

etwa 180° umfassenden Siebmantel umgeben. — Im Dreschwerk der Firma Epple-Buxbaum, Bild 114, ist die zweite Trommel geschlossen ausgeführt und mit Dreikantprofilen besetzt, wird aber als Dreschtrommel bezeichnet [30]. Die beiden Dreschkörbe sind durch ein Siebgitter miteinander verbunden. — Ein anderes Patent der Firma Westerasmaskiner nach Bild 115 sieht vor, daß der Korb unter der Strohltritttrommel weitergeführt wird, die nach Patent Nr. 1031 558 als Gebläse ausgebildet sein kann. — In einer Ausführung von Claas, Bild 116, liegt die Strohltritttrommel über der Dreschtrommel. Sie wird durch die Kombination mit einem beweglichen Rechen, durch den die losen Körner hindurchtreten können, zur Abscheidetrommel.

#### 4 Zusammenfassung

Die hier beschriebenen Dreschsysteme zeigen, wie vielfältig die Bemühungen bisher waren, die jeweils bekannten Dreschorgane durch bessere zu ersetzen oder für besondere Aufgaben die geeigneteren Vorrichtungen zu finden. Ebenso entstanden alle Kombinationen Trommel-Korb nach dem Tangentialsystem mit dem Ziel, die Wirksamkeit dieser am weitesten verbreiteten Dreschorgane zu steigern. Trotz der großen Zahl der beschriebenen Systeme und Kombinationen erhebt dieser Bericht keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Da auch die Dreschelemente Trommel und Korb wiederum in vielen Ausführungen und Formen bekannt sind, sollen diese in einer weiteren Arbeit dargestellt werden.

#### 5 Schrifttum

- [1] Bainer, R., und J. S. Winters: New principle in threshing lima bean seed. Agric. Engng **18** (1937) S. 205/06.
- [2] Brenner, W. G.: Der russische Zapfwellen-Mährescher System Borodin. Techn. i. d. Landw. **12** (1931) H. 4, S. 106/09.
- [3] Chalmers, G. R., H. J. Nation und F. W. Raybould: Some experiments with an endless band threshing mechanism. NIAE-Report 1952.
- [4] Dervedde, W.: Untersuchungen über Streugüte und Leistungsbedarf von Stallungstreuern mit einer Systematik der Streuwerke. Grundl. Landtechn. Heft 18 (1963) S. 58/66.
- [5] Fath, A.: Über die Anfänge des Mährescherbaues in Europa. Landtechn. **4** (1949) H. 16, S. 523/28.
- [6] Garmaš, N. T.: Über die Verbesserung der Getreideernte. Traktory i sel'chozmašiny **29** (1959) Nr. 9, S. 29/32.
- [7] Gavrilov, V. P.: Über die Verbesserung der Getreideernte. Traktory i sel'chozmašiny **30** (1960) Nr. 5, S. 47/48.
- [8] Gudkov, A. N., und R. P. Zadneprovskij: Bestimmung der Parameter von Arbeitsorganen beim Drusch mit vibrierenden Werkzeugen. Mechanizacija i Elektrifikacija **22** (1964) Nr. 1, S. 21/24.
- [9] Herbsthofer, F.: Mährescherübersicht. Techn. i. d. Landw. **24** (1943) Nr. 12, S. 171/80.

- [10] Hora, O., M. Gregor und V. Brož: Die Arbeit mit dem Prüf-dreschstand. Zemědělská Technika **8** (1962) Nr. 3, S. 173/84.
- [11] Hora, O., K. Žák und A. Čermák: Trennung der Körner vom gehäckselten Getreide. Zemědělská Technika **9** (1963) Nr. 4, S. 317/34.
- [12] Hora, O., A. Čermák und M. Gregor: Ein Weg zur Erhöhung der Leistung von Mähreschern durch Häckseldrusch. Zemědělská Technika **10** (1964) Nr. 3, S. 151/64.
- [13] Kühne, G.: Handbuch der Landmaschinentechnik. 2. Bd. Berlin: Verl. J. Springer 1934.
- [14] Lalor, W. F., und W. F. Buchele: Designing and testing of a threshing cone. Transactions ASAE **6** (1963) Nr. 2, S. 73/76.
- [15] Okorokov, I. F., S. N. Perstnev und I. I. Tartakovskij: Zur Theorie des Vibrationsdrusches. Mechanizacija i Elektrifikacija **20** (1962) Nr. 2, S. 32/33.
- [16] Ransome, J. A.: The implement of agriculture. London 1843.
- [17] Schlayer: Dreschmaschine „Schlayer-Heliaks“. Techn. i. d. Landw. **9** (1928) H. 11, S. 258/59.
- [18] Ščerbakov, K. S., und A. N. Solomin: Minderung der Kornbeschädigung beim Drusch. Mechanizacija i Elektrifikacija **24** (1966) Nr. 3, S. 48/49.
- [19] Segler, G.: Funktionsgerechtes Konstruieren im Landmaschinenbau. Grundl. Landtechn. Heft 6 (1955) S. 5/18.
- [20] Segler, G., und F. Wieneke: Untersuchungen an einem kombinierten Häckseldrusch- und Schneidgebläse. Landtechn. Forsch. **7** (1957) H. 2, S. 46/49.
- [21] Strohmänn, R. E., H. F. McColly und B. A. Stout: A new threshing technique for harvesting standing grain. ASAE Paper No. 65—169. Americ. Soc. Agric. Engrs, St. Joseph, Mich. 1965.
- [22] Wessel, J.: Der Dreschvorgang im konischen Schaufelrad. Landtechn. Forsch. **10** (1960) H. 5, S. 122/30.
- [23] Wieneke, F.: Einleitende Betrachtungen über Dreschsysteme, Einflußgrößen und Bewertungsmaßstäbe beim Mähdrusch. Grundl. Landtechn. Heft 21 (1964) S. 5/7.
- [24] Neue Versuche mit der „Schlayer-Heliaks“-Dreschmaschine. Techn. i. d. Landw. **12** (1931) H. 5, S. 148/49.
- [25] Neuartiges Dreschverfahren. Landtechn. **5** (1950) H. 3, S. 92.
- [26] Moving and reaping. Farm Mechanization **3** (1951) Nr. 25, S. 175/77.
- [27] The McBain pea cutter and viner. Farm Mechanization **10** (1958) Nr. 9, S. 348.
- [28] Harvester-viner ready for production. Farm Mechanization **14** (1962) Nr. 10, S. 359.
- [29] This „Cavalier“ will laugh at heavy going. Farm Implement and Machinery Review **91** (1965) Nr. 1086, S. 1238/39.
- [30] Prospekt der Firma Epple-Buxbaum.

DK 621.867.8

## Zur Theorie der elektrischen Feinentstaubung von Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik

Von Reinhard Wasmund, Düsseldorf

*Zur Entfernung kleinster, noch abscheidbarer Feststoffteilchen aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik (Feinentstaubung) eignen sich kontinuierlich und vollautomatisch arbeitende Elektroabscheider. Anhand einer grundlegenden Betrachtung der Bewegung von Staubpartikeln im elektrischen Feld und der dafür rechnerisch und zeichnerisch ermittelten theoretischen Absetzgeschwindigkeit werden die Einflußgrößen gekennzeichnet und Hinweise zur Optimalgestaltung des Abscheiderfolgs gegeben.*

#### Problemstellung

Die in der landwirtschaftlichen Technik anfallenden Abluftströme führen gewöhnlich — allerdings in äußerst ungleichen Mengen — absetzbare Feststoffteilchen recht unterschiedlicher Größe und Beschaffenheit mit sich. Während die Feuchtigkeitsgehalte der dispergierten Partikel von voller Sättigung bis zu

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

weitgehender Trockenheit und die Wichten von unter 200 bis über 2000 kp/m<sup>3</sup> reichen, können die Durchmesser (Kornabmessungen) jeden Wert zwischen 50 und 0,1 µm haben.

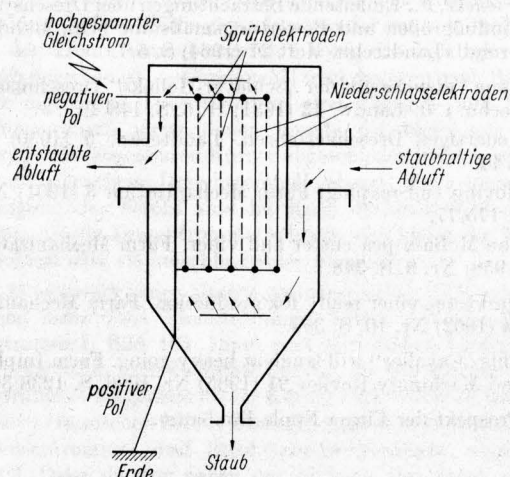
Zur Trockenabscheidung solcher Feststoffteilchen werden aus Gründen der Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit in der Hauptsache mechanische Arbeitsverfahren benutzt, die auf der Einwirkung von Kräften, nämlich der Schwerkraft oder der Zentrifugalkraft (Fliehkraft) beruhen. Mit ihrer Hilfe lassen sich aus strömender Abluft jedoch — wie an anderer Stelle dargelegt wurde [18] — im allgemeinen nur Staubkörnchen mit Durchmessern > 40 µm durch Schwerkraft bzw. > 5 µm durch Zentrifugalkraft eliminieren.

Für den Fall, daß aus Gründen der Luftreinheit oder der Vermeidung von Verschleiß-, Verunreinigungs- oder Explosionsgefahren auch die Entfernung von Feststoffteilchen mit Durchmessern < 5 µm aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik notwendig wird, bietet sich neben den Trocken- oder

auch Naßfiltern besonders der Elektroabscheider an [5/7; 12; 17]. Er ist vornehmlich zum kontinuierlichen und vollautomatischen Abscheiden sehr feiner Stäube geeignet und dürfte wegen seiner guten Wirksamkeit auch Eingang in das Gebiet der agrartechnischen Praxis finden. Deshalb und auch weil sich der apparative Aufbau und die Betriebsweise der elektrischen Feinstaubung deutlich von denen anderer Luftreinigungsverfahren unterscheiden, werden nachstehend ihr Prinzip und ihre Anwendungsmethodik erörtert.

### Verfahrensbeschreibung

Wie **Bild 1** erkennen läßt, wird die Abluft zur Entstaubung durch eine Abscheidekammer geleitet, die im unteren Teil trichterförmig ausgebildet ist und im oberen ein inhomogenes elektrisches Feld enthält, das zwischen einigen an ein Hochspannungs-Gleichstromnetz angeschlossenen Sprühelektroden (negativer Pol, zumeist 2 bis 4 mm dicke, am unteren Ende mit Spannungswichten versehene Drähte) und einigen mit der Erde verbundenen Niederschlags Elektroden (positiver Pol, zumeist Rohre oder Platten) liegt. In diesem Sprühfeld, das in der Nähe des Minuspols so groß ist, daß neutrale Moleküle ionisiert werden (Stoßionisation mit Glimmerscheinung, sog. Koronaentladung), laden sich die mitgeführten Feststoffteilchen durch Anlagerung von Elektronen oder negativen Gasionen sehr schnell — nahezu bis zur völligen Sättigung — auf und wandern unter dem Einfluß der elektrischen Anziehungs- bzw. Abstoßungskräfte mit der theoretischen Absetzgeschwindigkeit  $v$  von den Aufladungszonen zu den Niederschlagsflächen. Dort bleiben sie bis zu ihrer vollständigen Entladung hängen und fallen dann unter der Schwerkraftwirkung und unbehelligt von dem an dieser Apparatestelle in seiner Bewegung stark verlangsamten Abluftstrom (0,5 bis 1,5 m/s) in den Austragungstrichter [7].



**Bild 1.** Schematische Darstellung eines Elektroabscheiders.

Bei Feststoffteilchen, die zum Verbleiben an den Niederschlags Elektroden, zuweilen aber auch an den Sprühelektroden neigen, sorgen Erschütterungen (Klopfvorgänge) für das notwendige Abfallen nach der Entladung und für die Funktionsfähigkeit der Elektroden. Vertauschte Elektrodenanschlüsse, d. h. eine positive Ladung der Sprühelektroden und eine negative Ladung der Niederschlags Elektroden, also positive Koronen, führen zu geringerer Durchschlagsspannung, Ionenbeweglichkeit und Absetzgeschwindigkeit der Feststoffteilchen als im erstbeschriebenen Fall, weshalb man diese Polung in Elektroabscheidern nicht verwendet [5/7; 12; 17].

Zur elektrischen Feinstaubung von Abluftströmen werden im allgemeinen Betriebsspannungen zwischen 30 und 80 kV benutzt und Abstände zwischen den entgegengesetzt aufgeladenen Elektroden von 100 bis 200 mm zugrunde gelegt. Die Stromstärke beläuft sich dabei auf 0,3 bis 0,5 mA/m Elektrodenlänge für Röhrenelektroden und auf 0,1 bis 0,35 mA/m Elektrodenlänge für Plattenelektroden. Die Länge des elektrischen Felds liegt zwischen 3 und 4 m, sofern es sich um allgemein gebräuchliche Apparate handelt. Der auf den Durchsatz bezogene Leistungsbedarf beträgt gewöhnlich 0,05 bis 0,8 Wh/m<sup>3</sup> Abluft, während der Druckverlust des strömenden Mediums zwischen 5 und

15 mm WS liegt. Bei diesen Verhältnissen lassen sich Entstaubungsgrade bis 98% erzielen [5/7; 12; 17; 20].

Allerdings wird der Erfolg der Elektroabscheidung nicht nur von betrieblichen und apparativen Faktoren, sondern ganz wesentlich auch vom spezifischen elektrischen Widerstand der Feststoffteilchen bestimmt. Dieser hängt von der Stoffart, Materialhomogenität, Temperatur, Feuchtigkeit und Anwesenheit solcher Substanzen ab, die den Oberflächenwiderstand beeinflussen [5; 11; 16; 20]. Deshalb muß jede Veränderung der Staubbeschaffenheit — selbst bei sonst gleichbleibenden Verfahrensbedingungen — zwangsläufig zu entsprechend veränderten Abscheideergebnissen führen [1/3; 8; 9; 13; 15; 16].

Staubteilchen aus gut leitenden Stoffen (spez. elektr. Widerstand  $< 10^4 \Omega \text{ cm}$ ), wie aus Metallen, metallisch-keramischem Sintergut oder Graphit, geben ihre im Sprühfeld erhaltene negative Ladung beim Auftreffen auf die Niederschlags Elektrode unverzüglich ab und nehmen sogleich deren positive an. Das führt dazu, daß sie augenblicklich abgestoßen werden, ins elektrische Feld zurückfallen, im Ionenstrom wiederum die Ladung wechseln und erneut die Niederschlags Elektrode erreichen. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Staubteilchen das Feld im Zickzackkurs entweder nach oben oder nach unten durchlaufen haben. Dabei wird im allgemeinen ein Teil dieses Staubs sich wegen der gewöhnlich recht hohen Wichten abwärts bewegen und schließlich in den Austragungstrichter fallen, doch dürfte der andere durch den Abluftstrom aus dem Elektroabscheider hinausgeführt werden.

Feststoffteilchen aus schlecht oder nicht leitendem Material (spez. elektrischer Widerstand  $> 10^{10} \Omega \text{ cm}$ ), wie aus trockenem pflanzlichen Abrieb, Holz, Asbest, Quarz, Glas, Glimmer, Erde, Gestein, Ton, Harz, Gummi, Porzellan, Marmor oder Protein, setzen sich dagegen an der Niederschlags Elektrode fest, da sie ihre Ladung nicht abgeben. Sie bilden, wenn sie dazu in genügender Menge vorhanden sind und durch Abklopfen nicht beiseite getrieben werden können, auf dem positiven Pol des Systems eine negativ geladene Schicht, die später ankommende Staubpartikel mit negativer Ladung abstößt und dadurch dem elektrischen Feld entgegenwirkt. Dabei kann die Feldstärke in den winzig kleinen Hohlräumen der Staubschicht so groß werden, daß sich hier Koronen bilden, die ihrerseits zur Entstehung positiv geladener Ionen führen (sog. Rücksprühen der Niederschlags Elektroden) [5/7; 12; 14; 17; 19; 20]. Diese neutralisieren dann entgegenkommende, negativ geladene Feststoffteilchen, die deshalb nicht verfahrensgemäß abgeschieden werden können.

Partikel aus mittelmäßig leitenden Substanzen (spez. elektr. Widerstand zwischen  $10^4$  und  $10^{10} \Omega \text{ cm}$ ), wie aus feuchten Pflanzenteilen, Papier, Ruß, Koks, Schiefer, Karborund oder Müll, lassen sich gewöhnlich gut mittels Aufladung abscheiden und schnell aus Abluftströmen entfernen.

### Theoretische Grundlagen

Auf ein Feststoffteilchen, das mit dem Abluftstrom in den Elektroabscheider gelangt ist, wirken die elektrische Feldkraft, die Induktion, die Luftbewegung, die Schwerkraft und die Stoßkraft aufprallender oder nachschiebender anderer Staubpartikel ein [6; 7; 12; 17]. Dabei ist der Einfluß der erstgenannten Größe weitaus bedeutender als der aller übrigen. Deshalb kann man bei einer grundsätzlichen Betrachtung der Teilchenbewe-

#### Verwendete Formelzeichen

- $a$  = Abstand zwischen entgegengesetzt aufgeladenen Elektroden, Luftweglänge in m
- $B$  = 9,81 kgm/kp s<sup>2</sup> Umrechnungsfaktor
- $d$  = durchschnittlicher Durchmesser der Feststoffteilchen in m
- $e$  =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  elementare Ladung in As
- $E$  =  $U/a$  elektrische Feldstärke in V/m
- $F$  =  $QE/B$  Feldkraft in kp
- $n$  = Anzahl der Elementarladungen
- $Q$  =  $ne$  Maximalladung eines Feststoffteilchens in As
- $U$  = Spannung in V
- $v$  = Absetzgeschwindigkeit eines Feststoffteilchens in m/s
- $W$  = Widerstand der Luft bei laminarer Strömung nach Stokes in kp
- $\epsilon$  =  $\epsilon_r \epsilon_0$  absolute Dielektrizitätskonstante eines Feststoffteilchens in As/Vm
- $\epsilon_r$  = relative Dielektrizitätskonstante eines Feststoffteilchens, bezogen auf Vakuum
- $\epsilon_0$  =  $8,859 \cdot 10^{-12}$  Dielektrizitätskonstante des Vakuums in As/Vm
- $\gamma$  = dynamische Zähigkeit der Luft in kp s/m<sup>2</sup>

gung die Induktions-, Schwerkraft-, Stoßkraft- und Strömungseinflüsse vernachlässigen und annehmen, daß allein das elektrische Feld wirksam ist.

Unter dieser Voraussetzung wird ein beliebig geformtes Feststoffteilchen durch die Feldkraft

$$F = \frac{Q E}{B} \quad (1)$$

von der Sprühelektrode in Richtung der Feldlinien zur Niederschlagslektrode — und damit aus der langsam strömenden Abluft heraus — bewegt [2; 4; 10]. Die Größe dieser Kraft, die für die Absetzgeschwindigkeit maßgebend ist, hängt nach der Gl. (1) in erster Linie von der Höhe der Teilchenladung ab. Diese läßt sich, wenn man von der durch die Staubkörper in das elektrische Feld möglicherweise mitgebrachten Ladung, der mit der Stoßionisierung auftretenden örtlichen Luftbewegung (sog. elektrischer Wind), der Inhomogenität des Ionenfelds und den Ladungsverlusten infolge Rücksprühens absieht, für kugelförmige Feststoffteilchen mit Hilfe der Beziehung

$$Q = \varepsilon \pi E d^2 \quad (2)$$

ermitteln. Sie stellt die maximale Ladung dar.

Aus den Gln. (1) und (2) ergibt sich die auf ein kugelförmiges Feststoffteilchen wirkende Feldkraft

$$F = \frac{\varepsilon \pi E^2 d^2}{B} \quad (3)$$

Sie trifft auf den Widerstand der strömenden Abluft, dessen Größe sich nach dem Stokes'schen Gesetz gemäß der Abhängigkeit

$$W = 3 \pi \eta d v \quad (4)$$

errechnen läßt. Da bei einer stationären Bewegung des Staubpartikels

$$F \approx W$$

sein muß, kann die Absetzgeschwindigkeit nach der aus den Gln. (3) und (4) stammenden und sich über

$$\frac{\varepsilon \pi E^2 d^2}{B} \approx 3 \pi \eta d v$$

ergebenden Formel

$$v = \frac{\varepsilon E^2 d}{3 \eta B} \quad (5)$$

bestimmt werden.

### Zusammenhänge in graphischer Darstellung

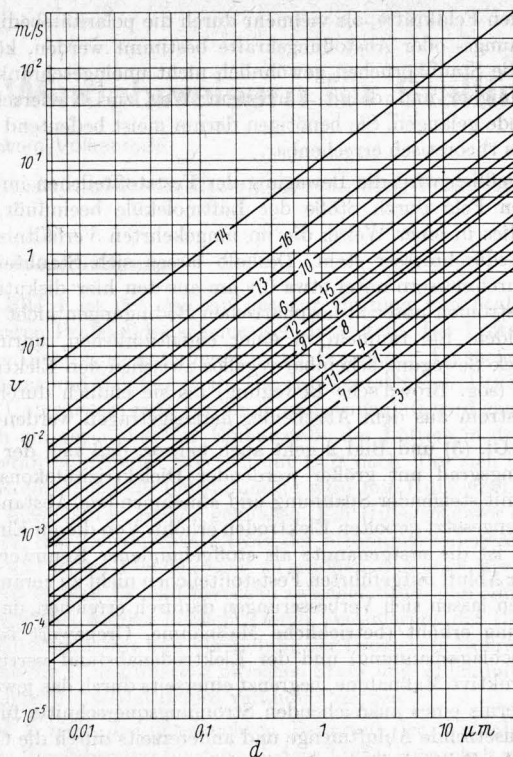
Wenn man davon ausgeht, daß in einem Elektroabscheider zur Feinentstaubung von Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik die elektrische Feldstärke ohne erhebliche Beeinträchtigung der Apparatefunktion nur in einem bestimmten Bereich zu verändern ist und die relative Dielektrizitätskonstante des Staubmaterials annähernd feststehende Grenzwerte hat, kann man die Absetzgeschwindigkeit der Feststoffteilchen in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser für diese extremen Betriebsbedingungen anhand der Gl. (5) bildlich darstellen. So zeigt **Bild 2** diese Beziehung unter Benutzung der Grenzspannungen 30 und 80 kV und der Grenzabstände zwischen den entgegengesetzt aufgeladenen Elektroden 0,1 und 0,2 m für die vier sich daraus ergebenden Grenzfälle der elektrischen Feldstärke

- 1,5 · 10<sup>5</sup> V/m (Geraden 3, 7, 11, 15)
- 3 · 10<sup>5</sup> V/m (Geraden 1, 5, 9, 13)
- 4 · 10<sup>5</sup> V/m (Geraden 4, 8, 12, 16)
- 8 · 10<sup>5</sup> V/m (Geraden 2, 6, 10, 14).

Für die relative Dielektrizitätskonstante wurden wegen der großen Unterschiede in der Staubart und -zusammensetzung die Werte

- $\varepsilon_r = 2$  (Geraden 1 bis 4)
- $\varepsilon_r = 5$  (Geraden 5 bis 8)
- $\varepsilon_r = 10$  (Geraden 9 bis 12)
- $\varepsilon_r = 100$  (Geraden 13 bis 16)

angenommen.



**Bild 2.** Absetzgeschwindigkeit der Feststoffteilchen bei elektrischer Abluftreinigung in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser, unter Berücksichtigung extremer Betriebsgrößen.

Gerade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\varepsilon_r$	2				5				10				100			
U kV	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80
a m	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2

### Erkenntnisse

Aus **Bild 2** ist zu ersehen, daß die (theoretischen) Absetzgeschwindigkeiten bei den zugrunde gelegten extremen Betriebsbedingungen — und selbstverständlich auch unter der Voraussetzung unbehinderter, nur durch die Feldkraft verursachter Bewegung — für maximal aufgeladene Feststoffteilchen mit Durchmessern von 5 µm im Mittel bei 1,5 m/s und für solche mit Durchmessern von 0,1 µm im Mittel bei 0,025 m/s liegen. Daraus ergibt sich die (theoretische) Absetzgeschwindigkeit für den Korngrößendurchschnitt mit 0,2 m/s.

Da die Feststoffteilchen auf ihrem Weg zur Niederschlagslektrode in der Praxis durch gegenseitige Behinderungen, wie Aufprallwirkungen und Ladungsentnahmen, oder durch den elektrischen Wind und die allgemeine Luftbewegung abgebremst werden, kann man jedoch nur mit durchschnittlichen Absetzgeschwindigkeiten rechnen, die geringer als 0,2 m/s sind, nämlich etwa 0,01 bis 0,1 m/s betragen. Daran vermag auch eine Zusammenballung kleiner Einzelteilchen zu größeren Staubpartikeln, die sich gemäß Gl. (5) und **Bild 2** schneller absetzen, kaum etwas zu ändern, weil sie im allgemeinen nicht am Anfang des Abscheidewegs sondern an irgendeiner Stelle zwischen den feldbildenden Polen erfolgt, und deshalb nur ein Teil der vorhandenen Feldlinienstrecke mit erhöhter Geschwindigkeit zurückgelegt werden kann. Zudem wird bei Agglomerationen durchaus nicht in jedem Fall die höchstmögliche Aufladung der größer gewordenen, meist nadelförmigen Teilchen erreicht.

Auch ergibt sich die tatsächliche Abscheidungszeit der Feststoffteilchen bei der elektrischen Feinentstaubung von Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik im Gegensatz zu der bei den mechanischen Reinigungsverfahren nicht unbedingt aus dem Quotienten von theoretisch kürzestem Abscheideweg und effektiver Partikelgeschwindigkeit. Durch die erwähnten Folgen des jeweiligen spezifischen elektrischen Widerstands der Staubstoffe sowie dadurch, daß sich im elektrischen Feld die positiven und negativen Ladungsteile neutraler Feststoffteilchen trennen und dabei Wege einschlagen, die nicht so sehr durch die herr-

schenden Feldkräfte, als vielmehr durch die polaritätsbedingten Anziehungs- oder Abstoßungskräfte bestimmt werden, können auch die Staubkörner gewöhnlich nicht uneingeschränkt auf geradlinigem und damit kürzestem Weg zur Niederschlags-elektrode gelangen. Sie benötigen darum meist bedeutend mehr Zeit als theoretisch errechenbar.

Schließlich wird die Bewegung der Feststoffteilchen im elektrischen Feld durch Stöße der Luftmoleküle beeinflusst, und zwar dies in einer Weise, die im umgekehrten Verhältnis zum Partikeldurchmesser steht. Deshalb lassen sich Staubteilchen mit Durchmessern unter etwa  $0,1 \mu\text{m}$  aus den hier diskutierten Abluftströmen unter atmosphärischen Bedingungen nicht mehr abscheiden. Sie taumeln in einer eigentümlichen, unruhigen Zickzack-Bewegung scheinbar regellos zwischen den Elektroden herum (sog. Brown'sche Bewegung) bis sie endlich durch den Abluftstrom aus dem Abscheider herausgetragen werden [17].

Aus Gl. (5) und Bild 2 geht auch hervor, daß sich der Entstaubungsgrad mit größer werdender Dielektrizitätskonstante sowie mit steigender Spannung und abnehmendem Abstand der entgegengesetzt gepolten Elektroden erhöht. Von diesen Einflußgrößen ist die erstgenannte als stoffgebundener Kennwert der von der Abluft mitgeführten Feststoffteilchen nicht zu verändern. Dagegen lassen sich Verbesserungen dadurch erreichen, daß die Spannung erhöht (betriebliche Maßnahme, Grenzwert ist die Durchschlagsspannung) und der Elektrodenabstand verringert (konstruktive Maßnahme, begrenzt einerseits durch das jeweilige Erfordernis eines ausreichenden Strömungsquerschnitts für die durchzusetzende Abluftmenge und andererseits durch die Größe der in der Zeiteinheit eingebrachten Staubmenge) werden.

Die Abscheidespannung muß auf jeden Fall höher sein als die Spannung der Glimmentladung, deren Größe von der Temperatur, der Feuchtigkeit, dem Druck und dem Gehalt an zusätzlichen gasförmigen Bestandteilen der Abluft sowie von der Form und Anzahl der koronierenden Elektroden abhängt.

Eine bis zur äußersten Grenze der betrieblichen Funktionsbereitschaft gehende Verkleinerung der Abstände entgegengesetzt gepolter Elektroden führt zwangsläufig zu einer Komplizierung und Verteuerung der Apparatur. Darum empfiehlt es sich, zur Verbesserung des Entstaubungserfolgs nicht so sehr diesen Weg zu gehen, als vielmehr in erster Linie eine Erhöhung der angelegten Feldspannung vorzunehmen.

Da der Abscheidegrad aber auch der Größe der elektrischen Leitfähigkeit (Kehrwert des erwähnten spez. elektr. Widerstands) der Feststoffteilchen proportional ist, läßt sich zu seiner Erhöhung nicht zuletzt dadurch beitragen, daß das Leitvermögen des Staubmaterials heraufgesetzt wird. Dies erreicht man mit Hilfe einer künstlichen Befeuchtung — z. B. durch Wasserzerstäubung im Abluftstrom kurz vor seinem Eintritt in den Elektroabscheider — aller nicht oder schlecht leitenden Partikel, die auf diese Weise zu elektrischen Leitern bzw. zu verbesserten elektrischen Leitern gemacht werden.

Bild 2 zeigt schließlich, daß Elektroabscheider nicht nur zur Entfernung von Feststoffteilchen mit Durchmessern  $< 5 \mu\text{m}$  (also nicht unbedingt nur zur Nachreinigung der durch Siebe oder in Absetzkammern und Zyklonen vom groben Anteil der dispersen Materie befreiten Abluftströme) geeignet sind. Doch wird man die elektrische Entstaubung in der landwirtschaftlichen Technik wegen der verhältnismäßig hohen Anschaffungs- und Betriebskosten kaum anstelle der wirtschaftlicheren und zur Grobentstaubung sehr qualifizierten mechanischen Arbeitsverfahren einsetzen, sondern — und dies auch nur, wenn die eingangs geschilderte Notwendigkeit dazu besteht — als letzte Stufe einer Abluftreinigung verwenden.

### Zusammenfassung

In Abluftströmen mitgeführte und wegen ihrer geringen Größe (Durchmesser  $< \text{etwa } 5 \mu\text{m}$ ) mechanisch nicht entfernbare Feststoffteilchen lassen sich mit Hilfe inhomogener, zwischen je zwei an ein Hochspannungs-Gleichstromnetz angeschlossenen Elektroden liegender elektrischer Sprühfelder abscheiden. Bei optimalen betrieblichen und apparativen Verhältnissen sind Entstaubungsgrade bis 98% zu erreichen. Der Erfolg hängt

jedoch auch vom spezifischen elektrischen Widerstand der dispersen Phase, von ihrer Dielektrizitätskonstanten, der angelegten Spannung, dem Elektrodenabstand und dem Partikeldurchmesser (untere Grenze für Abscheidbarkeit bei atmosphärischen Bedingungen  $0,1 \mu\text{m}$ ) ab. Die theoretische Absetzgeschwindigkeit — anhand einer entwickelten Berechnungsformel und deren bildlicher Darstellung ermittelt — beträgt für den Korngrößen-durchschnitt  $0,2 \text{ m/s}$ . Die praktische Absetzgeschwindigkeit dürfte zwischen  $0,01$  und  $0,1 \text{ m/s}$  liegen. Eine Verbesserung des Abscheiderfolgs kann bei nicht oder schlecht elektrisch leitenden Stoffen durch deren Befeuchtung erzielt werden. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit kommt das Verfahren in der landwirtschaftlichen Technik kaum anders als zur Feinentstaubung (Nachreinigung) von Abluftströmen in Betracht.

### Schrifttum

- [1] Brandt, H.: Anwendungsgrenzen von Zyklonentstaubern und Elektrofiltern. *Wärme* **68** (1961) S. 140/42.
- [2] Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau. Bd. 2, 12. Aufl., Neudruck 1966. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1966, S. 846/66.
- [3] Eishold, H.-G.: Der elektrische Staubwiderstand im Elektrofilter. *Arch. Eisenhüttenwes.* (1961) Nr. 4, S. 1/4.
- [4] Gänger, B.: Einführung in die allgemeine Elektrotechnik. Karlsruhe: Verlag G. Braun. 1948. S. 1/12 und 34/53.
- [5] Heinrich, D. O.: Die elektrische Gasreinigung. Grundlagen, Arbeitsweise und Erfahrungen. *Brennstoff-Wärme-Kraft* **7** (1955) S. 346/50 und 389/94.
- [6] Henglein, F. A.: Grundriß der chemischen Technik. 11. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie GmbH 1963. S. 85/89.
- [7] Kassatkin, A. G.: Chemische Verfahrenstechnik. Bd. 1. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1962. S. 223/37.
- [8] Koglin, W.: Entstaubung mit Elektrofiltern. *Aufbereitungs-Techn.* **5** (1964) S. 580/605.
- [9] Koglin, W.: Abscheidegrad eines Elektrofilters in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme und der Staubkörnung. *Aufbereitungs-Techn.* **6** (1965) S. 484/89.
- [10] Mahler, G., und K. Mahler: Physikalische Formelsammlung. Sammlung Götschen. Band 136. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1950. S. 104/13.
- [11] Meldau, R.: Handbuch der Staubtechnik. 1. Bd.: Grundlagen. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1956. S. 63/66.
- [12] Meldau, R.: Handbuch der Staubtechnik. 2. Bd.: Staubtechnologie. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1958. S. 218/36.
- [13] Scheidel, C., und H.-G. Eishold: Zur Kenntnis der Abscheidung von Flugstaub im Elektrofilter. *Elektrotechn. Z. (ETZ) A* **79** (1958) H. 24, S. 953/55.
- [14] Simm, W.: Untersuchungen über das Rücksprühen bei der elektrischen Staubabscheidung. *Chemie-Ing.-Techn.* **31** (1959) Nr. 1, S. 43/54.
- [15] Solbach, W.: Industrie-Entstaubung. *ingenieur digest* **3** (1964) Nr. 8, S. 47/69.
- [16] v. Szanitho, E., und H. Hildenbrand: Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit von Mineralien und deren Ablenkung am Elektro-Walzenscheider. *Aufbereitungs-Techn.* **6** (1965) S. 637/45.
- [17] Ulrich, H.: Mechanische Verfahrenstechnik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1967, S. 270/74.
- [18] Wasmund, R.: Grundsätzliches zur Trockenabscheidung von Feststoffteilchen aus Abluftströmen der landwirtschaftlichen Technik. *Grundl. Landtechn.* **18** (1968) Nr. 6, S. 215/18.
- [19] Winterhager, P. C.: Untersuchung des Rücksprühens an Modell-Elektrofiltern, unter besonderer Berücksichtigung der mit dem Rücksprühen verbundenen kurzzeitigen Stromimpulse. *Forsch.-Ber. Nordrhein-Westf.* Nr. 1684. Köln u. Opladen: Westdeutscher Verl. 1966.
- [20] VDI-Fachgruppe Staubtechnik. *Berichte, Heft 14. Sonderheft „Elektrische Gasreinigung“*. Februar 1957.