die nach der Klassierung zu 50 % in der gröberen (beim Sieben) bzw. der schwereren (beim Windsichten) und zu 50 % in der kleineren (beim Sieben) bzw. leichteren (beim Windsichten) Klasse oder Fraktion enthalten ist. Die Trenngrenze eines Siebes ist bei ausreichend langer Siebung dessen Maschenweite. Die Trenngrenze eines Windsichters bestimmt dessen Trennsichtluftgeschwindigkeit, das ist die Luftgeschwindigkeit, die die Partikel der Trennkorngröße zu 50 % ins Feine und zu 50 % ins Grobe gelangen läßt. Bei der Schwerkraft-Gegenstromwindsichtung gleicht die Trennsichtluftgeschwindigkeit der Sinkgeschwindigkeit der Partikel mit der Trennkorngröße.

Die Erfindung sieht also vor, daß das Aufgabegemisch zunächst in einer ersten Stufe durch Sieben bzw. Windsichten in eine größere Anzahl von mit Hinblick auf die anschließende Abtrennung der auszusortierenden Komponenten ausreichend schmale Klassen des einen Partikelmerkmals (Siebkorngrößenklassen bzw. Sinkgeschwindigkeitsklassen), in denen jeweils die Fraktionen des anderen Partikelmerkmals (Sinkgeschwindigkeitsfraktionen bzw. Siebkorngrößenfraktionen) der einzelnen Komponenten voneinander getrennt vorliegen, sich aneinander anschließen oder nur geringfügig überlappen, trocken klassiert wird. Anschließend werden dann in einer zweiten Stufe aus den so gewonnenen Klassen durch mehrfaches klassenweises weiteres Klassieren in Serien von, i.a. mindestens $(p-1)$, aufeinanderfolgenden weiteren Trocken-Klassierungen durch Sichten bzw. Sieben die Komponenten rein oder angereichert abgetrennt und dadurch aussortiert. Unter Berücksichtigung der erwünschten und der möglichen Sortierung durch weitere Klassierung in der zweiten Stufe, für die das andere Partikelmerkmal der Partikel maßgebend ist, ist die Wahl der Breite der Klassen in der ersten Stufe derart vorzunehmen, daß in der zweiten Stufe jeweils eine Abstufung der Trenngrenzen der Klassierungen möglich ist, bei der diese den beiden Grenzen des anderen Partikelmerkmals der Partikel jeder solchen Fraktion entsprechen, welche Partikel der auszusortierenden Komponente enthält, bei der also die größten Partikel der jeweils leichteren auszusortierenden Komponente gerade noch von den feinsten Partikeln der jeweils schwereren, inbes. auszusortierenden, Komponente getrennt werden. Auf diese Weise gelingt es, die in der ersten Stufe gewonnenen Klassen (Siebkorngrößenklassen bzw. Sinkgeschwindigkeitsklassen) in der zweiten Stufe in ihre Komponenten zu trennen bzw. jede auszusortierende Komponente abzutrennen.

Sofern das Aufgabegemisch in alle seine Komponenten sortiert werden soll, kann dies derart erfolgen, daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels m aufeinanderfolgender Siebungen in $(m+1)$ aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen klassiert wird, bei denen die Maschenweiten x_i für die aufeinanderfolgenden Siebungen derart gewählt sind, daß die Sichtgeschwindigkeitsfraktionen aller Komponenten in jeder Siebkorngrößenklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, und daß dann in der zweiten Stufe jede der $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$ Siebkorngrößenklassen mittels einer Serie von $(p-1)$ aufeinanderfolgenden Windsichtungen in p Sinkgeschwindigkeitsfraktionen jeweils einer Komponente sortiert wird und die jeweils leichten Fraktionen jeder Windsichtung und die jeweils schwere Fraktion der jeweils letzten Windsichtung einzeln oder beliebig zusammengefaßt abgezogen werden

Es werden besonders reine Komponenten gewonnen, wenn die Maschenweite x_i aus der kleineren Maschenweite x_{i+1} des benachbarten Siebes des Siebsatzes entsprechend der Gleichung

$$x_i \leq x_{i+1} \cdot \sqrt[n]{(\rho_S/\rho_L)_{\min}}$$

bestimmt ist,

mit n einem die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der Sichtluftumströmung der Partikel bei der Trennsichtluftgeschwindigkeit berücksichtigenden Parameter zwischen 2 und 1, der im Bereich laminarer Partikelumströmung den Wert 2 und im Bereich turbulenter Partikelumströmung den Wert 1 hat und dessen Wert im Übergangsbereich der Partikelumströmung etwa proportional dem Logarithmus der Reynoldszahl von 2 auf 1 abfällt, und mit $(\rho_S/\rho_L)_{\min}$ dem kleinsten Verhältnis aus der Dichte ρ_S einer schwereren Komponente und der Dichte ρ_L einer leichteren Komponente.

Als Alternative zu diesem Verfahren kann in der ersten Stufe gesichtet und in der zweiten Stufe gesiebt werden. Dann gestaltet sich das Verfahren für die Trennung in alle Komponenten derart daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels m aufeinanderfolgenden Windsichtungen in $(m+1)$ aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen klassiert wird, bei denen die jeweils schwerere Sinkgeschwindigkeitsklasse der ersten $(m-1)$ Windsichtungen der jeweils nachfolgenden Windsichtung als Aufgabegut zugeführt wird und die Trennsichtluftgeschwindigkeiten v_{Li} der aufeinanderfolgenden Windsichtungen derart gewählt sind, daß die Siebkorngrößenfraktionen aller Komponenten in jeder Sinkgeschwindigkeitsklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, und daß dann in der zweiten Stufe jede der $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$, Sinkgeschwindigkeitsklassen mittels einer Serie von $(p-1)$ aufeinanderfolgenden Siebungen in p Siebkorngrößenfraktionen jeweils einer Komponente sortiert wird und die Fraktionen jeweils gleicher Komponente einzeln oder beliebig zusammengefaßt abgezogen werden (Fig. 5 und 6).

In diesem Fall erhält man besonders reine Komponenten, wenn die Trennsichtluftgeschwindigkeiten v_{Li+1} aus der geringeren Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li} der jeweils vor- oder nachgeschalteten Sichtung gemäß der Gleichung

$$v_{Li+1} \leq v_{Li} \cdot \sqrt[n]{(\varrho_S/\varrho_L)_{\min}}$$

bestimmt sind,

mit n einem die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der Sichtluftumströmung der Partikel bei der Trennsichtluftgeschwindigkeit berücksichtigenden Parameter zwischen 1 und 2, der im Bereich laminarer Partikelumströmung den Wert 1 und im Bereich turbulenter Partikelumströmung den Wert 2 hat und dessen Wert im Übergangsbereich der Partikelumströmung etwa proportional dem Logarithmus der Reynoldszahl von 1 auf 2 ansteigt, und mit $(\varrho_S/\varrho_L)_{\min}$ dem kleinsten Verhältnis aus der Dichte ϱ_S einer schwereren Komponente und der Dichte ϱ_L einer leichteren Komponente.

Für die erfindungsgemäße Sortierung kommen als Komponenten alle Stoffarten im Bereich der Aufgabegemische aus der klassischen Aufbereitung infrage, nämlich mineralische Rohstoffe, wie z.B. Gemische aus Kohle, Pyrit und taubes Gestein metallische Rohstoffe, z.B. Erze und taubes Gestein, sowie über den Bereich der klassischen Aufbereitung hinaus Reststoffe und Sonderabfälle als Aufgabegemische, bei denen z.B. Aluminium- und andere NE-Metallanteile aus Schredderschrott nach der Abtrennung von magnetischen Eisenteilen, oder Gummi, Gewebe, Stahlpartikel und Verunreinigungen aus zerkleinerten Altreifen, oder Drähte, Gummi oder Kunststoffe der Ummantelungen und Verunreinigungen aus Kabelresten, oder Sonderprodukte und Kunststoffe aus Resten von Kunststoff-Verbundwerkstoffen, oder Sand aus vermischten Gießereistahl-Strahlmitteln, auszusortieren sind. Die erfindungsgemäße Sortierung führt bei allen denjenigen Aufgabegemischen unterschiedlicher disperser Feststoffe zum anfangs beschriebenen Ziel, bei denen ausreichende Unterschied in der Dichte und/oder Form und damit in der korngrößenabhängigen Sinkgeschwindigkeit der Komponenten vorhanden sind.

Für die Durchführung des Verfahrens wird ein geeignetes Aufgabegemisch benötigt, in dem die zu sortierenden Komponenten getrennt und in einem für das Sieben und Sichten geeigneten Korngrößenbereich vorliegen. In vielen Fällen ist deshalb ein noch nicht geeignetes Ausgangsprodukt vor Aufgabe in die Klassierstufe mindestens durch einen Zerkleinerungsvorgang, vielfach in Verbindung mit einer Klassierung, in einen geeigneten Partikelgrößenbereich zu bringen. Ist das Ausgangsprodukt ein Verbundwerkstoff, so muß wie bei der klassischen Aufbereitung von mineralischen Rohstoffen durch die Zerkleinerung die "Verwachsung" der Komponenten soweit wie möglich beseitigt werden. Die anschließende Sortierung gelingt umso besser, je weitgehender z.B. ein Verbundwerkstoff durch die vorgeschaltete Zerkleinerung in Partikel der einen oder anderen Sorte aufgeschlossen wurde. Bei einer Zwei- oder Mehrkomponentensortierung besteht das Aufgabegemisch für die nachgeschaltete Klassierstufe (Sichten oder Sieben) dann aus einer Mischung zweier oder mehrerer disperser Feststoffe, die sich in ihrer Größen- und Sinkgeschwindigkeitsverteilung unterscheiden.,

Es lassen sich drei Fälle hinsichtlich verschiedener Dichte und/oder Form unterscheiden. Im ersten Fall unterscheiden sich die Komponenten nur in der Feststoffdichte, wohingegen die Form gleich ist. Hier gelingt eine Sortierung in die Komponenten. Im zweiten Fall ist die Dichte der Komponenten gleich aber die Form unterschiedlich. Das Verfahren läßt sich demnach auch auf ein Gemisch von Materialien gleicher Dichte jedoch unterschiedlicher Form zur Formsortierung anwenden. Im dritten Fall, dem Regelfall, unterscheiden sich die Partikel sowohl hinsichtlich der Dichte als auch hinsichtlich der Form. Unterschiede in der Form der Partikel der Komponenten können das Verfahren positiv und negativ beeinflusse

6

So ist es sehr wohl möglich, daß Partikel gleicher Größe zwar unterschiedliche Dichte und Form aber dennoch gleiche Sinkgeschwindigkeit aufweisen, und damit das neue Verfahren nicht angewendet werden kann.

Wie schon beschrieben, muß die Klassierung in der ersten Stufe zu so schmalen Klassen führen, daß aus jeder Klasse in der zweiten Stufe durch eine weitere Klassierung die auszusortierenden Komponenten abgetrennt werden können.

In der zweiten Stufe werden, sofern die Klassierung in der ersten Stufe durch Sieben erfolgt ist, Siebkorngrößenklassen aufgegeben. Die Sortierung jeder derartigen Siebkorngrößenklasse in zwei Komponenten, z.B. mittels einer Schwerkraft-Gegenstromwindsichtung, ist z.B. nur möglich, wenn die Klassengrenzen der Siebklassierung, die durch die Maschenweiten x_i und x_{i+1} aufeinanderfolgende Siebe bestimmt sind, so gewählt werden, daß die Sinkgeschwindigkeit der der jeweils größeren, die obere Klassengrenze bestimmenden Maschenweite x_i entsprechenden spezifisch schwereren Partikel größer ist, oder allenfalls gleich ist, als die Sinkgeschwindigkeit der der jeweils kleineren, die untere Klassengrenze bestimmenden Maschenweite x_{i+1} entsprechenden spezifisch leichteren Partikel ($1 \leq i \leq m$). Bei Mehrkomponenten-Aufgabegemischen müssen die Klassengrenzen so nahe beieinanderliegen, daß sich die Sinkgeschwindigkeitsbereiche aller Komponenten nicht oder nur geringfügig überlappen. Dies ist dann der Fall, wenn die für ein Zweikomponenten-Aufgabegemisch angegebene Bedingung für diejenigen beiden benachbarten Komponenten erfüllt ist, bei denen das Sinkgeschwindigkeitsverhältnis für gleiche Korngrößen am kleinsten ist, die partikelgrößenabhängige Sinkgeschwindigkeitsverteilungen also am engsten beieinanderliegen und damit die schärfste Anforderung an die erste Stufe gestellt ist, damit die Sortierung in der zweiten Stufe gelingt.

In Fig. 1 ist die Abhängigkeit der Siebkorngröße x der Kornverteilungen von vier Komponenten unterschiedlicher Dichten $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$) und jeweils bestimmter Form von der Sinkgeschwindigkeit w_g dargestellt. Das Dichtever-

hältnis der Komponenten 3 und 2 ist das kleinste. Der zwischen diesen Komponenten eingezeichnete Treppenzug bestimmt die Breite der Siebkorngrößenklassen und der Sinkgeschwindigkeitsklassen, die bei der Klassierung in der ersten Stufe erzielt werden müssen, damit die Fraktionen der jeweils anderen Dispersitatsgroe der Komponenten sich anschließen, meist voneinander getrennt sind oder sich höchstens etwas überlappen. Man erkennt, daß sich die Kornverteilungen der vier Komponenten weitgehend überlappen, d.h. im Siebkorngroenbereich x_1 bis x_m sind alle Komponenten gleichermaßen vertreten.

Die Wahl aller Klassengrenzen der ersten Klassierung durch Siebung und damit der Maschenweiten x_i und x_{i+1} benachbarter Siebe, die eine anschließende Windsichtung zur Sortierung ermöglichen, läßt sich demnach aus der Bedingung abschätzen, daß die Sinkgeschwindigkeit der der oberen Klassengrenze entsprechenden spezifisch leichteren Partikel der Sinkgeschwindigkeit der der unteren Klassengrenze entsprechenden spezifisch schwereren Partikel gleicht oder kleiner ist. Hieraus ergibt sich für einen Schwerkraft-Gegenstromwindsichter, weil Gleichheit zwischen Trennsichtluftgeschwindigkeit v_L und der Sinkgeschwindigkeit w_{gt} der Trennkorngröße gefordert wird,

$$v_L = w_{gt} \quad (1)$$

Bestimmende Größe für w_{gt} und damit für v_L ist dabei das für die Partikelumströmung im Windsichter maßgebende Widerstandsgesetz. Generell sind als Art der Umströmung der Partikel die laminare Umströmung ($n=2$) (Bereich A, $Re < 2,5$, in Fig 2) für die das Stokes'sche Widerstandsgesetz bestimmend ist, die turbulente Umströmung ($n=1$) (Bereich C, $Re > 1000$, in Fig. 2), bei der das quadratische Widerstandsgesetz gültig ist, und die zwischen diesen liegende ubergangsbereichsumstromung (Bereich B in Fig. 2) zu unterscheiden ($1 \leq n \leq 2$). n ist ein die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der

Partikelumströmung mit der Trennsichtluftgeschwindigkeit w_{gt} berücksichtigender Parameter. Die Widerstandsbeiwertkurve, die die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwerts c_w von der Reynolds-Zahl $Re = x \cdot v_L / \nu$ (ν = kinematische Zähigkeit) angibt, und die Kurve des Parameters n in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl sind in Fig. 2 dargestellt.

Nimmt man kugelförmige Partikel an, vernachlässigt man also den Formeinfluß, so läßt sich als allgemeine Lehre für die Wahl der Klassengrenzen bzw. für die Abstufung der Siebe die bereits oben angegebene Bedingung formulieren zu

$$x_i \leq x_{i+1} \cdot \sqrt[n]{(\rho_S / \rho_L)_{\min}} ; 2 \geq n \geq 1 \quad (2)$$

d.h. die Abstufung der Maschenweite x_i gegenüber der benachbarten kleineren Maschenweite x_{i+1} berechnet sich vereinfacht weitgehend aus der n -ten Wurzel des kleinsten Dichteverhältnisses der Partikel einer schwereren Komponente mit der Dichte ρ_S zu den Partikeln einer leichteren Komponente des Aufgabegemisches mit der Dichte ρ_L . Bei Zweikomponenten-Aufgabegemischen ist also das Dichteverhältnis der beiden Komponenten maßgebend. Bei Mehrkomponenten-Aufgabegemischen wird das kleinste Dichteverhältnis aus den Komponenten gebildet, deren körngrößenabhängige Sinkgeschwindigkeitsverteilungen am nächsten beieinanderliegen. n hat im laminaren Bereich den Wert 2 und im turbulenten Bereich den Wert 1.

Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, daß man davon ausgehen kann, daß die Windsichtung von groben Partikeln im allgemeinen in turbulenter Umströmung erfolgt und demnach n für angenähert kugelförmige Partikel nahe bei 1 liegen wird, während bei stark von der Kugelform abweichenden Partikeln und bei Sichtungen im Übergangsbereich zwischen laminarer und turbulenter Umströmung n nahe bei 1,5 liegt. Bei der Sichtung feiner Partikel geht der Formeinfluß zurück; sie wird bevorzugt im laminaren Bereich stattfinden, so daß die Zahl n näher bei 2 liegt. In welchem Strömungsbereich eine optimale Verwirklichung des Verfahrens stattfinden kann, hängt von der Formvielfalt und von den Dichten der beteiligten Komponenten des Aufgabegemisches ab. Daher ist unter Umständen das Ausgangsprodukt zunächst durch eine zusätzliche Zerkleinerung und Klassierung in den günstigsten Korngrößenbereich zu bringen.

Die Bedingung (2) für die Abstufung der Siebmaschenweiten muß nur "weitgehend" erfüllt sein. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, daß die Trennschnitte nicht notwendigerweise bei den Maschenweiten, die die Rechnung ergeben, durchgeführt werden müssen sondern auf handelsübliche Siebe mit genormten Maschenweiten zurückgegriffen werden kann, so daß eine Sonderanfertigung der Siebe mit Maschenweiten, die die Rechnung ergeben, nicht erforderlich ist. Die genormten Siebreihen stellen eine genügend große Anzahl von Maschenweiten zur Realisierung des Verfahrens zur Verfügung, um den in den Ansprüchen angegebenen Bedingungen technische "weitgehend" zu entsprechen. Darüberhinaus sind Anwendungen denkbar, die zur Erreichung großer Trennschärfen und damit besserer Anreicherungen und Ausbeuten Sonderanfertigungen von Sieben mit bestimmten, nicht genormten Maschenweiten rechtfertigen.

6

Umgekehrt ergibt sich für eine Klassiersichtung in der ersten Stufe in Sinkgeschwindigkeitsklassen die Bedingung für die erforderliche Abstufung der Trennsichtluftgeschwindigkeiten, um eine Siebsortierung in der zweiten Stufe zu ermöglichen, zu

$$v_{Li+1} \leq v_{Li} \cdot \sqrt[n]{(\rho_S/\rho_L)_{\min}} ; 1 \leq n \leq 2 \quad (3)$$

d.h., die Abstufung der jeweils höheren Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li+1} gegenüber der jeweils niedrigeren Trennluftgeschwindigkeit v_{Li} des vor- oder nachgeschalteten Sichters berechnet sich auch allgemein vereinfacht weitgehend aus der n-ten Wurzel des kleinsten Dichteverhältnisses der Partikel einer schwereren Komponente zu den Partikeln einer leichteren Komponente des Aufgabegemisches, wobei $n=1$ im laminaren Bereich gilt.

Für die technische Realisierung muß die die Art der Umströmung der Partikel durch die Sichtluft berücksichtigende Zahl n so gewählt werden, daß sowohl die im Windsichter herrschende Anströmbedingung als auch der möglicherweise konkurrierende Formeinfluß der zu trennenden Partikel berücksichtigt wird. Dies ist für jede Anwendung des Verfahrens in Vorversuchen experimentell festzustellen.

Erfolgt die Klassierung in der ersten Stufe durch Siebung, so werden die dabei gewonnenen Siebgrößenklassen durch Serien von Windsichtungen mittels Windsichtersätzen in die Komponenten getrennt. In den Windsichtern des jeweiligen Sichtersatzes und der jeweiligen Sichterstufe muß die die Trenngrenze bestimmende Trennsichtluftgeschwindigkeit $v_{Lj,c}$ (der Index j bezeichnet die Komponente bzw. Sichterstufe und der Index c den Windsichtersatz) jeweils so eingestellt sein, daß gilt

$$v_{Lj,c} = k w_{gt} \quad (4)$$

mit w_{gt} der Sinkgeschwindigkeit in Luft der die Trenngrenze bestimmenden größten Partikel der abzutrennenden leichten Komponente der jeweiligen Siebgrößenklasse und k einer die Form der Partikel, die Beladung der Sichtluft mit Partikeln und den gewählten Sichtertyp berücksichtigenden Konstanten zwischen 0,3 und 1. Die Sinkgeschwindigkeit w_g eines Partikels in

Luft ist nach den bekannten Gesetzmäßigkeiten zu berechnen.

Versuche haben die Richtigkeit der erfindungsgemäßen Ansätze bestätigt und gezeigt, daß für die Trennung der üblicherweise vorliegenden Dichtebereiche der Berechnung der Abstufung der Maschenweiten bzw. der Trennsichtluftgeschwindigkeiten das kleinste Dichteverhältnis der zu trennenden Komponenten zugrundegelegt werden kann. Die jeweilige Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li} errechnet sich für einen Anwendungsfall, in dem z.B. Zick-Zack-Sichter in der Sortierstufe eingesetzt werden, aus der angegebenen Gleichung (4) mit der Konstanten $k=0,5$, je nach Einfluß der unterschiedlichen Partikelformen in den zu trennenden Komponenten.

Es können sich für die erforderliche Einstellung der Trennsichtluftgeschwindigkeiten im Windsichter, z.B. im Steigrohrwindsichter, Abweichungen von der angegebenen Gleichung (4) ergeben, was durch Vorversuche zu ermitteln ist.

In jedem Fall gilt aber, daß bei der bevorzugten Schwerkraftwindsichtung die Trennsichtluftgeschwindigkeit der Sinkgeschwindigkeit der größten aus der Siebgrößenklasse auszusortierenden leichten Partikeln gleichen muß bzw. gerade etwas kleiner eingestellt werden muß, als die Sinkgeschwindigkeit der kleinsten in der Siebgrößenklasse enthaltenen nächst schwereren Partikel.

Da Formbeschreibungen der Partikel nur sehr schwer quantitativ möglich sind, sind auch genaue quantitative Angaben für die Wahl der Stufung bei starken Formunterschieden der beteiligten Komponenten kaum möglich. Starke Formunterschiede verbessern aber das erfindungsgemäße Verfahren in dem Sinne, daß breitere Größenklassen bei der Siebklassierung, d.h. größere Sprünge in der Stufung der Siebung, zugelassen werden können, wenn der Formeinfluß ^{auf} die Sinkgeschwindigkeitsverteilung der spezifisch schwereren Partikel

größer ist als die Sinkgeschwindigkeitsverteilung der spezifisch leichteren Partikel. Die Anzahl der Klassiersiebe kann dann also kleiner gewählt werden. Das Verfahren wird dadurch wirtschaftlicher.

Erfolgt die Klassierung in der ersten Stufe durch Windsichten, so werden die dabei gewonnenen Sinkgeschwindigkeitsklassen durch Serien von Sieben bzw. Siebsätzen in die Komponenten getrennt. Für die Siebe der jeweiligen Siebsätze ist die die Trennung der Komponenten bestimmende Maschenweite $x_{c,j}$ (der Index c bezeichnet die Sinkgeschwindigkeitsklasse bzw. den Siebsatz und der Index j die Komponente), jeweils so bestimmt, daß sie jeweils etwas kleiner ist als die kleinsten Partikel der in der Sinkgeschwindigkeitsklasse enthaltenen jeweils leichtesten Komponente.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich für Korngrößen ab etwa 30 μm einsetzen, sofern die technisch verfügbare Luftstrahlsiebung in diesem Korngrößenbereich noch leistungsfähig einsetzbar ist. Die Anwendungsgrenze nach oben liegt bei Partikeln von ca. 30 mm bei $\rho_L = 5\text{g/cm}^3$. Dies hängt einerseits von den angebotenen Siebmaschinen ab, die beispielsweise beim Mogensen-Prinzip bis zu dieser Grenze einsetzbar sind, und andererseits vom technischen Aufwand in der Klassierung oder Sortierung durch Windsichtung. Im genannten Korngrößenbereich sind alle technisch verfügbaren Siebverfahren und Siebe, wie z.B. Plan-, Wurf- und Kreisschwing-siebe in Mehrfachanordnung, einsetzbar.

Die Windsichter können zweckmäßigerweise als Steigrohrwindsichter, z.B. als Zick-Zack-Sichter, ausgebildet sein, aus denen die leichten Partikel nach oben hin pneumatisch ausgetragen werden.

Alternativ zu dieser Gegenstrom-Schwerkraftwindsichtung in Steigrohrwindsichtern kann auch eine Querstromwindsichtung eingesetzt werden, wie sie beim unklassierten Aufgabegemisch, wie oben erwähnt, bereits durchgeführt wird. In diesem Fall sollen wenigstens

einige der Windsichtungen Querstromwindsichtungen mittels eines als dünne Schicht abwärtsfallenden Partikelstrom querdurchströmenden Luftstroms sein. Bei dieser Querstromwindsichtung ist der Energieaufwand für die Erzeugung der Sichtluftströmung geringer als bei den Gleichgewichts-Schwerkraftwindsichtungen, bei denen der Luftströmung nicht nur die Aufgabe zufällt, die leichten Partikel von den schweren Partikeln zu trennen, sondern auch noch die, die leichten Partikel pneumatisch zu einem Abscheider zu transportieren. Der Abtransport der Partikel erfolgt dagegen bei den Querstromwindsichtern mittels der Sichtzone nachgeschalteten mechanischen Förderanlagen.

Für den angegebenen Bereich kleinster Partikel können Fliehkraftwindsichter, z.B. Spiralwindsichter oder Umlenksichter angewendet werden.

Die Trennung sehr großer und damit schwerer Partikel mittels Windsichtung wird wegen der hohen Trennsinkgeschwindigkeit hohe Luftmengen erfordern, weshalb eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welchem das Aufgabegemisch zunächst durch Siebung klassiert wird, vorsieht, daß der Überlauf des größten Siebes der Maschenweite x_1 zerkleinert und dem Aufgabegemisch nochmals zugegeben, am Ort der Verarbeitung auf Halde gegeben oder anders weiterverarbeitet wird. Die Zerkleinerung der großen Partikel kann außerdem energetisch günstiger sein als die Sortierung durch Siebung und Sichtung. Insgesamt wird man mit der vorgeschalteten Zerkleinerung nicht nur den beschriebenen Aufschluß des Ausgangsproduktes realisieren, sondern gleichzeitig eine Vergleichmäßigung im anfallenden Korngrößen spektrum anstreben, um die Anzahl m der erforderlichen und wie angegeben zu bestimmenden Siebungen oder Sichtungen der Klassierstufe und die erforderliche Anzahl der nachgeschalteten Sichter oder Siebe möglichst klein zu halten. Es kann außerdem vorteilhaft sein (Anspruch 6), daß nach der Klassierung durch Siebung vor einzelne oder alle Sichtungen eine selektive Zerkleinerung der Größenklassen, die auf die Zerkleinerung der leichteren Komponenten hin ausgerichtet ist,

erfolgt. Auf diese Weise läßt sich die nachgeschaltete Sortierung durch Sichtung aufgrund des unterschiedlichen Zerkleinerungsverhaltens der Komponenten erleichtern, wirkungsvoller oder mit weniger Windsichtern ausführen.

Trennschärfe und Aufwand des erfindungsgemäßen trockenen Sortierverfahrens steigen mit zunehmender Anzahl engerer Siebgrößenklassen bzw. Sinkgeschwindigkeitsklassen in der Klassierstufe, desgleichen steigt die Anreicherung, d.h. die Qualität und unter Umständen auch die Ausbeute an weitgehend reinen Komponenten. Da die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sowohl vom technischen, d.h. apparativen, zeitlichen und personellen Aufwand aber auch vom erzielbaren Preis für das sortierte Endprodukt abhängt, wird das wirtschaftlichste Verfahren zwischen den angedeuteten Extremen liegen und ist für jedes zu trennende Aufgabegemisch durch Versuche zu bestimmen.

Übliche Kornverteilungsbreiten bei unterschiedlichen Materialmischungen, wie z.B. im Bereich der Mineralien, Sonderreststoffe und Verbundwerkstoffen, NE-Metallanteile in Schredderschrott, Kohle und Berge, Müll und andere Rohstoffe oder auch Erze, werden $m=5$ bis 15 Sieb- und Sichtstufen bedingen, wobei Mehrkomponentengemische bis zu $p=5$ Komponenten für die erfindungsgemäße Sortierung denkbar sind.

Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Sortieranlage, mit der aus einem Aufgabegemisch p Komponenten (aus mehreren Komponenten) aussortiert werden können, ist gekennzeichnet durch
eine erste Stufe mit einem Satz von $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Trocken-Klassiervorrichtungen zum Klassieren des Aufgabegemisches in Klassen des einen Partikelmerkmals des Aufgabegemisches, in denen die Fraktion des anderen Partikelmerkmals jeder auszusortierenden Komponente von den Fraktionen der anderen Komponenten jeweils getrennt enthalten ist oder sie nur geringfügig überlappt,

und durch eine zweite Stufe mit Sätzen aus hintereinandergeschalteten weiteren Trocken-Klassiervorrichtungen für je eine Klasse zu deren aufeinanderfolgende Trennung in Fraktionen bei Trenngrenzen, die den beiden Grenzen des anderen Partikelmerkmals jeder Fraktion der auszusortierenden Komponenten entsprechen, wobei den jeweils ersten Klassiervorrichtungen eines Satzes der weiteren Klassiervorrichtungen jeweils eine Klasse aufgebbar ist, und aus den weiteren Klassiervorrichtungen die jeweils reinen oder stark angereicherten Fraktionen der Komponenten einzeln oder beliebig zusammenfaßt abziehbar sind.

Eine bevorzugte Ausführungsform, bei der das Aufgabegemisch in der ersten Stufe gesiebt und in der zweiten Stufe gewindsichtet wird, ist charakterisiert durch

eine erste Stufe mit einem Siebsatz (1) aus $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Sieben (2) zur Klassierung des Aufgabegemisches in aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen, bei dem die Maschenweiten x_i der Siebe derart gewählt sind, daß die Sinkgeschwindigkeitsfraktionen jeder auszusortierenden Komponente von denen der anderen Komponenten jeweils getrennt vorliegen oder sich nur geringfügig überlappen,

h

und eine zweite Stufe mit wenigstens zwei Sätzen von Windsichtern, deren jeweils ersten Windsichtern jeweils eine Siebkorngrößenklasse und deren jeweils nachgeschalteten Windsichtern die schwere Fraktion des jeweils vorgeschalteten Windsichters als Aufgabegut aufgebearbeitet ist, und aus denen, aufgrund einer Abstufung der Trennsichtluftgeschwindigkeiten entsprechend den Sinkgeschwindigkeiten der noch zu gewinnenden größten und feinsten Partikeln der auszusortierenden Komponenten, leichte Fraktionen und schwere Fraktionen der jeweils letzten Windsichter der aussortierten Komponenten einzeln oder beliebig zusammengefaßt, als reine oder stark angereicherte Komponente, abziehbar sind.

Die Trenngrenzen der zweiten Stufe lassen sich wegen der Einstellbarkeit der Trennsichtluftgeschwindigkeit leicht den Erfordernissen anpassen.

Sofern das Aufgabegemisch in alle seine p Komponenten sortiert werden kann, gelingt dies mit einer solchen Sortieranlage, die eine erste Stufe mit einem Siebsatz aus $m \geq 3$ Sieben zur Klassierung des Aufgabegemisches in $(m+1)$ aufeinanderfolgende Siebkornklassen, bei dem die Maschenweiten x_i aufeinanderfolgender Siebe derart gewählt sind, daß die Sinkgeschwindigkeitsbereiche der einzelnen Komponenten in jede Siebkorngrößenklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, umfaßt , sowie eine zweite Stufe mit $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$,

Sätzen aus jeweils $(p-1)$ hintereinandergeschalteten Windsichtern für je eine Siebkorngrößenklasse zu deren Sortierung in Fraktionen jeweils einer Komponente, deren jeweils ersten Windsichtern jeweils eine Siebkorngrößenklassen aus dem Siebsatz und den diesen jeweils nachgeschalteten Windsichtern die schwere Fraktion des jeweils vorgeschalteten Windsichters

als Aufgabegut aufgebbar ist und aus denen die leichten Fraktionen jeweils gleicher Komponente und die schwere Fraktion des jeweils letzten Windsichters jeweils einzeln oder beliebig zusammengefaßt als reine oder angereicherte Komponente abziehbar sind (Fig. 3 und 4).

Die Abstufung der Siebmaschenweiten x_i erfolgt gemäß Gleichung (2) oder eines Diagramms gemäß Fig. 1.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Sortieranlage, bei der das Aufgabegemisch in der ersten Stufe gewindsichtet und in der zweiten Stufe gesiebt wird, umfaßt eine erste Stufe mit $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Windsichtern zur Klassierung des Aufgabegemisches in aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen, von denen die jeweils schwerere Sinkgeschwindigkeitsklasse der ersten Windsichter dem jeweils nachgeschalteten Windsichter als Aufgabegut zuführbar ist, in der Trennsichtluftgeschwindigkeiten in den aufeinanderfolgenden Windsichtern derart einstellbar sind, daß die Siebkorngrößenfraktionen der auszusortierenden Komponenten in jeder Sinkgeschwindigkeitsklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, und eine zweite Stufe mit wenigstens zwei Sätzen von hintereinandergeschalteten Sieben, auf deren jeweils erstes Sieb jeweils eine Sinkgeschwindigkeitsklasse aus den Windsichtern, nach deren Abscheidung aus der Sichtluft, aufgebbar ist, mit denen, aufgrund der Abstufung der Siebmaschenweiten der Siebe entsprechend der Korngröße der noch zu gewinnenden größten und feinsten Partikel der jeweils auszusortierenden Komponente, nacheinander Fraktionen der reinen oder angereicherten Komponenten abtrennbar sind, und aus denen die Fraktionen jeweils gleicher Komponente jeweils einzeln oder beliebig zusammengefaßt abziehbar sind.

Diese Variante läßt eine genaue Einhaltung der erforderlichen Klassengrenzen der ersten Stufe zu.

Ist das Aufgabegemisch in alle seine p Komponenten zu sortieren, gelingt dies am besten mit dieser Anlage, wenn sie umfaßt eine erste Stufe mit $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Windsichtern, mit denen das Aufgabegemisch in $(m+1)$ Sinkgeschwindigkeitsklassen klassierbar ist, von denen die jeweils schwerere Sinkgeschwindigkeitsklasse der ersten $(m-1)$ Windsichter dem jeweils nachgeschalteten Windsichter als Aufgabegut zuführbar ist und die Trennsichtluftgeschwindigkeiten in den aufeinanderfolgenden Windsichtern derart einstellbar sind, daß die Siebkorngrößenfraktionen der einzelnen Komponenten in jeder Sinkgeschwindigkeitsklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, sowie eine zweite Stufe mit $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$, Siebsätzen aus jeweils $(p-1)$ hintereinandergeschalteten Sieben für je eine Sinkgeschwindigkeitsklasse zu deren Sortierung in Fraktionen jeweils einer Komponente, deren jeweils erstem Sieb jeweils eine Sinkgeschwindigkeitsklasse aus den Windsichtern aufgebbar ist und mit denen aufgrund der Abstufung der Siebmaschenweiten jede Sinkgeschwindigkeitsklasse in Fraktionen der reinen oder angereicherten Komponenten sortierbar ist und aus denen die Fraktionen jeweils gleicher Komponente jeweils einzeln oder beliebig zusammengefaßt abziehbar sind (Fig. 5 u. 6).

Die Abstufung der Trennsichtluftgeschwindigkeiten erfolgt am besten gemäß Gleichung (3) bzw. anhand eines Diagramms gemäß Fig. 1, in das die Kornverteilungen der Komponenten eingezeichnet sind, wobei der Treppenzug zwischen die beiden Kurven gelegt wird, deren Komponenten das kleinste Dichteverhältnis ergeben.

Bei einer Anwendung des Verfahrens zur Sortierung von Aluminiumpartikeln ($\rho_2 = 2,7 \text{ g/cm}^3$) aus Schredder-Schrott, in dem sie mit verunreinigenden Nichtmetallen ($\rho_1 \leq 1,85 \text{ g/cm}^3$) und Schwermetallen ($\rho_3 \geq 4,2 \text{ g/cm}^3$) enthalten sind, ergaben sich für die Sortieranlage die nachfolgenden Zahlenwerte für die Auswahl der Maschenweiten x_i und die Einstellung der Trennsichtluftgeschwindigkeiten $v_{Lj,c}$. In der 1. und 2. Zeile sind die Siebnummer und die Maschenweite der Siebe der ersten Klassierung und in der 3. und 4. Zeile sind die Trennsichtluftgeschwindigkeiten $v_{L1,c}$ der jeweils ersten Sichtstufe aus Gegenstrom-Windsichtern und die Trennsichtluftgeschwindigkeiten $v_{L2,c}$ in der jeweils zweiten Sichtstufe aus Gegenstrom-Windsichtern der zweiten Klassierung angegeben. Der Durchgang des feinsten Siebes mit der Maschenweite x_{10} wurde nicht gesichtet.

1.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	-
2.	27,5	22,5	18,8	15,5	12,9	10,7	8,8	7,3	6,0	5,0	mm
3.	21,1	19,2	17,4	15,9	14,4	13,1	11,9	10,9	9,9	9,0	m/s
4.	28,5	25,9	23,6	21,5	19,6	17,8	16,2	14,7	13,4	12,0	m/s
5.	28,0	22,4	19,0	16,0	13,2	11,2	9,0	7,5	6,3	5,6	mm

Da die errechneten Werte für die Maschenweiten nicht mit den normten Maschenweiten übereinstimmen, werden die in der 5. Zeile angegebenen Werte der Sieb-Normreihe R40 der DIN 4188 (ISO-Empfehlung 150 R 3 DIN 323 NFX 01-0.01 B.5.2.045) für die praktisch Verwirklichung verwendet. Die Werte für die einzustellenden Trennsichtluftgeschwindigkeiten ändern sich im vorliegenden Fall nahezu nicht.

Die Erfindung läßt sich auf Sortieranlagen verwirklichen, deren Aufbau in den beigegeführten Zeichnungen schematisch dargestellt ist. Es zeigt:

Fig. 3 das Schema einer Anlage zur Sortierung eines aus zwei ($p=2$) Komponenten bestehenden Aufgabegemisches mittels m Sieben und $(m+1)$ Windsichtern in seine beiden Komponenten,

Fig. 4 das Schema einer Anlage zur Sortierung eines aus p Komponenten bestehenden Aufgabegemisches mittels m Sieben und $(m+1) \cdot (p-1)$ Windsichtern in seine p Komponenten,

Fig. 5 das Schema einer Anlage zur Sortierung eines aus zwei ($p=2$) Komponenten bestehenden Aufgabegemisches mittels m Windsichtern und $(m+1)$ Einfachsieben in seine beiden Komponenten, und

Fig. 6 das Schema einer Anlage zur Sortierung eines aus p Komponenten bestehenden Aufgabegemisches mittels m Windsichtern und $(m+1) \cdot (p-1)$ Sieben in seine p Komponenten.

Ein Zwei- oder Mehrkomponenten-Ausgangsprodukt wird zunächst durch einfache Siebung, Sichtung oder Zerkleinerung für die Sortierung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren vorbereitet, wobei diese Produktkonditionierung in der Reihenfolge an das Produkt angepaßt, durch Sonderbehandlung ergänzt oder auch fortgelassen wird, wenn das Ausgangsprodukt bereits aufgeschlossen vorliegt und eine erste Anreicherung durch Sieben oder Sichten nicht erzielbar ist bzw. Verunreinigungen nicht beseitigt werden müssen. Durch diese Vorbereitung wird das Aufgabegemisch erhalten.

12

Bei der in Fig. 3 schematisch dargestellten Sortieranlage wird ein Zweikomponenten-Aufgabegemisch F zunächst in einer ersten Stufe auf einer Siebmaschine mit einem Siebsatz 1 aus m gemäß Gleichung (2) abgestuften Sieben 2 in (m+1) aneinander anschließende Siebkorngrößenklassen klassiert. Hierzu geeignete Siebmaschinen sind allgemein bekannt. Alle Siebe 2 des Siebsatzes 1 müssen nicht in einer einzigen Siebmaschine vereinigt sein. Sie können auch auf mehrere hintereinandergeschaltete Siebmaschinen mit jeweils nur einem oder zwei Sieben verteilt sein. Die Maschenweiten der Siebe sind mit x_1 (größte Maschenweite) x_i x_{m-1} und x_m (kleinste Maschenweite) bezeichnet. Die größte Siebkorngrößenklasse bleibt auf dem ersten Sieb des Siebsatzes, dem Sieb mit der Maschenweite x_1 zurück, während die feinste Siebkorngrößenklasse diejenige ist, die durch das letzte Sieb des Siebsatzes, das Sieb mit der kleinsten Maschenweite x_m , noch hindurchfällt.

In der zweiten Stufe wird jede dieser (m+1) Siebkorngrößenklassen jeweils einem von (m+1) auslaßseitig parallelgeschalteten Windsichtern 4, die jeweils eine einzige Sichtstufe 3 bilden, über Leitungen 5 zugeführt.

Die Windsichter 4 sind schematisch als Schwerkraftwindsichter mit einem vertikalen Sichtrohr dargestellt, in das unten mittels eines nicht dargestellten Ventilators Sichtluft L eingeleitet wird. Die über je eine Leitung 5 zugeführten, zu sichtenden Siebkorngrößenklassen werden seitlich in die von unten nach oben mit einer Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Lc} in den Windsichtern strömende Sichtluft eingegeben. Die leichteren Partikel, deren Sinkgeschwindigkeit w_g kleiner als die Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Lc} ist, werden jeweils entgegen ihrer Schwerkraft von der Sichtluft nach oben mitgenommen und mit ihr als leichte Fraktion durch einen Auslaß 6 ausgetragen. Die schweren Partikel fallen entgegen dem aufstei-

genden Sichtluftstrom nach unten und werden als schwere Fraktion durch einen Auslaß 7 ausgetragen.

In den Windsichtern 4 sind unterschiedliche Trennsichtluftgeschwindigkeiten v_{Lc} (v_{L1} bis $v_{L(m+1)}$) eingestellt, die unter Zuhilfenahme der oben angegebenen Gleichung (4) ermittelt sind. In den Windsichtern 4 gelingt damit aufgrund der vorhergehenden Siebklassierung des Aufgabegemisches in die schmalen Siebkorngrößeklassen die weitgehend vollständige Trennung jeder Klasse in die beiden Komponenten. Die jeweils aus dem Auslaß 6 eines Windsichters 4 austretende leichte Fraktion wird durch die Sichtluft in eine Sammelleitung 11 und die jeweils aus dem Auslaß 7 eines Windsichters 4 austretende schwere Fraktion in eine andere Sammelleitung 12 abgezogen. Am Ausgang der Sammelleitungen 11 und 12 stehen vollständig die reine bzw. angereicherte leichte Komponente als Produkt P1 und die reine bzw. angereicherte schwere Komponente als Produkt P2 zur Verfügung. Sie können der Weiterverwendung unmittelbar mit der Sichtluft zugeführt werden oder zunächst in nicht dargestellten Abscheidern, z.B. Zyklonabscheidern oder Luftfiltern, abgeschieden werden, um dann als Schüttgut zur Verfügung zu stehen. Jede leichte Fraktion und jede schwere Fraktion der Windsichter 4 kann statt in eine Sammelleitung einzeln oder beliebig zusammengefaßt, z.B. aus dem ersten, dritten und fünften Sichter und aus dem zweiten und vierten Sichter, als Fertiggut, gegebenenfalls nach vorheriger Abscheidung aus der Sichtluft, abgezogen werden.

Nach der Klassierung in der Siebmaschine ist bei einer, mehreren oder allen Siebkorngrößeklassen vor der Sichtung eine selektive Zerkleinerung Z der leichten Komponente dadurch möglich, daß die Klasse zunächst in eine Zerkleinerungsmaschine und aus dieser in den betreffenden Windsichter eingespeist wird. Die selektive Zerkleinerung wird mit dem Ziel, die erforderliche Trennsichtluftgeschwindigkeit der nachfolgenden Sichtung senken zu können, durchgeführt.

6

Der Fall der Zerkleinerung Z ist in Fig. 3 für die grösste, vom ersten Sieb 2 des Siebsatzes 1, das die größte Maschenweite x_1 hat, abgezogene Siebkorngrößenklasse dargestellt. Diese Klasse wird über eine Leitung $5'$, gegebenenfalls mittels eines nicht dargestellten Förderers, in eine schematisch dargestellte Zerkleinerungsmaschine 9 und von dieser über eine Leitung $5''$ in den ersten Windsichter 4 gegeben.

Bei der Sortierung von Aufgabegemischen F mit p Komponenten ist die Sortieranlage gemäß Fig. 3 so zu erweitern, wie es Fig. 4 zeigt, wonach für die Sortierung mittels Sichtung jeder der im Siebsatz gewonnenen $(m+1)$ Siebkorngrößenklassen in p Fraktionen jeweils einer Komponente jeweils ein Satz 10 aus $(p-1)$ hintereinandergeschalteten Windsichtern 4 vorgesehen ist. Es sind also $(m+1)$ Windsichtersätze 10 vorhanden. Die jeweils ersten Windsichter eines Sichtersatzes, die den Windsichtern der Sortieranlage nach Fig. 3 entsprechen, bilden eine erste Sichtstufe 3.1 und die jeweils nachgeschalteten Windsichter eines Sichtersatzes 10 jeweils eine weitere Sichtstufe 3.j bis 3.($p-1$). Dem ersten Windsichter jedes Sichtersatzes wird jeweils wieder eine Siebkorngrößenklasse aus dem Siebsatz 1 über eine Leitung 5 als Aufgabegut aufgegeben. Die in jedem Windsichter anfallende schwere Fraktion wird am Auslaß 7 abgezogen und dem im Sichtersatz nachgeschalteten Windsichter der nächsten Sichtstufe 3.j über eine Leitung als Aufgabegut aufgegeben.

Für die Windsichtersätze 10 (Index c ($1 \leq c \leq (m+1)$)) und Sichtstufen (Index j ($1 \leq j \leq (p-1)$)) werden die erforderlichen Trennsichtluftgeschwindigkeiten v_{Ljc} unter Verwendung der oben angegebenen Gleichung (4) ermittelt. Sie nehmen von Stufe zu Stufe zu. In der ersten Sichtstufe 3.1 enthält jede aus einem Windsichter 4 oben mit der Sichtluft durch den Auslaß 6 in eine Sammelleitung 11 abgezogene leichte Fraktion die leichteste der p Komponenten, als erste reine oder angereicherte Komponente

h

die das Produkt P1 ergibt. Die leichten Fraktionen der jeweils folgenden Sichtstufen 3.j bis 3.(p-1) ergeben die nächst schwerere, reine oder angereicherte Komponente, die in eine Sammelleitung 13 zum Produkt P3 zusammengeführt werden, während die weiteren schwereren Fraktionen in den weiteren nachgeschalteten Sichtstufen und zuletzt die schwerste aller Komponenten in der (p-1)-ten Sichtstufe 3.(p-1) gewonnen und in Sammelleitungen 14 und 15 zum Produkt P4 und P5 zusammengeführt werden.

Die leichten Fraktionen jeder Sichtstufe und die schwere Fraktion der letzten Sichtstufe können auch einzeln oder beliebig zusammengefaßt als Produkt verwendet werden.

Eine getrennte Abscheidung der Fraktionen der Komponenten aus der Sichtluft in nicht dargestellten Abscheidern kann im Anschluß an die jeweilige Windsichtung und eine gemeinsame Abscheidung im Anschluß an die Zusammenführung in die Sammelleitungen erfolgen.

Es sind m Windsichtersätze 10 dann ausreichend, wenn das durch das letzte Sieb mit der Maschenweite x_m hindurchgehende Feinstgut aus der Siebklassierung nicht sortiert werden soll und daher ungesichtet über eine gestrichelt angedeutete Leitung 8 abgezogen wird. Eine weitere Reduzierung auf (m-1) Windsichtersätze 10 bzw. Windsichter 4 in den einzelnen Sichtstufen 3 ist möglich, wenn der Überlauf bzw. Rückstand des größten Siebes des Siebsatzes 1 mit der Maschenweite x einer Zerkleinerung zugeführt und von dieser in das Aufgabegemisch zurückgeführt wird oder aus dem Verfahren zu einer anderen Behandlung ausgeschieden wird. Eine Reduzierung auf mindestens $((m/2)+1)$ Windsichter ist möglich, wenn die Hälfte der Siebkorngrößenklassen nicht der Sortierung durch Sichtung zugeführt wird, beispielsweise weil sie keine ausreichenden Mengen einer auszusortierenden Komponente aufweisen. Jeder Windsichtersatz 10 wird mehr als (p-1) Windsichter aufweisen, wenn die aus mehreren Komponenten des Aufgabegemisches auszusortierenden Komponenten nicht in

6

der Dichte-und/oder Formabstufung bzw. Sinkgeschwindigkeitsabstufung von allen Partikeln gleicher Größe benachbart sind, also eine zwischen Ihnen vorhandene Komponente auszuscheiden und zu verwerten ist.

Ein Windsichtersatz kann weniger als $(p-1)$ Windsichter haben, wenn in der zu sichtenden Siebkorngrößenklasse eine oder mehrere auszusortierende Komponenten nicht oder nicht in ausreichender Menge enthalten ist, was insbesondere bei den größten und feinsten Siebkorngrößenklassen der Fall sein kann, weil sich die Kornverteilungen aller Komponenten nicht vollständig überlappen, sh. Fig. 1. Gleiches gilt für die nachfolgend beschriebene alternative Sortierung.

12

Das Sortierverfahren läßt sich nach der beschriebenen alternativen Produktvorbereitung zur Bereitstellung eines Aufgabegemisches auch derart durchführen, daß zuerst gewindsichtet und dann gesiebt wird. Sortieranlagen zur Durchführung dieser Alternative sind in den Fig. 5 und 6 schematisch dargestellt. Bei der Sortieranlage gemäß Fig. 5 wird ein Zweikomponenten-Aufgabegemisch F zunächst in einer ersten Stufe in einem Windsichtersatz aus m hintereinandergeschalteten Windsichtern 21 in (m+1) aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen klassiert. In jedem nachgeschalteten Windsichter 21 herrscht jeweils eine größere Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li+1} . Die Abstufung ist gemäß Gleichung (3) bestimmt.

In einer zweiten Stufe werden jede aus einem Windsichter 21, in dem die Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Lm} herrscht, aus einem Auslaß 26 abgezogene leichtere Klasse und die aus dem letzten Windsichter aus dessen Auslaß 27 abgezogene schwere Klasse einzeln durch Einfachsiebungen auf (m+1) auslaßseitig parallelgeschalteten Sieben 24 mit den Maschenweiten x_c ($1 \leq c \leq (m+1)$), denen die Sinkgeschwindigkeitsklassen nach Abscheidung aus der Sichtluft in nicht dargestellten Abscheidern über Leitungen 25 zugeführt werden können, in die beiden Komponenten getrennt. Die unterschiedlichen Maschenweiten x_c der Siebe 24 sind derart gewählt, daß in der jeweiligen Sinkgeschwindigkeitsklasse die feinsten Partikel der schweren Komponente noch gerade von den größten Partikeln der leichten Komponente vollständig, höchstens mit einer geringen Unschärfe, getrennt werden. Die reine oder stark angereicherte leichte Komponente findet sich jeweils im Siebüberlauf bzw. im Siebrückstand und wird jeweils als leichte Fraktion in Sammelleitungen 31 abgegeben und zum Produkt P1 vereinigt, während die reine oder stark angereicherte schwere Komponente als Siebdurchgang vorliegt und jeweils als schwere Fraktion in Sammelleitungen 32 gelangt und zum Produkt P2 zusammengeführt wird.

Bei der Sortierung von Mehrkomponenten-Aufgabegemischen mit p Komponenten unterschiedlicher Dichte und/oder Form in diese p Komponenten muß die zweite Stufe, in der die Sortierung durch Siebung erfolgt, erweitert werden, wie dies bei der in Fig. 6 dargestellten Anlage der Fall ist. Hier erfolgt die Sortierung der in den m Windsichtern 21 der ersten Stufe gewonnenen $(m+1)$ Sinkgeschwindigkeitsklassen in $(m+1)$ Siebmaschinen 22, mit je einem Siebsatz 23 aus jeweils $(p-1)$ hintereinandergeschalteten Sieben 24 mit den Maschenweiten $x_{c,j}$ (der Index c ($1 \leq c \leq (m+1)$)) bezeichnet den Siebsatz und der Index j ($1 \leq j \leq p$) die Komponente bzw. Siebstufe bzw. das Sieb eines Siebsatzes). Jede Sinkgeschwindigkeitsklasse durchläuft jeweils einen der Siebsätze 23 mit $(p-1)$ Sieben 24, deren Maschenweiten gemäß den aneinander anschließenden Korngrößenverteilungen der in den Sinkgeschwindigkeitsklassen vorgefundenen Komponenten abgestuft sind. Im Überlauf bzw. Rückstand des ersten und damit größten Siebes 24 jedes Siebsatzes 23 (Maschenweite $x_{c,1}$) reichert sich die leichteste Komponente an, während auf den nächsten Sieben der Siebsätze (Maschenweite $x_{c,j}$) abnehmend mit der Maschenweite sich die schwereren Komponenten anreichern und anschließend als Durchgang des $(p-1)$ -ten Siebes jedes Siebsatzes (Maschenweite $x_{c,(p-1)}$) die schwerste Komponente als feinste sortierte Fraktion anfällt. Es sind insgesamt $(m+1)(p-1)$ Siebe vorgesehen. Die mittels der Siebsätze 23 gewonnenen Siebfraktionen jeweils gleicher Komponente werden jeweils in Sammelleitungen 31, 33, 34 und 35 abgegeben und können gemeinsam als Produkte P1, P3, P4 und P5 abgezogen werden.

5

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur trockenen Sortierung eines körnigen Zwei- bzw. Mehrkomponentengemisches mit einer Anzahl p von auszusortierenden körnigen, polydispersen Feststoffkomponenten unterschiedlicher Dichte und/oder Form und mit sich wenigstens teilweise überdeckenden Korngrößen- und Sink^geschwindigkeits- (Partikelmerkmal-) Verteilungen, bei dem das aufgegebene Zwei- bzw. Mehrkomponentengemisch Klassierungen unterworfen wird, dadurch g e k e n n z e i c h n e t ,

daß in einer ersten Stufe das Aufgabegemisch in aufeinanderfolgende so schmale Klassen des einen Partikelmerkmals trocken klassiert wird, daß in ihnen die Fraktionen des für eine nachfolgende weitere Klassierung maßgebenden anderen Partikelmerkmals jeder auszusortierenden Komponente von den Fraktionen der anderen Komponenten jeweils getrennt enthalten ist oder deren Fraktionen nur geringfügig überlappt,

und daß dann in einer zweiten Stufe aus jeder Klasse des einen Partikelmerkmals jede auszusortierende Komponente durch eine Serie aufeinanderfolgender weiterer Trocken-Klassierungen, für die das andere Partikelmerkmal maßgebend ist, bei Trenngrenzen, die den beiden Grenzen des anderen Partikelmerkmals jeder Fraktion entsprechen, welche Partikel der auszusortierenden Komponente enthält, aussortiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet ,

daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels Siebungen in aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen klassiert wird, in denen die Sinkgeschwindigkeitsfraktion jeder auszusortierenden Komponente von den Sinkgeschwindigkeitsfraktionen der anderen Komponenten getrennt enthalten ist oder sie nur geringfügig überlappt,

und daß dann in der zweiten Stufe aus Siebkorngrößenklassen jede auszusortierende Komponente durch eine Serie aufeinanderfolgender Windsichtungen jeder dieser Klassen in Fraktionen bei Trennsichtluftgeschwindigkeiten, bei denen jeweils einmal die mit den größten und einmal die mit den kleinsten Sinkgeschwindigkeiten der noch zu gewinnenden Partikel der Fraktion der jeweils auszusortierenden Komponente wenigstens weitgehend abgetrennt werden, aussortiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet ,

daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels Windsichtungen in aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen klassiert wird, in denen die Siebkorngrößenfraktion jeder auszusortierenden Komponente von den Siebkorngrößenfraktionen der anderen Komponenten getrennt enthalten ist oder sie nur geringfügig überlappt,

und daß dann in der zweiten Stufe aus Sinkgeschwindigkeitsklassen, nach deren Ausscheidung aus der Sichtluft der Windsichtung, jede auszusortierende Komponente durch eine Serie aufeinanderfolgender Siebungen jeder dieser Klassen in Fraktionen bei Maschenweiten, bei denen einmal die größten und einmal die feinsten der noch zu gewinnenden Partikel der Fraktion der jeweils auszusortierenden Komponente wenigstens weitgehend abgetrennt werden, aussortiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet ,

daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels m aufeinanderfolgender Siebungen in (m+1) aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen klassiert wird, bei denen die Maschenweiten x_i für die aufeinanderfolgenden Siebungen derart gewählt sind, daß die Sinkgeschwindigkeitsfraktionen aller Komponenten in jeder Siebkorngrößenklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, und daß dann in der zweiten Stufe jede der (m+1), mindestens $((m/2)+1)$, Siebkorngrößenklassen mittels einer Serie von (p-1) aufeinanderfolgenden Windsichtungen in p Sinkgeschwindigkeitsfraktionen jeweils einer Komponente sortiert wird und die jeweils leichten Fraktionen jeder Windsichtung und die jeweils schwere Fraktion der jeweils letzten Windsichtung einzeln oder beliebig zusammengefaßt abgezogen werden (Fig. 3 und 4).

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet ,

daß die Maschenweite x_i aus der kleineren Maschenweite x_{i+1} des benachbarten nachgeschalteten Siebes entsprechend der Gleichung

$$x_i \leq x_{i+1} \cdot \sqrt[n]{(\rho_S/\rho_L)_{\min}}$$

bestimmt ist,

mit n einem die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der Sichtluftumströmung der Partikel bei der Trennsichtluftgeschwindigkeit berücksichtigenden Parameter zwischen 2 und 1, der im Bereich laminarer Partikelumströmung den Wert 2 und im Bereich turbulenter Partikelumströmung den Wert 1 hat und dessen Wert im Übergangsbereich der Partikelumströmung etwa proportional dem Logarithmus der Reynoldszahl von 2 auf 1 abfällt, und mit $(\rho_S/\rho_L)_{\min}$ dem kleinsten Verhältnis aus der Dichte ρ_S einer schwereren Komponente und der Dichte ρ_L einer leichteren Komponente.

6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

daß in der ersten Stufe das Aufgabegemisch mittels m aufeinanderfolgenden Windsichtungen in $(m+1)$ aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen klassiert wird, bei denen die jeweils schwerere Sinkgeschwindigkeitsklasse der ersten $(m-1)$ Windsichtungen der jeweils nachfolgenden Windsichtung als Aufgabegut zugeführt wird und die Trennsichtluftgeschwindigkeiten v_{Li} der aufeinanderfolgenden Windsichtungen derart gewählt sind, daß die Siebkorngrößenfraktionen aller Komponenten in jeder Sinkgeschwindigkeitsklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, und daß dann in der zweiten Stufe jede der $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$, Sinkgeschwindigkeitsklassen mittels einer Serie von $(p-1)$ aufeinanderfolgenden Siebungen in p Siebkorngrößenfraktionen jeweils einer Komponente sortiert wird und die Fraktionen jeweils gleicher Komponente einzeln oder beliebig zusammengefaßt abgezogen werden (Fig. 5 und 6).

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,

daß Trennsichtluftgeschwindigkeiten v_{Li+1} aus der geringeren Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li} der vor- oder nachgeschalteten Sichtung entsprechend der Gleichung

$$v_{Li+1} \leq v_{Li} \cdot \sqrt[n]{(q_S/q_L)_{\min}}$$

bestimmt sind,

mit n einem die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der Sichtluftumströmung der Partikel bei der Trennsichtluftgeschwindigkeit berücksichtigenden Parameter zwischen 1 und 2, der im Bereich laminarer Partikelumströmung den Wert 1 und im Bereich turbulenter Partikelumströmung den Wert 2 hat und dessen Wert im Übergangsbereich der Partikelumströmung etwa proportional dem Logarithmus der Reynoldszahl von 1 auf 2 ansteigt, und mit $(q_S/q_L)_{\min}$ dem kleinsten Verhältnis aus der Dichte q_S einer schwereren Komponente und der Dichte q_L einer leichteren Komponente.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß Klassen der Siebung oder Sichtung vor ihrer Sortierung durch weitere Klassierung zunächst einer selektiven, auf die Zerkleinerung der leichteren Komponenten ausgerichteten Zerkleinerung unterworfen werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige der Windsichtungen Schwerkraft-Gegenstrom-Windsichtungen in einer aufsteigenden Luftströmung sind.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige der Windsichtungen als Querstromwindsichtungen ausgeführt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige der Windsichtungen als Umlenkwindsichtungen ausgeführt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige der Windsichtungen als Fliehkraftwindsichtungen ausgeführt werden.

6

13. Sortieranlage mit Klassiervorrichtungen zur trockenen Sortierung eines körnigen Zwei- oder Mehrkomponentengemisches mit einer Anzahl p von auszusortierenden körnigen polydispersen Feststoffkomponenten unterschiedlicher Dichte und/oder Form und mit sich wenigstens teilweise überdeckenden Korngrößen- und Sinkgeschwindigkeits- (Partikelmerkmal-) Verteilungen, auf der das aufgegebene Zwei- bzw. Mehrkomponentengemisch Klassierungen unterworfen wird, zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

eine erste Stufe mit einem Satz von $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Trocken-Klassiervorrichtungen zum Klassieren des Aufgabegemisches in Klassen des einen Partikelmerkmals des Aufgabengemisches, in denen die Fraktion des anderen Partikelmerkmals jeder auszusortierenden Komponente von den Fraktionen der anderen Komponenten jeweils getrennt enthalten ist oder sie nur geringfügig überlappt,

und durch eine zweite Stufe mit Sätzen aus hintereinandergeschalteten weiteren Trocken-Klassiervorrichtungen für je eine Klasse zu deren aufeinanderfolgende Trennung in Fraktionen bei Trenngrenzen, die den beiden Grenzen des anderen Partikelmerkmals jeder Fraktion der auszusortierenden Komponenten entsprechen, wobei den jeweils ersten Klassiervorrichtungen eines Satzes der weiteren Klassiervorrichtungen jeweils eine Klasse aufgebbar ist, und aus den weiteren Klassiervorrichtungen die jeweils reinen oder stark angereicherten Fraktionen der Komponenten einzeln oder beliebig zusammenfaßt abziehbar sind.

14. Sortieranlage nach Anspruch 13,
g e k e n n z e i c h n e t durch

eine erste Stufe mit einem Siebsatz (1) aus $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Sieben (2) zur Klassierung des Aufgabegemisches in aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen, bei dem die Maschenweiten x_i der Siebe derart gewählt sind, daß die Sinkgeschwindigkeitsfraktionen jeder auszusortierenden Komponente von denen der anderen Komponenten jeweils getrennt vorliegen oder sich nur geringfügig überlappen,

und durch eine zweite Stufe mit wenigstens zwei Sätzen (10) von Windsichtern (4), deren jeweils ersten Windsichtern jeweils eine Siebkorngrößenklasse und deren jeweils nachgeschalteten Windsichtern die schwere Fraktion des jeweils vorgeschalteten Windsichters als Aufgabegut aufgebbar ist, und aus denen, aufgrund einer Abstufung der Trennsichtluftgeschwindigkeiten entsprechend den Sinkgeschwindigkeiten der noch zu gewinnenden größten und feinsten Partikeln der auszusortierenden Komponenten, leichte Fraktionen und schwere Fraktionen der jeweils letzten Windsichter der aussortierten Komponenten einzeln oder beliebig zusammengefaßt, als reine oder stark angereicherte Komponente, abziehbar sind.

10

15. Sortieranlage nach Anspruch 13,
g e k e n n z e i c h n e t durch

eine erste Stufe mit $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Windsichtern (21) zur Klassierung des Aufgabegemisches in aufeinanderfolgende Sinkgeschwindigkeitsklassen, von denen die jeweils schwerere Sinkgeschwindigkeitsklasse der ersten $(m-1)$ Windsichter dem jeweils nachgeschalteten Windsichter als Aufgabegut zuführbar ist, in der Trennsichtluftgeschwindigkeiten in den aufeinanderfolgenden Windsichtern derart einstellbar sind, daß die Siebkorngrößenfraktionen der auszusortierenden Komponenten in jeder Sinkgeschwindigkeitsklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen,

und durch eine zweite Stufe mit wenigstens zwei Sätzen (23) von hintereinandergeschalteten Sieben (24), auf deren jeweils erstes Sieb jeweils eine Sinkgeschwindigkeitsklasse aus den Windsichtern (21), nach deren Abscheidung aus der Sichtluft, aufgebbar ist, und mit denen, aufgrund der Abstufung der Siebmaschenweiten der Siebe (24) entsprechend der Korngröße der noch zu gewinnenden größten und feinsten Partikel der jeweils auszusortierenden Komponente, nacheinander Fraktionen der reinen oder angereicherten Komponenten abtrennbar sind, aus denen die Fraktionen jeweils gleicher Komponente jeweils einzeln oder beliebig zusammengefaßt abziehbar sind.

6

16. Sortieranlage nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch eine erste Stufe mit einem Siebsatz (1) aus $m \geq 3$ Sieben (2) zur Klassierung des Aufgabegemisches in $(m+1)$ aufeinanderfolgende Siebkorngrößenklassen, bei dem die Maschenweiten x_i aufeinanderfolgender Siebe derart gewählt sind, daß die Sinkgeschwindigkeitsbereiche der einzelnen Komponenten in jede Siebkorngrößenklasse voneinander getrennt sind oder sich nur geringfügig überlappen, sowie durch eine zweite Stufe mit $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$, Sätzen (10) aus jeweils $(p-1)$ hintereinandergeschalteten Windsichtern (4) für je eine Siebkorngrößenklasse zu deren Sortierung in Fraktionen jeweils einer Komponente, deren jeweils ersten Windsichtern jeweils eine Siebkorngrößenklasse aus dem Siebsatz (1) und den diesen jeweils nachgeschalteten Windsichtern die schwere Fraktion des jeweils vorgeschalteten Windsichters als Aufgabegut aufgebbar ist und aus denen die leichten Fraktionen jeweils gleicher Komponente und die schwere Fraktion des jeweils letzten Windsichters jeweils einzeln oder beliebig zusammengefaßt als reine oder angereicherte Komponente abziehbar sind (Fig. 3 und 4).

17. Sortieranlage nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Maschenweite x_i gegenüber der kleineren Maschenweite x_{i+1} des nachfolgenden Siebes (2) entsprechend der Gleichung

$$x_i \leq x_{i+1} \cdot \sqrt[n]{(\rho_S/\rho_L)_{\min}}$$

abgestuft ist,

mit n einem die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der Sichtluftumströmung der Partikel bei der Trennsichtluftgeschwindigkeit berücksichtigenden Parameter zwischen 2 und 1, der im Bereich laminarer Partikelumströmung den Wert 2 und im Bereich turbulenter Partikelumströmung den Wert 1 hat und dessen Wert im Übergangsbereich der Partikelumströmung etwa proportional dem Logarithmus der Reynoldszahl von 2 auf 1 abnimmt, und mit $(\rho_S/\rho_L)_{\min}$ dem kleinsten Verhältnis aus der Dichte ρ_S einer schwereren Komponente und der Dichte ρ_L einer leichteren Komponente.

18. Sortieranlage nach Anspruch 15,
gekennzeichnet durch
eine erste Stufe mit $m \geq 3$ hintereinandergeschalteten Windsichtern
(21), mit denen das Aufgabegemisch in $(m+1)$ Sinkgeschwindigkeits-
klassen klassierbar ist, von denen die jeweils schwerere Sink-
geschwindigkeitsklasse der ersten $(m-1)$ Windsichter dem jeweils
nachgeschalteten Windsichter als Aufgabegut zuführbar ist und
die Trennsichtluftgeschwindigkeiten in den aufeinander-
folgenden Windsichtern derart einstellbar sind, daß die Sieb-
korngrößenfraktionen der einzelnen Komponenten in jeder Sinkge-
schwindigkeitsklasse voneinander getrennt sind oder sich nur
geringfügig überlappen,
sowie durch eine zweite Stufe mit $(m+1)$, mindestens $((m/2)+1)$,
Siebsätzen (23) aus jeweils $(p-1)$ hintereinandergeschalteten..
Sieben (24) für je eine Sinkgeschwindigkeitsklasse zu deren
Sortierung in Fraktionen jeweils einer Komponente, deren jeweils
erstem Sieb jeweils eine Sinkgeschwindigkeitsklasse aus den Wind-
sichtern (21) aufgebbar ist und mit denen aufgrund der Abstufung
der Siebmaschenweiten jede Sinkgeschwindigkeitsklasse in Frak-
tionen der reinen oder angereicherten Komponenten sortierbar ist
und aus denen die Fraktionen jeweils gleicher Komponente jeweils
einzeln oder beliebig zusammengefaßt abziehbar sind. (Fig.5 u. 6).

Sortieranlage nach Anspruch , dadurch ge-
kennzeichnet ,
daß die Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li+1} gegenüber der
geringeren Trennsichtluftgeschwindigkeit v_{Li} des vor- oder
nachgeschalteten Windsichters (21) entsprechend der Gleichung

$$v_{Li+1} \leq v_{Li} \cdot \sqrt[n]{(\rho_S / \rho_L)_{\min}}$$

abgestuft ist,

mit n einem die Steigung der Widerstandsbeiwertkurve der Sichtluftumströmung der Partikel bei der Trennsichtluftgeschwindigkeit berücksichtigenden Parameter zwischen 1 und 2, der im Bereich laminarer Partikelumströmung den Wert 1 und im Bereich turbulenter Partikelumströmung den Wert 2 hat und dessen Wert im Übergangsbereich der Partikelumströmung etwa proportional dem Logarithmus der Reynoldszahl von 1 auf 2 ansteigt, und mit $(\varrho_S/\varrho_L)_{\min}$ dem kleinsten Verhältnis aus der Dichte ϱ_S einer schwereren Komponente und der Dichte ϱ_L einer leichteren Komponente.


20. Sortieranlage nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zur Siebung Mogensen-Sizer vorgesehen sind.

21. Sortieranlage nach einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige Windsichter (4, 21) als Schwerkraft-Gegenstromsichter ausgebildet sind.

22. Sortieranlage nach einem der Ansprüche 13 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige Windsichter (4, 21) als Querstromwindsichter ausgebildet sind.

23. Sortieranlage nach einem der Ansprüche 13 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige Windsichter (4, 21) als Umlenkwindsichter ausgebildet sind.

24. Sortieranlage nach einem der Ansprüche 13 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einige der Windsichter (4, 21) als Fliehkraftwindsichter ausgebildet sind.



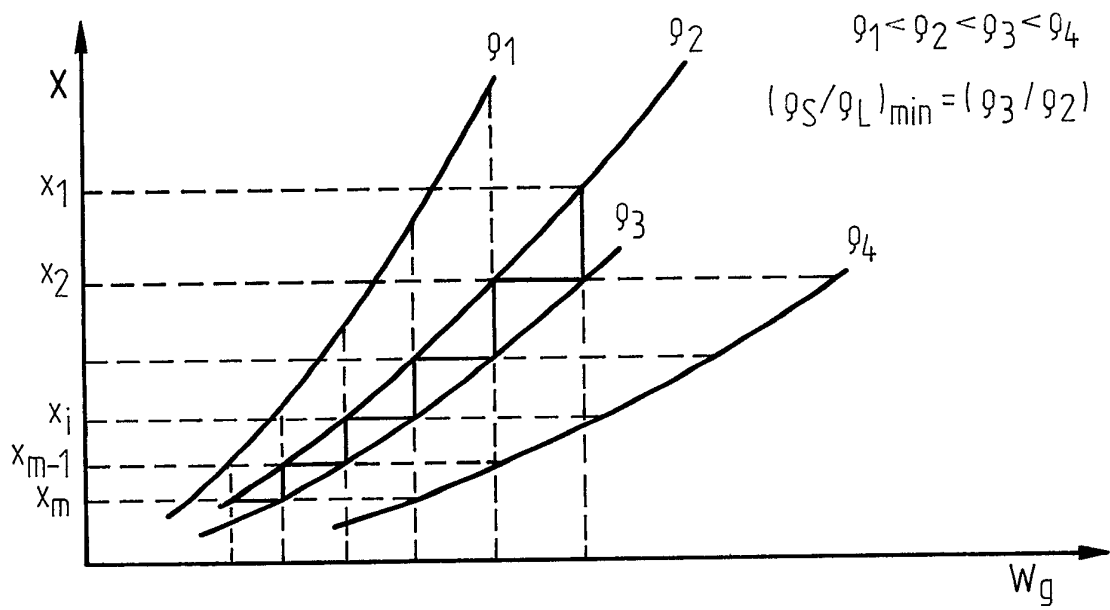


FIG. 1

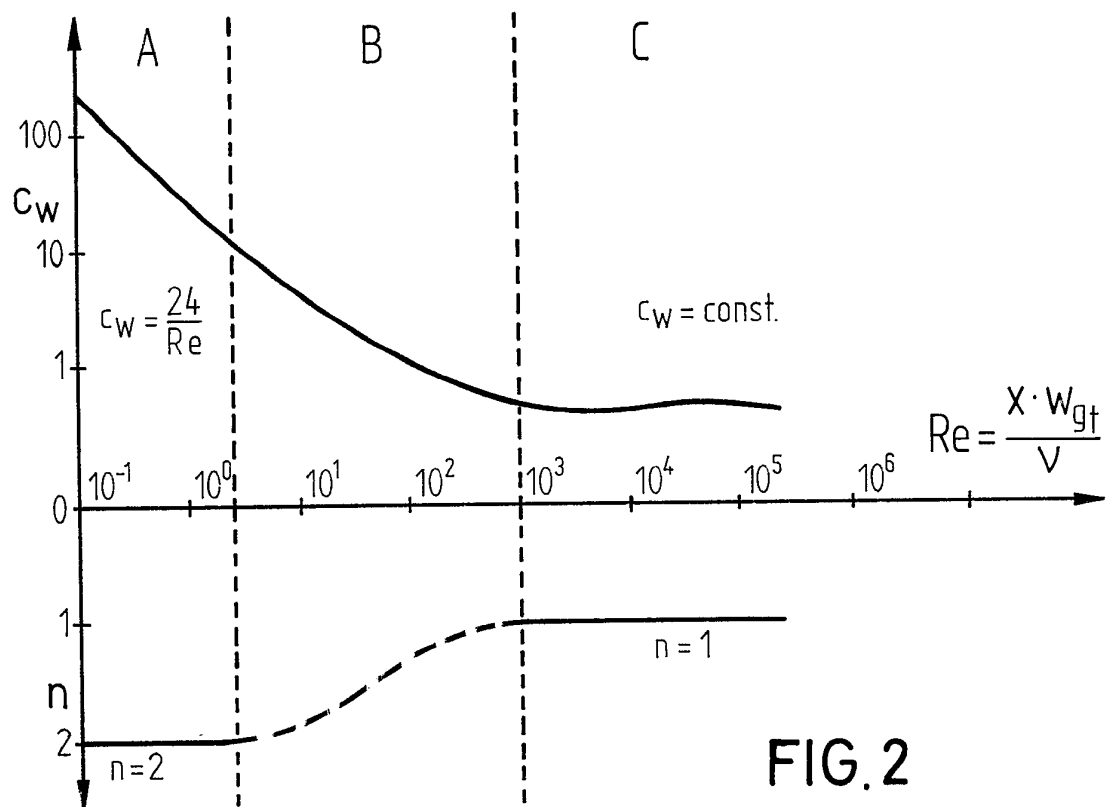
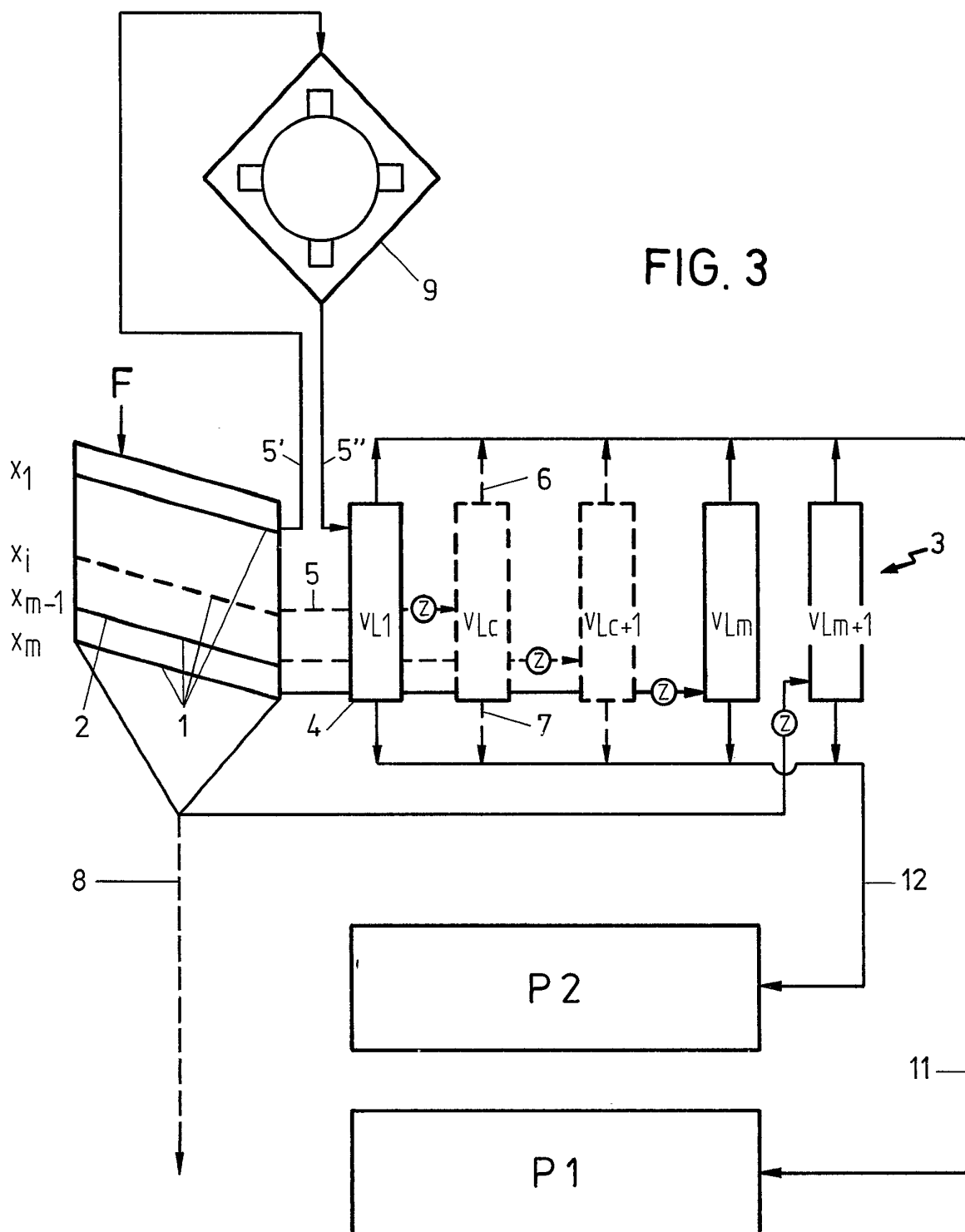


FIG. 2



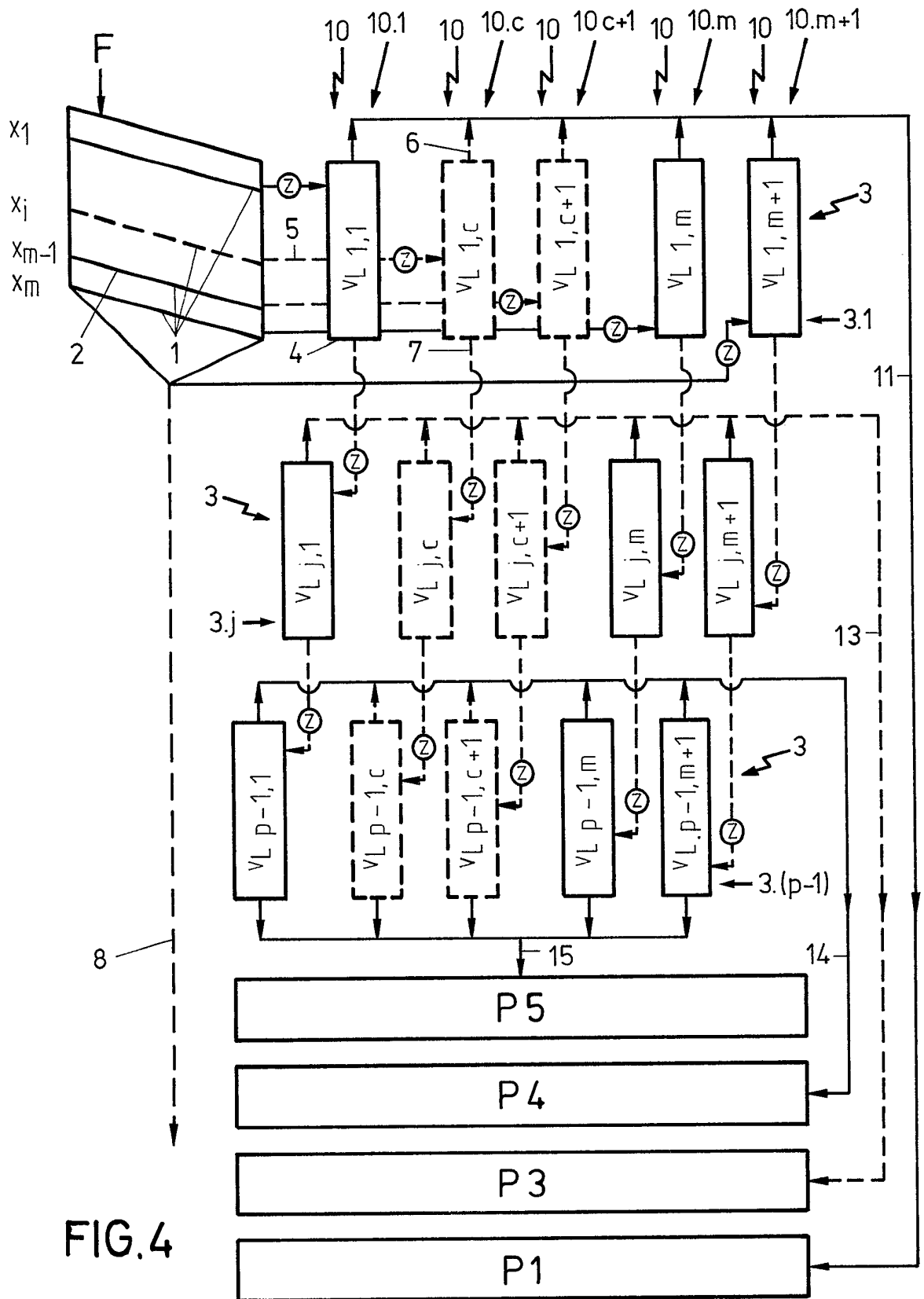


FIG.4

FIG. 5

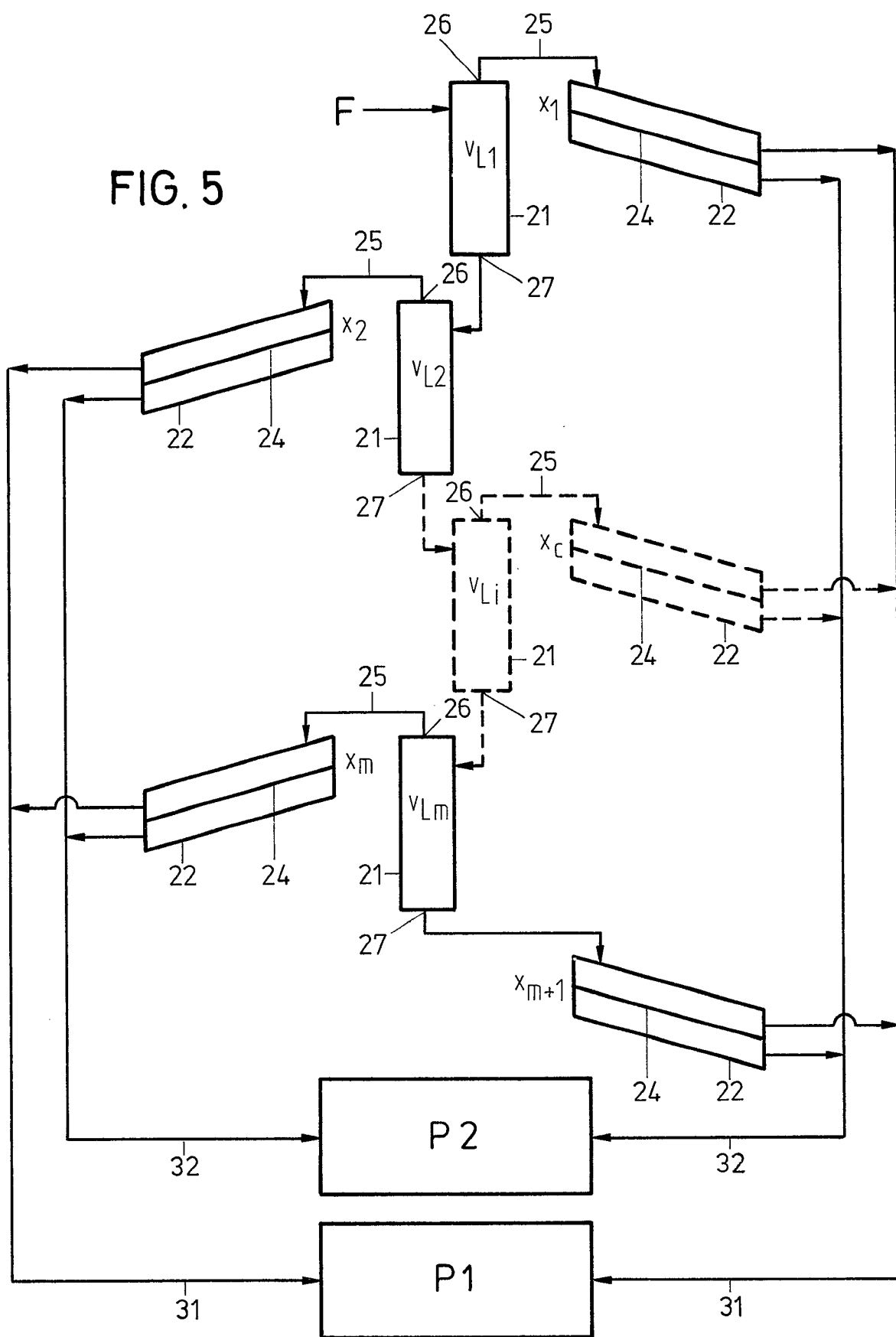


FIG. 6

