

# Grundsätzliches zur Trockenabscheidung von Feststoffteilchen aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik

Von **Reinhard Wasmund**, Düsseldorf

Zur Trockenabscheidung von Feststoffteilchen aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik kommen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen die beiden unterschiedlichen mechanischen Verfahren der Schwerkraft- und der Zentrifugalkraftabscheidung in Betracht, wobei allerdings jedes seinen speziellen Wirksamkeitsbereich hat. Mit Hilfe der theoretischen Grundlagen und ihrer zeichnerischen Anwendung wird das Grundsätzliche der beiden Methoden herausgestellt. Darauf fußend, werden Empfehlungen für die praktische Durchführung der Trockenabscheidung gegeben.

## Problemstellung

In der landwirtschaftlichen Technik gibt es eine Reihe von Verarbeitungsprozessen, bei denen die Einsatzgüter, Zwischen- oder Endprodukte durch direkt anströmende Luft gekühlt, getrocknet, entstaubt, von Spreu und Hülsen befreit oder auch transportiert werden. Die dabei anfallende Abluft ist in den meisten Fällen ein heterogenes Gassystem, das aus zwei oder mehr Komponenten besteht. Darin stellt die Luft als kontinuierlich bewegtes Medium die äußere Phase dar, welche die dispersen Bestandteile festen, flüssigen oder dampfförmigen Zustands, die sogenannte innere Phase, umschließt und mit sich führt.

Sofern es sich bei der dispersen Phase um Stoffe handelt, deren Aggregatzustand durch Wärmezu- oder -ableitung oder auch durch Druckunterschiede verändert werden kann, ergeben sich für ihre Entfernung aus der Abluft dort, wo sie überhaupt verfahrenstechnisch vorgenommen werden muß, keine besonderen Schwierigkeiten. Anders ist es jedoch, wenn Feststoffteilchen, im allgemeinen als Staub bezeichnet, aus der abströmenden Luft herauszunehmen sind. Deshalb wird nachfolgend das Grundsätzliche ihrer Abscheidung erörtert.

Die in Abluftströmen dispergierten Feststoffpartikel haben gewöhnlich Längenausdehnungen in Richtung ihrer Hauptachse oder — bei annähernd kugeligen Gebilden — Durchmesser zwischen 5 und 50  $\mu\text{m}$ . Sie können unter Umständen aber auch wesentlich feiner sein. Doch sollen in diesem Zusammenhang nur solche Teilchen betrachtet werden, die nicht so klein sind, daß sie sich unter der Schwerkraftwirkung nicht mehr absetzen können, denn nur diese werden in der landwirtschaftlichen Technik bestenfalls aus der Abluft entfernt.

## Arbeitsmethoden

Zur Trockenabscheidung von Feststoffteilchen aus den vorstehend gekennzeichneten Abluftströmen kommen aus Gründen der Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit fast ausschließlich mechanische Arbeitsverfahren in Betracht [1 bis 6]. Sie beruhen auf der Einwirkung von Kräften, nämlich der Schwerkraft oder der Zentrifugalkraft (Fliehkraft) [1 bis 6], und sind in der Anwendung recht einfach und im Betrieb sehr funktionsbeständig. Auch eignen sie sich gut bei großen Durchsatzleistungen. Allerdings verringert sich ihre Wirksamkeit mit zunehmender Feinheit oder abnehmender Dichte der Feststoffteilchen.

Verhältnismäßig selten werden in der landwirtschaftlichen Technik zur Reinigung von Abluftströmen Filtrierverfahren und elektrische Abscheideprozesse benutzt, da deren apparativer und betrieblicher Aufwand infolge des jeweils beträchtlichen Ausmaßes der äußeren Phase und der Menge der in der Zeiteinheit daraus zu eliminierenden Feststoffe zu groß ist. Sie sind jedoch auch auf diesem verfahrenstechnischen Gebiet — z. B. als nachgeschaltete Arbeitsweisen — zur weitgehenden Beseitigung sehr feinkörniger und leichter Restbestandteile der dispergierten Materie recht brauchbar [1 bis 6].

*Dr.-Ing. Reinhard Wasmund ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im VDI-Bildungswerk des Vereins Deutscher Ingenieure Düsseldorf.*

## Theoretische Grundlagen

### Schwerkraftabscheidung

Wenn sehr kleine, aber absetzbare Körper, die durch einen Luftstrom fortgetragen werden, plötzlich — z. B. infolge einer wesentlichen Verminderung der Luftströmungsgeschwindigkeit — zu fallen beginnen, macht sich ein Widerstand der äußeren Phase des heterogenen Gassystems dergestalt bemerkbar, daß die Fallgeschwindigkeit jedes Feststoffteilchens nach einer relativ kurzen Zeit einen konstanten Wert annimmt. Unter den Wirkungen von Schwerkraft und Luftwiderstand wird also aus der gleichmäßig beschleunigten eine gleichförmige Abwärtsbewegung. Die Unveränderlichkeit der Absetzgeschwindigkeit ergibt sich demnach, sobald sich die Gewichtskraft (der Schweredruck) jedes Teilchens in der strömenden Abluft und die Widerstandskraft dieses Mediums die Waage halten, d. h., sobald

$$G - A = W$$

mit  $G = V \gamma_T$  und  $A = V \gamma_L$  ist.<sup>1)</sup>

Da in dem zu betrachtenden Fall  $\gamma_L$  im Verhältnis zu  $\gamma_T$  eine nur sehr geringe Größe (etwa 0,6 bis 0,1% von  $\gamma_T$ ) hat, kann  $A$  bei den folgenden Erörterungen vernachlässigt werden. Somit ergibt sich für beliebig geformte Feststoffteilchen

$$W = G = V \gamma_T$$

und für kugelförmige Körper

$$W = G = \frac{\pi d^3}{6} \gamma_T.$$

Bei laminarer Strömung ist nach *Stokes*

$$W_1 = 6 \pi \eta_L \frac{d}{2} v_1 \quad (1),$$

so daß aus  $W = W_1$  entsteht

$$\frac{\pi d^3}{6} \gamma_T = 6 \pi \eta_L \frac{d}{2} v_1.$$

Damit ist

$$v_1 = \frac{\gamma_T d^2}{18 \eta_L} \quad (2).$$

Bei turbulenter Strömung ist nach *Newton*

$$W_t = F C_t \frac{\gamma_L}{2g} v_t^2 \quad (3),$$

woraus für kugelförmige Feststoffteilchen wird

$$W_t = \frac{\pi d^2}{4} C_t \frac{\gamma_L}{2g} v_t^2,$$

so daß aus  $W = W_t$  entsteht

$$\frac{\pi d^3}{6} \gamma_T = \frac{\pi d^2}{4} C_t \frac{\gamma_L}{2g} v_t^2.$$

Damit ist

$$v_t = \sqrt{\frac{4g\gamma_T d}{3C_t\gamma_L}} \quad (4).$$

Im Schrifttum [3; 5] werden für die Widerstandszahl in drei verschiedenen, durch die Größe der *Reynoldsschen* Zahl bestimmten Bereichen die folgenden, aus Versuchen resultierenden Werte angegeben:

$$\begin{aligned} \text{Re} \leq 0,2 & \dots\dots\dots C = \frac{24}{\text{Re}}, \\ 0,2 < \text{Re} < 500 & \dots\dots\dots C = \frac{18,5}{\text{Re}^{0,6}}, \\ 500 < \text{Re} < 150000 & \dots\dots\dots C = 0,44. \end{aligned}$$

<sup>1)</sup> „Verwendete Formelzeichen“ siehe S. 216.

Dabei sind Strömungen mit  $Re \leq 0,2$  als laminare und solche mit  $Re > 0,2$  als turbulente anzusehen, jedoch mit der Einschränkung, daß voll ausgebildete Turbulenz erst bei  $Re = 500$  beginnt.

### Zentrifugalkraftabscheidung

Ein Körper, der sich um eine Achse dreht, ist bekanntlich dem Angriff der Zentrifugalkraft, d. h. der Einwirkung jener Trägheitskraft ausgesetzt, welche die Richtungsänderung seiner Bewegung zu verhindern sucht. Diese Kraft ist gekennzeichnet durch den Ausdruck

$$Z = \frac{m w^2}{r B}$$

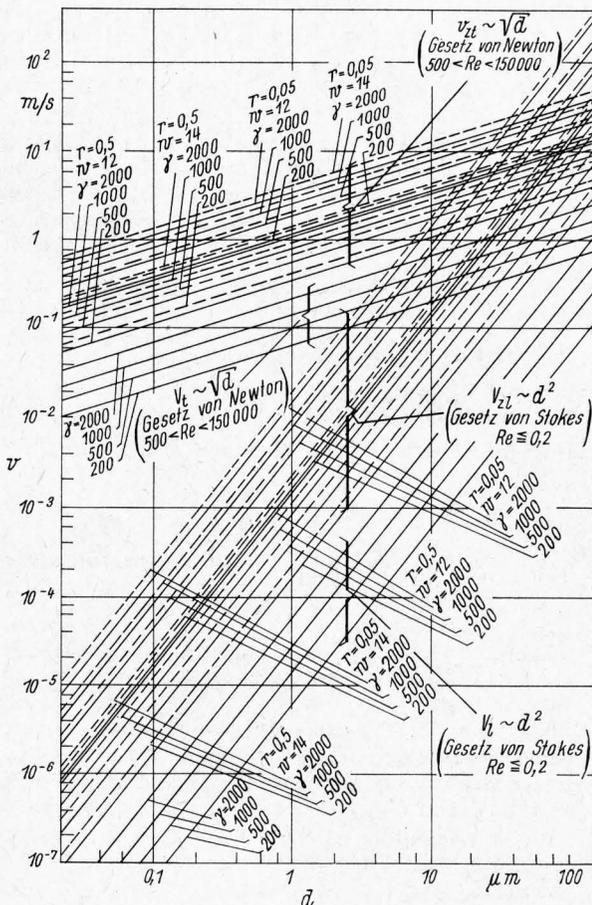
Wird die Zentrifugalbeschleunigung  $w^2/r$  in Beziehung zur Erdbeschleunigung gebracht, ergibt sich die für Zentrifugalkraftabscheider wichtige Kennzahl

$$K = \frac{w^2}{r g}$$

Da das Ausschleudern von Feststoffteilchen aus Abluftströmen mittels Zentrifugalkraft den gleichen Gesetzen wie ihr Absetzen mittels Schwerkraft gehorcht und nur der Unterschied besteht, daß die Teilchenbewegung im ersten Fall bedeutend — nämlich um den Faktor  $K$  — schneller als die im zweiten verläuft, können zur Berechnung der zentrifugalen Abscheidengeschwindigkeit die Gln. (1) bis (4) nach Multiplikation mit der Kennzahl verwendet werden.

Sobald bei der Zentrifugalkraftabscheidung der Widerstand der Luft gemäß dem *Stokesschen* Gesetz der ersten Potenz der Absetzgeschwindigkeit proportional ist, also Strömungsverhältnisse mit  $Re \leq 0,2$  vorliegen, ergibt sich für kugelförmige Feststoffteilchen

$$v_{z,1} = \frac{\gamma_T d^2 K}{18 \eta_L} \quad (5)$$



**Bild 1.** Abhängigkeit der Absetzgeschwindigkeit  $v$  verschieden schwerer Feststoffteilchen von deren Durchmesser  $d$  bei rein laminaren und rein turbulenten Strömungszuständen.

Bei der Zentrifugalkraftabscheidung sind Grenzwerte  $r = 0,05$  bzw.  $0,5$  m und  $w = 12$  bzw.  $14$  m/s berücksichtigt.

oder

$$v_{z,1} = \frac{\gamma_T d^2 w^2}{18 \eta_L r g} \quad (6)$$

Wenn bei der gleichen Abscheidungsart der Widerstand der Luft gemäß dem *Newtonschen* Gesetz dem Quadrat der Absetzgeschwindigkeit proportional ist, d. h., Strömungsverhältnisse mit  $Re > 0,2$  gegeben sind, gilt für kugelförmige Feststoffteilchen

$$v_{z,t} = \sqrt{\frac{4 g \gamma_T d K}{3 C_t \gamma_L}} \quad (7)$$

oder

$$v_{z,t} = \sqrt{\frac{4 \gamma_T d w^2}{3 C_t \gamma_L r}} \quad (8)$$

Wie auch durch Schrifttumsangaben [1 bis 6] bestätigt wird, liegen die mittleren Umlaufgeschwindigkeiten der Luftströme bei den in der Praxis verwendeten Zentrifugalkraftabscheidern in der Regel bei etwa 12 bis 14 m/s. Die zur Entfernung der Feststoffteilchen benötigten Apparate (Zyklone) haben nach den gleichen Quellen gewöhnlich im zylindrischen Teil Außendurchmesser zwischen 1,0 und 0,1 m.

### Zusammenhänge in graphischer Darstellung

Da  $v_1$  und  $v_{z,1}$  jeweils proportional  $d^2$  sowie  $v_t$  und  $v_{z,t}$  jeweils proportional  $\sqrt{d}$  sind, lassen sich diese Beziehungen in einem gemeinsamen Diagramm veranschaulichen. So zeigt **Bild 1** die Abhängigkeit der Absetzgeschwindigkeit vom Durchmesser bei aus strömender Abluft zu entfernenden kugelförmigen Feststoffteilchen sowohl für laminare als auch für turbulente Strömungen. Dabei wurden theoretische, nämlich nur errechnete Werte zugrunde gelegt und gegenseitige Behinderungen der abzuschleudenden Partikel ausgeschlossen. Auch wurde davon ausgegangen, daß die Geschwindigkeiten der Gasströme in den Abscheidekammern und den Zyklonen konstant sind.

Für Feststoffteilchen unregelmäßiger Form läßt sich das Diagramm in entsprechender Weise anfertigen, wenn man nur anstelle des Durchmessers der kugelförmigen Gebilde den äquivalenten Durchmesser der beliebig geformten einheitlichen oder in Größe und Gestalt überwiegenden Schwebstoffe setzt. Dieser ergibt sich in Anlehnung an die Berechnungsmethodik für Kugeldurchmesser, nämlich

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 V}{\pi}}$$

aus der Gleichung

$$d_{\text{äquiv.}} = 1,24 \sqrt[3]{\frac{m g}{\gamma_T B}}$$

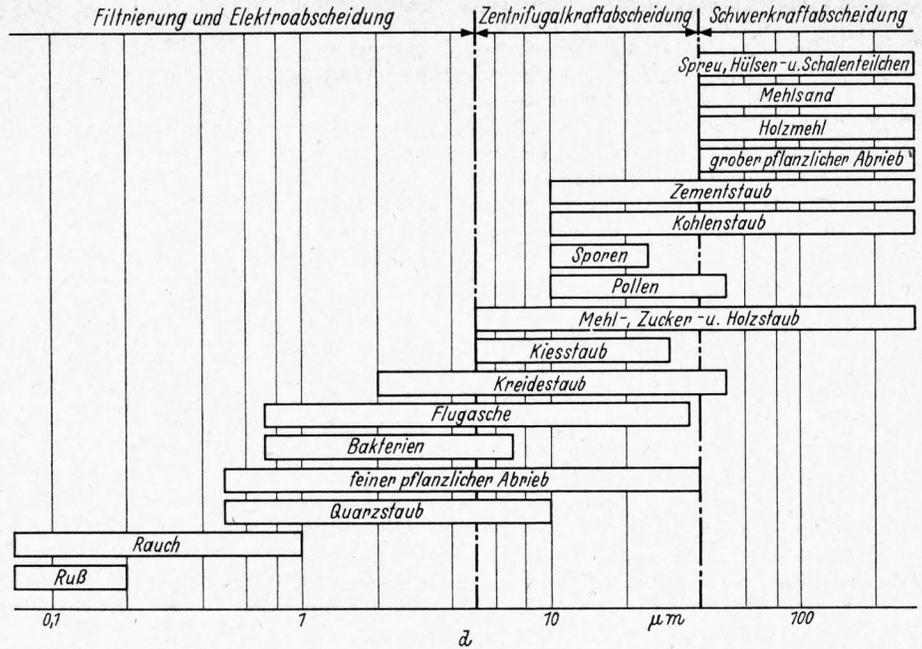
### Verwendete Formelzeichen

|                            |  |
|----------------------------|--|
| $A$ kp                     | Auftrieb eines Feststoffteilchens in der Luft                                    |
| $B = 9,81$                 | $\frac{\text{kgm}}{\text{kps}^2}$ Umrechnungsfaktor                              |
| $C$ —                      | Widerstandszahl  |
| $d$ m                      | Durchmesser eines kugelförmigen Feststoffteilchens                               |
| $F$ m <sup>2</sup>         | Projektion des Querschnitts eines Feststoffteilchens in seiner Bewegungsrichtung |
| $G$ kp                     | Gewichtskraft, Schweredruck eines Feststoffteilchens                             |
| $g$ m/s <sup>2</sup>       | Erdbeschleunigung  |
| $K$ —                      | Kennzahl   |
| $m$ kg                     | Masse eines Feststoffteilchens   |
| $r$ m                      | Radius der Umlaufbahn eines Feststoffteilchens                                   |
| $Re$ —                     | <i>Reynoldssche</i> Zahl   |
| $V$ m <sup>3</sup>         | Volumen eines Feststoffteilchens   |
| $v$ m/s                    | Absetzgeschwindigkeit eines Feststoffteilchens                                   |
| $W$ kp                     | Widerstandskraft der Luft  |
| $w$ m/s                    | Umlaufgeschwindigkeit eines Feststoffteilchens                                   |
| $Z$ kp                     | Zentrifugalkraft, Fliehkraft   |
| $\gamma$ kp/m <sup>3</sup> | Wichte   |
| $\eta$ kps/m <sup>2</sup>  | dynamische Zähigkeit   |

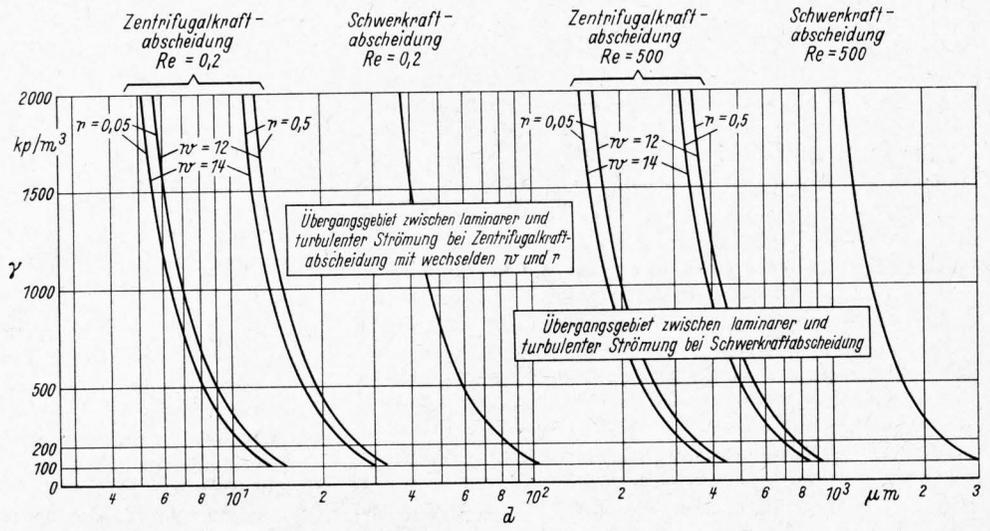
Indizes:

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| L | auf die Luft bezogen              |
| T | auf das Feststoffteilchen bezogen |
| l | bei laminarer Strömung            |
| t | bei turbulenter Strömung          |
| z | bei zentrifugaler Kraftwirkung    |

In **Bild 2** sind zunächst die wichtigsten Feststoffteilchen, die in Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik vorkommen können, — nach dem durchschnittlichen Kleinstwert ihrer räumlichen Ausdehnung geordnet — wiedergegeben. Anhand dieser Größeneinteilung ist dann aufgrund der im nächsten Abschnitt folgenden Auswertung dargestellt, in welchen Bereichen der Feststoffteilchen-Durchmesser die möglichen Abscheidungsverfahren in erster Linie erfolgreich sein können.



**Bild 2.** Die wichtigsten Feststoffteilchen in Abluftströmen nach Größe (Durchmesser  $d$ ) und zweckmäßiger Methodik ihrer Trocknungsabscheidung geordnet.



**Bild 3.** Abhängigkeit des Durchmessers  $d$  der bei  $Re = 0,2$  theoretisch noch abscheidbaren größten und der bei  $Re = 500$  theoretisch noch abscheidbaren kleinsten Feststoffteilchen von den Wichten  $\gamma$  ihrer Substanzen bei Schwerkraft- bzw. Zentrifugalkraftabscheidung.

Die maximale Größe der Feststoffteilchen, die beim Absetzen dem *Stokesschen* Gesetz noch uneingeschränkt folgen, läßt sich dadurch rechnerisch bestimmen, daß man in die Gln. (2) und (6) für die Absetzgeschwindigkeit  $v$  denjenigen Wert einsetzt, der sich aus der *Reynoldsschen* Zahl ergibt. Dann ist, wiederum für kugelförmige Körper und unter der Bedingung, daß unbehinderte Teilchenbewegungen ermöglicht werden,

$$v = \frac{Re \eta_L g}{d \gamma_L} \quad (9).$$

Rechnet man mit dem oberen Grenzwert der *Reynoldsschen* Zahl, nämlich mit  $Re = 0,2$ , ist der Größtdurchmesser der Feststoffteilchen für diese laminaren Verhältnisse

bei Schwerkraftabscheidung:

$$d_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3,6 \eta_L^2 g}{\gamma_L \gamma_T}} \quad (10),$$

bei Zentrifugalkraftabscheidung:

$$d_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3,6 \eta_L^2 g^2 r}{\gamma_L \gamma_T w^2}} \quad (11).$$

Andererseits ist die minimale Größe der Feststoffteilchen, die sich im rein turbulenten Strömungsgebiet dem *Newtonschen* Gesetz gemäß absetzen, auf entsprechende Weise mit Hilfe der Gln. (4), (8) und (9) zu ermitteln. Wird mit dem unteren Grenzwert der *Reynoldsschen* Zahl, nämlich mit  $Re = 500$ , gerechnet, ergibt sich der Kleinstdurchmesser der Feststoffteilchen für diese rein turbulenten Verhältnisse

bei Schwerkraftabscheidung:

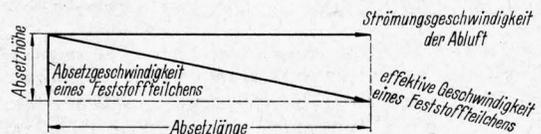
$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{3 C_t Re^2 \eta_L^2 g}{4 \gamma_L \gamma_T}} \quad (12),$$

bei Zentrifugalkraftabscheidung:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{3 C_t Re^2 \eta_L^2 g^2 r}{4 \gamma_L \gamma_T w^2}} \quad (13).$$

Für die verschiedenen Grenzfälle rein laminarer oder rein turbulenter Strömungszustände sind unter Benutzung der Gln. (10) bis (13) in **Bild 3** die Abhängigkeiten der Durchmesser der theoretisch gerade noch bzw. gerade schon abscheidbaren größten bzw. kleinsten Feststoffteilchen von den Wichten ihrer Substanzen jeweils bei Schwerkraft- und Zentrifugalkraftwirkung sichtbar gemacht.

In **Bild 4** ist der Absetzvorgang für ein Feststoffteilchen, das in seiner Ausscheidewegung nicht durch Umlenkungen oder Aufpralleinflüsse behindert wird, mit Hilfe der verschiedenen Geschwindigkeiten vektoriell dargestellt.



**Bild 4.** Vektorielle Darstellung des Absetzvorgangs bei unbehinderter Bewegung eines Feststoffteilchens.

## Auswertung der Diagramme

Die Verfahrenswahl für die Trockenabscheidung von Feststoffteilchen aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik wird — wie die für jeden anderen prozeßtechnischen Bereich — nicht nur durch technische sondern auch durch wirtschaftliche Gesichtspunkte beeinflußt. Von den hier diskutierten, zur Abluftreinigung geeigneten Methoden soll deshalb zunächst diejenige betrachtet werden, die sowohl in bezug auf die Anschaffung als auch im Hinblick auf den Betrieb wirtschaftliche Vorteile bietet, nämlich die Schwerkraftabscheidung.

Sie wird bekanntlich dadurch erreicht, daß Abluftströme, die Feststoffteilchen mitführen, beim Eintritt in querschnittsvergrößerte Durchgangsräume, die sogenannten Absetzkammern, verlangsamt werden. In direkter Abhängigkeit hiervon, d. h. in gleichem Maß, wie sich die Verringerung der Abluftgeschwindigkeit vollzieht, gewinnt die Absetzgeschwindigkeit an Bedeutung und wird die Absetzlänge verkürzt, Bild 4. Deshalb führt man die Absetzkammern nicht nur in Querschnitts- sondern auch in Längsrichtung so großzügig aus, daß die dispersen Bestandteile bei ihrer Abwärtsbewegung das strömende Medium mit möglichst geringer effektiver Geschwindigkeit und in erträglicher Absetzlänge (bei unbehinderter Bewegungsrichtung) verlassen können. Wenn allerdings eine Absetzkammer wegen der Feinheit und Leichtigkeit der Feststoffteilchen zu große Ausmaße annehmen würde, begnügt man sich mit einer kürzeren und verlängert in ihr durch senkrecht zur Abluftströmung errichtete Prallwände den Weg der äußeren Phase bei gleichzeitiger Verringerung ihrer Geschwindigkeit. Auch werden andere Arten von Einbauten verwendet, wie z. B. Jalousien, Umlenkbleche oder Leiteinsätze.

Dennoch bleibt die Trockenabscheidung sehr feiner und leichter Feststoffteilchen aus Abluftströmen mit Hilfe von Absetzkammern recht problematisch. Wie Bild 1 erkennen läßt, ist die Absetzgeschwindigkeit von Partikeln, deren Durchmesser  $d$  (bzw.  $d_{\text{äquiv.}}$ )  $< 40 \mu\text{m}$  und deren Wichte  $\gamma < 1000 \text{ kp/m}^3$  sind, so gering, daß nach Bild 4 sehr lange Absetzwege oder äußerst stark reduzierte Luftgeschwindigkeiten benötigt werden. Diese Verfahrensnotwendigkeiten bestehen um so mehr, als die tatsächliche Absetzgeschwindigkeit in Staubkammern infolge gegenseitiger Behinderung der Teilchen (durch Aufprall, Reibung oder Ablenkung) nur etwa halb so groß ist, wie die auf theoretischer Grundlage errechnete und zur Anfertigung von Bild 1 benutzte.

Wenn auch bei hohen Konzentrationen der in der strömenden Abluft befindlichen Feststoffteilchen der Grad der Abscheidung in Absetzkammern dadurch erhöht wird, daß gewöhnlich Agglomerationen der Partikel stattfinden und kleine Teilchen durch große mitgerissen werden, darf angesichts der Aussagen von Bild 1 und 3 doch nur davon ausgegangen werden, daß die Schwerkraftabscheidung bei laminaren oder auch bei durch konstruktive Maßnahmen turbulent gemachten Strömungsverhältnissen ihre Wirksamkeitsgrenze bei einem Teilchendurchmesser  $d \approx 40 \mu\text{m}$  hat. Wegen ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer vorzüglichen Eignung bei großen Abluftströmen sollte sie in der landwirtschaftlichen Technik aber dennoch, und zwar vor allem als Vorstufe, d. h. zur Abscheidung des stets in beachtlichem Umfang vorhandenen Anteils an groben Feststoffteilchen, benutzt werden.

Zur mechanischen Entfernung von Feststoffteilchen mit Durchmessern  $d < 40 \mu\text{m}$  werden die Abluftströme zweckmäßigerweise in Zentrifugalkraftabscheider gelenkt. Deren Trennwirkung erstreckt sich nämlich nach Bild 1 bei den üblichen Arten von Schwebstoffen theoretisch, d. h. ohne Zusammenballungen und Mitnahmeeffekte der dispersen Materie, noch auf Teilchen, die

$$\begin{aligned} \text{bei } Re \leq 0,2 & \dots\dots\dots d_{\min} \approx 10 \mu\text{m}, \\ \text{bei } Re > 500 & \dots\dots\dots d_{\min} \approx 1 \mu\text{m} \end{aligned}$$

als Kleinstabmessungen haben. Darum kann man in Anbetracht der wirklichen Verhältnisse beim Feststoffausschleudern in der Praxis allgemein damit rechnen, daß die Zentrifugalkraftabscheidung bei Teilchen mit Durchmessern bis  $d_{\min} \approx 5 \mu\text{m}$  wirksam ist.

Da nach den Gln. (6) und (8) die Bewegungsgeschwindigkeit der Feststoffe in Richtung auf die zylindrische Außenwand der Abscheider sowohl von der Strömungsgeschwindigkeit (Faktor zweiten Grads im Zähler) der durchgesetzten Abluft als auch von ihrem Bahnradius (Faktor ersten Grads im Nenner) beeinflußt wird und demgemäß der Erfolg der Teilchenabscheidung vor allem mit zunehmender Gasgeschwindigkeit, aber auch mit abnehmendem Behälterdurchmesser ansteigt, muß bei der Gestaltung der Zyklone dafür gesorgt werden, daß die Abluftströme möglichst schnell und — wie auch Bild 3 erkennen läßt — auf weitgehend gekrümmter Bahn fließen. Nur so können sie ihrerseits hohe Zentrifugalkräfte erzeugen. Man erreicht dies mit Hilfe verhältnismäßig kleiner Strömungsquerschnitte und geringer Durchmesser der Abscheidegefäße. Deshalb werden zur Reinigung umfangreicher Abluftströme nicht einzelne große Apparate, sondern jeweils mehrere kleine verwendet, die in Parallelschaltung angeordnet sind.

Die zum Zweck eines guten Abschleuderungsgrads erhöhte Abluftgeschwindigkeit läßt allerdings den Widerstand jedes Zentrifugalkraftabscheiders entsprechend zunehmen, wodurch wiederum der Energieverbrauch ansteigt und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens verschlechtert wird. Deshalb empfiehlt es sich, diese Methode in der landwirtschaftlichen Technik nur anzuwenden, wenn die Abluftströme fast ausschließlich Partikel mit Größen zwischen  $40$  und  $5 \mu\text{m}$  enthalten. Das bedeutet, daß Zentrifugalkraftabscheider vornehmlich hinter Schwerkraftabscheidern anzuordnen, also als zweite Stufe der Trockenabscheidung vorzusehen sind.

Sobald die Abluft auch von Feststoffteilchen mit  $d < 5 \mu\text{m}$  befreit werden muß, ist es erforderlich, Filtrier- oder Elektroabscheidungsverfahren einzusetzen und sie als letztes Glied in einer Trockenabscheideanlage zu benutzen.

## Zusammenfassung

Die zur Trockenabscheidung von Feststoffteilchen aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik geeigneten mechanischen Verfahren sind durch die Einwirkung von Schwerkraft oder Zentrifugalkraft gekennzeichnet. Anhand von abgeleiteten Berechnungsformeln und bildlichen Darstellungen wurde gezeigt, daß und in welchem Maß sich ihre Wirksamkeit mit zunehmender Feinheit und abnehmender Dichte der staubförmigen Materie verringert. Die auf theoretischer Basis geführte Untersuchung der Zusammenhänge ergab, daß man in Anbetracht der jeweiligen technischen und wirtschaftlichen Vorteile in der Praxis anstreben sollte, feste Schwebstoffe mit Durchmessern  $d > 40 \mu\text{m}$  mittels Schwerkraft, solche mit Abmessungen  $5 \mu\text{m} < d < 40 \mu\text{m}$  mittels Zentrifugalkraft abzuscheiden. Feinere Feststoffteilchen, die bei mechanischer Abscheidung — außer durch Mitreißen oder nach Zusammenballung — nicht ausgeschieden werden können, lassen sich durch Filtrierung oder Elektroabscheidung auf trockenem Weg aus der Abluft entfernen.

## Schrifttum

- [1] Dietrich, L.: Staubabscheidung durch Massenkraft. In: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1. München: Urban & Schwarzenberg Verlag 1951. S. 366/75.
- [2] Henglein, F. A.: Grundriß der chemischen Technik, 11. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie GmbH 1963. S. 57/86.
- [3] Kassatkin, A. G.: Chemische Verfahrenstechnik. Bd. 1. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1962. S. 195/237.
- [4] Meldau, R.: Handbuch der Staubtechnik. Bd. 1 Grundlagen, 2. Aufl. 1956. S. 46/57 und 91/96. Bd. 2 Staubtechnologie, 2. Aufl. 1958. S. 160/73. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.
- [5] Pawlow, K. F., P. G. Romankow und A. A. Noskow: Beispiele und Übungsaufgaben zur chemischen Verfahrenstechnik. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1966. S. 123/50.
- [6] Ullrich, H.: Mechanische Verfahrenstechnik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1967. S. 265/75.