

Fein- und Feinstkorn

Begriffe der Staubtechnik, III.

Von E. Feifel, Wien

(Zur hygienischen Bedeutung zerstäubter fester oder flüssiger Beimengungen der Atemluft betont das Schrifttum der Silikose- und Aerosolforschung zunehmend die Wichtigkeit der Teilchenzahl vor dem Teilchengewicht. Auch bei industriellen Stäuben ist eine solche Verschiebung in der Problemstellung nicht mehr ausgeschlossen. Es wird versucht, ihr in der Betrachtungsweise des Entstaubungstechnikers in jenes Feinkorngebiet zu folgen, das heute noch an oder jenseits der Meßgrenze liegt.)

(Literature on silicosis and dust research stresses increasingly the importance of particle number rather than particle weight when admitting pulverized solid or liquid mixtures in the atmosphere in relation to its significance for hygiene. Such a change in the approach to the problem is not excluded where industrial dusts are concerned. The attempt is made here to follow up this problem in the manner of the specialist in dust removal into the range of particle size which is as yet on or beyond the range of measurable limits.)

(La littérature sur la silicose et les études des poussières soulignent de plus en plus l'importance de l'énumération des particules plutôt que celle du poids pour l'admission des fines particules solides ou liquides dans l'air à respirer, en ce qui concerne leur signification pour l'hygiène. Une telle évolution du problème n'est pas exclue en ce qui concerne les poussières industrielles. L'essai est fait ici de poursuivre ce problème à la manière du technicien du dé-poussiérage dans la domaine des poussières microniques et submicroniques qui est aujourd'hui encore située au delà de la limite mesurable.)

1. Wachsendes Interesse am Feinkorngebiet

Der Schwerpunkt staubtechnischer Aufgaben, also Aufgaben der gewollten oder ungewollten Staubbildung, der Staubbekämpfung und der Staubkunde, verschiebt sich heute mehr und mehr in das Gebiet der Feinstkornungen. Für diese Tatsache, die sich im Fachschrifttum wie im Programm staubtechnischer Tagungen abzeichnet, sind triftige Gründe erkennbar, die teils im wohlverstandenen eigenen Interesse des „staubigen“ Betriebes liegen, teils an diesen von außen herangetragen werden: Rückgewinnung wertvollen Staubes für den Arbeitsprozeß, Rücksichten auf verbesserte Arbeitsbedingungen und Arbeitsfreude der Belegschaft, auf Schonung der Betriebs-einrichtungen und Reinhaltung der Erzeugnisse; daneben in steigendem Maße der Zwang gesetzlicher Vorschriften zu immer wirksameren Maßnahmen mit dem Ziel, möglichst schon die Bildung, zumindest aber die Ausbreitung des Staubes in der näheren und weiteren Umgebung der Staubquelle mit einem wirtschaftlich noch vertretbaren Aufwand einzuschränken.

Gewährleistungen für den Staubgehalt des Reingases einer Entstaubungsanlage können heute nicht mehr so unbekümmert wie in den Frühtagen der Entstaubungstechnik über Fein- und Feinstfraktionen mit der Begründung hinweggehen, daß diese gewichtsmäßig im Gesamtstaub eine verschwindende Rolle spielen und — einmal ins Freie entführt — infolge ihrer weitreichenden Flugfähigkeit und Verteilung zu keiner Belästigung oder Schädigung der organischen Umwelt mehr führen. Fallen doch heute in gewaltigen Anlagen, z. B. der Metallurgie, aus neuartigen Arbeitsprozessen alarmierende Mengen allerfeinsten Staubes an, mit einem Mittelkorn der Größenordnung 1μ ($= \frac{1}{1000}$ mm) und darunter, mit Anteilen von $0,01 \mu$ und weniger.

Andererseits haben die Anschauungen über den Zusammenhang zwischen Korngröße und Schädlich-

keit eingeatmeten Staubes in den letzten beiden Jahrzehnten eine bemerkenswerte Wandlung erfahren. Faber (1) hat den Erkenntnisstand bezüglich der unteren Grenze der noch schädlichen Korngrößen im Jahre 1936 wie folgt skizziert:

„Die Angaben schwanken in dem Bereich von $0,5$ bis $0,25 \mu$; noch feinere Korngrößen sollen unschädlich sein. Worauf sich die Ansicht der Unschädlichkeit der allerfeinsten Teilchen, also derjenigen unter $0,25 \mu$ stützt, ist m. W. nirgends ausreichend begründet.“

Weiter:

„Zusammenfassend läßt sich also die Grenzziehung von $0,5$ bis $0,25 \mu$ anatomisch oder physiologisch nicht erklären, wenigstens nicht auf Grund der bisher durchgeführten Arbeiten“.

Und endlich:

„Es bleibt also der mögliche Schluß, daß man deshalb von der Unschädlichkeit des feinsten Staubes spricht, weil man ihn mit den angewandten Mitteln nicht mehr feststellen konnte.“

Dieser Schluß hat sich als richtig erwiesen. Auffällig war ja schon die angenäherte Übereinstimmung der Korngrenze $0,25 \mu$ mit der mittleren Wellenlänge des weißen Lichtes, d. h. etwa mit der Sichtbarkeitsgrenze im Lichtmikroskop. Es bedeutete deshalb keine Überraschung, als verfeinerte Untersuchungsmethoden, als vor allem das Elektronenmikroskop das forschende Auge weit über diese Grenze hinaus vordringen ließen und in „Staublungen“ auch allerfeinste Staubteilchen am Zerstörungswerk beteiligt zeigten*: Nach heutiger Auffassung sogar als maßgebend beteiligt, dank der raschen Vergrößerung der reaktionsbereiten Oberfläche der Staubteilchen mit zunehmendem Dispersionsgrad.

Aber nicht nur eine verbesserte Diagnose, auch der Ausbau der Therapie hat Fragen und Grenzen

* Nach Policard (2) haben Untersuchungen an staubgeschädigten Lungen ergeben, daß 57,7% aller Teilchen $< 0,1 \mu$, 88,7% $< 0,2 \mu$ und 97,8% $< 1 \mu$ waren.

der Feinststäube ins Blickfeld gerückt. Auf dem Übergangsgebiet zwischen Staub- und Aerosolforschung (3) hat sich dem Staubtechniker und dem Mediziner eine Fülle gleich reizvoller wie schwieriger Aufgaben erschlossen. Schon die Ausgangsstellungen einer wirksamen Staubbekämpfung, die Methoden der Staubuntersuchung, waren und sind heute noch den immer weiter gesteckten Zielen entsprechend laufend auszubauen.

Der vorliegende Versuch, den Feinstkornbereich in der Betrachtungsweise des Entstaubungstechnikers zu beleuchten, wurde nicht von der medizinischen Seite des Problems her ausgelöst, sondern durch das Bedürfnis nach weiterer Klärung einer im Elektrofilterbau grundlegenden Frage.

In der Wirkung eines Elektrofilters irgendwelcher Bauart kommt die Gesamtheit der von der Staubwolke zwischen den Niederschlagselektroden getragenen Elementarladungen oder — weil die Ladefähigkeit des einzelnen Staubkorns u. a. durch seine Größe begrenzt ist — letzten Endes die Anzahl der Teilchen zur Geltung.

Der im Fachschrifttum zu findende Rechnungsgang, die Teilchenzahl des zugeführten Staubgewichts unter der Annahme eines mittleren Kornes zu bestimmen, läßt ganz abgesehen von der Mehrdeutigkeit des Begriffs „Mittelkorn“ (4) die Rücksicht auf die fallweise wechselnde Gestalt der Körnungslinie vermissen. Der Tatsache, daß auch die feinsten Fraktionen mit ihren verhältnismäßig großen Teilchenzahlen entscheidende Beiträge zur Gesamtladung liefern können, wenn ihr einzelnes Korn auch nur eine oder wenige Ladungen zu binden vermag, kann stets nur eine den ganzen Körnungsbereich stufenweise überbrückende Rechnung entsprechen.

Für das kleinste als Ladungsträger, nämlich für eine einzige Elementarladung in Betracht kommende Teilchen liefern bekannte, hier nicht weiter zu erörternde Überlegungen (5) unter bestimmten Voraussetzungen einen Durchmesser von rund 0,01 μ . Bis zu diesem unteren Grenzwert sollte bei solchen Ladungsproblemen also die erwähnte Stufenrechnung ausgedehnt werden. Die Möglichkeit seiner zuverlässigen Erfassung ist daneben auch vom Standpunkt der Aerosolforschung aus zu wünschen. Es ergibt sich also die Frage, ob beziehungsweise auf welchem Weg eine Körnungslinie einigermaßen zutreffend soweit vorgetrieben werden kann, wobei erwartet werden muß, daß mit zunehmendem Dispersitätsgrad nicht nur die Schwierigkeiten der Untersuchung, sondern auch schon jene der Sammlung einer repräsentativen, auswertbaren Staubprobe rasch wachsen (6).

2. Kenngleichung und Kennlinie im Feinkorngebiet

Wir kennen die statistische Betrachtungsweise (7), die der ungestörten natürlichen Staubbildung eine dem Gaußschen Fehlergesetz verwandte Körnungslinie $R = f(a)$ zuweist, Abb. 1. In der viel verwendeten, weil vielen industriellen Stäuben erfahrungsgemäß angemessenen Exponentialgleichung

$$R = 100 e^{-x a^y} \quad [1]$$

bedeutet R [%] den gewichtsmäßigen Anteil einer Staubprobe, der auf einem Sieb mit der reellen oder ideellen Maschenweite a [μ] zurückbleibt, den Rückstand der Korngröße a. Die Exponenten x und y mit den Dimensionen [cm^{-y}] beziehungsweise [1], die den besonderen Bedingungen des Einzelfalls Rechnung zu tragen haben, werden aus zwei sorgfältig gemessenen Wertepaaren $(a; R)_\alpha$ und $(a; R)_\beta$ ermittelt.

An Hand von Abb. 1 sei von den Aussagen der Glg. [1] außerdem in Erinnerung gebracht: Im Punkt P_0 ($a = 0; R = 100\%$) münden Körnungslinien mit $y > 1$ (vergl. A) parallel zur Abszissenachse, solche mit $y < 1$ (vergl. C) als Tangenten an die Ordinatenachse. Dem Wert $y = 1$ (vergl. B) entspricht ein noch von x abhängiger Neigungswinkel

$$\delta_0 > 0 < 90^\circ$$

In den zugehörigen Häufigkeitslinien $\frac{dR}{da} = f(a)$ bedingt der Wendepunkt einer Körnungslinie vom Muster A einen Höchstwert bei $a > 0$; Körnungslinien vom Muster B zeigen die größte Häufigkeit bei $a = 0$, während sich die Häufigkeitslinie von C asymptotisch der Ordinatenachse nähert; vergleiche die Linien A', B' und C' in Abb. 1.

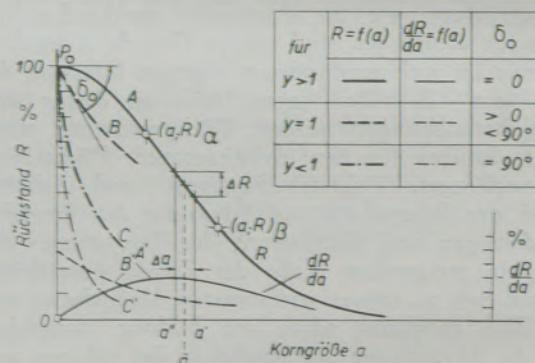


Abb. 1

Kennzeichnende Rückstandslinien (A, B, C) und ihre Häufigkeitslinien (A', B', C') im gleichmäßig geteilten a — R — Netz.

Den Nachteil der regulären Achsenteilung in Abb. 1, dem im vorliegenden Fall überragenden Interesse am Feinkorngebiet nicht entgegenzukommen, vermeidet die Körnungslinie im irregulär, z. B. logarithmisch geteilten Netz. Schon der Übergang zur logarithmischen Teilung der Abszissenachse, Abb. 2, zeigt: Eine Rückstandslinie, z. B. die Linie 4_g^* , strebt nun zwar asymptotisch dem Wert $R = 100\%$ zu; man erkennt aber, daß R für Korngrößen unter rund 1 μ den Grenzwert praktisch schon erreicht hat.

) Die Linie 4_g^ eines ideellen Staubes mit $x = 0,001$ und $y = 2$ ist als typisch für den Verlauf vieler praktischer Körnungslinien schon in früheren Studien des Verfassers eingeführt (4, 7).

Deutlicher wird dies, wenn auch für die Ordinatenachse die gleichmäßige Teilung verlassen wird. In Abb. 4 ist hierfür die bekannte $\lg \lg \frac{100}{R}$ - Teilung gewählt, die als wichtigstes Ergebnis eine Rückstandslinie gemäß Glg. [1] in eine Gerade überführt und für $a = 1 \mu$ einen Rückstand der Linie 4_g von 99,9 % erkennen läßt.

Noch weiter, allerdings auf Kosten der Ablesegenauigkeit bei den unteren Rückstandswerten, wird das Feinstkorngebiet im $\lg a - \lg(100-R)$ -Netz der

die Punkte α und β). Denn unmittelbare Messungen mit $a < 1 \mu$ erfordern einen großen Aufwand an Zeit und Kosten, ganz abgesehen von den hohen Ansprüchen an die Fähigkeiten des Beobachters und an seine experimentellen Hilfsmittel. Es erscheint deshalb durchaus lohnend, an Hand bekanntgewordener Messungen zu untersuchen, wie weit etwa die Glg [1] berufen ist, eine Staubkörnung über den üblichen Interessenkreis des Entstaubungstechnikers hinaus in jenen der Silikose- und Aerosolforschung zu verfolgen, in deren Schrifttum schon zahlreiche Ergebnisse praktischer Kornzahlmessungen aus dem Feinkorn-

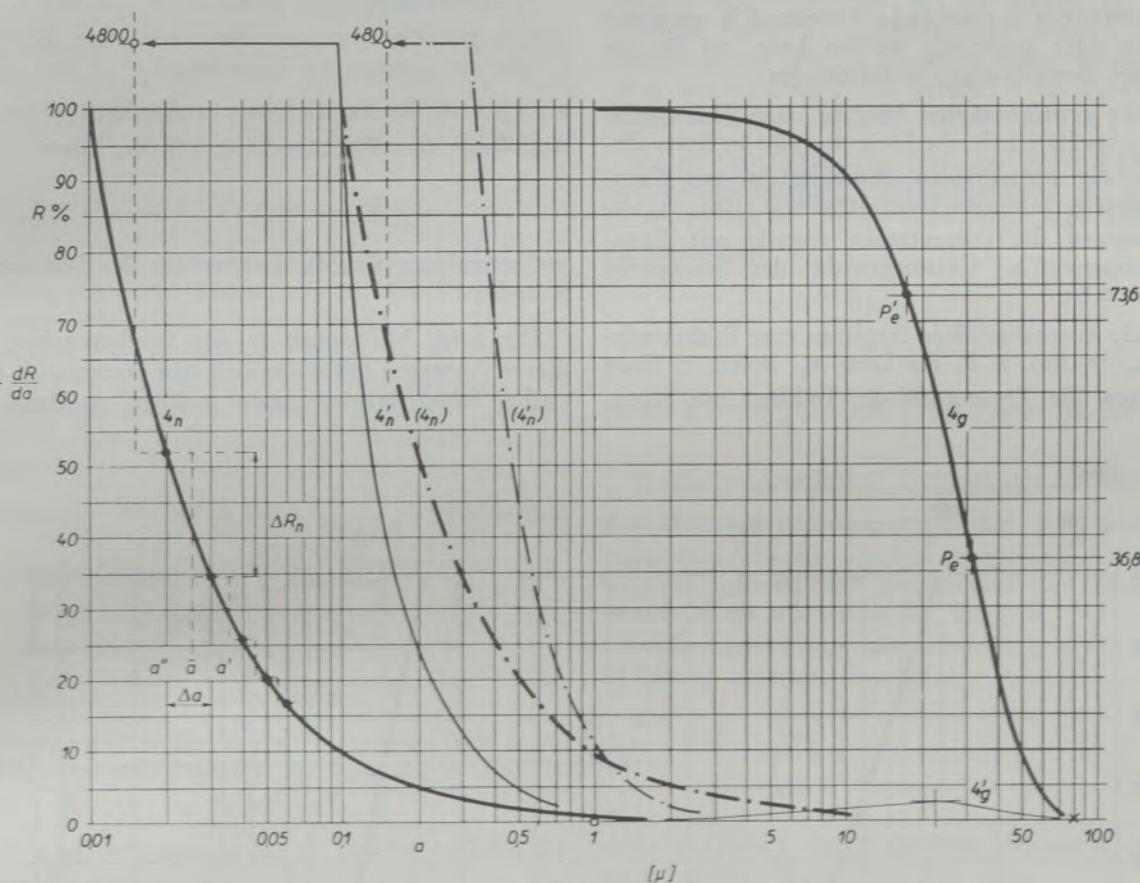


Abb. 2

Staub 4 im $\lg a - R$ - Netz; vgl. Tab. 1

Abb. 5 aufgeschlossen, in dem z. B., falls erforderlich, das Verteilungsgesetz der Glg. [1] zeichnerisch auf verhältnismäßig kleinem Raum geradlinig auch über obengenannte Grenze $0,01 \mu$ hinaus bis zur Größenordnung des Moleküls verfolgt werden könnte.

Es leuchtet ein, daß allen in das Feinkorngebiet eines Staubes übergreifenden Fragen ein wesentlicher Teil ihrer unleugbaren Schwierigkeiten genommen wird, wenn sich seine Zusammensetzung auch dort hinreichend zwanglos einem Gesetz von der Art der Glg. [1] fügt, dessen Exponenten x und y sich auf Beobachtungen in dem der Messung noch leichter zugänglichen Kornbereich stützen können (vgl. Abb. 1;

* Rosin und Rammler (vgl. hierzu O. M. Faber, „Staub“ Heft 7, Seite 372 u. ff.) haben, als sie das Exponentialgesetz in den Dienst der Staubkunde stellten, die Möglichkeit seiner Gültigkeit im Gebiet des „Allerfeinsten, also im kolloidalen Feld“ offen gelassen. Faber glaubte sie verneinen zu müssen: „... denn es bedarf keiner Begründung, daß jede Extrapolation einer gravimetrisch ermittelten Kurve gegen den Nullpunkt durch das kolloidale Gebiet hindurch zu verwerfen ist.“

Inzwischen verfeinerte Untersuchungsmethoden, vor allem Auszählungen unter dem Elektronenmikroskop nach der Art der Abb. 6 und 7, sprechen aber, wie hier gezeigt wird, mehr zu Gunsten des Gesetzes. Bemerkenswert ist auch, daß sich Ergebnisse amerikanischer Ölzerstäubungsversuche durch das Exponentialgesetz beschreiben lassen (Kiesalt, Chemie-Ing.-Techn. 1953, 205).

bereich vorliegen. Auch die in den Abb. 3, 4 und 5 behandelten Stube I und II sind diesen Arbeitsgebieten entnommen.

3. Aufgaben im Feinkorngebiet

Grundsätzlich fallen natürlich bei den Feinstuben — ihre obere Grenze liege etwa bei 1 μ . — ähnliche Aufgaben an wie jenseits dieser Grenze, u. a. also

a) Entnahme einer Staubprobe aus dem ruhenden oder strömenden gasförmigen Staubtrager.

b) Aufschluß der Staubprobe nach Kornfraktionen. Da der auf einem reellen oder ideellen Sieb mit der Maschenweite a verbleibende Rückstand R entweder gewogen oder ausgezählt werden kann, sei für die folgenden Betrachtungen unterschieden:

b₁) die gewichtsmäßige Analyse; eine Rückstandslinie $R_g = f(a)$, z. B. die Linie 4_g, gibt in ihren Ordinaten die prozentualen Staubgewichte mit Korndurchmessern $> a$; eine Durchgangslinie $(100 - R_g) = f(a)$ dagegen die prozentualen Anteile mit Korndurchmessern $< a$; Gesamtgewicht der Staubprobe $G = 100\%$.

b₂) die kornzahlmäßige Analyse; eine Rückstandslinie $R_n = f(a)$, z. B. die Linie 4_n, liefert in ihren Ordinaten die Prozentzahl der Teilchen mit Korn-

durchmessern $> a$, eine Durchgangslinie $(100 - R_n) = f(a)$ die prozentualen Anteile mit Korndurchmessern $< a$; Gesamtzahl aller beobachteten Teilchen $N = 100\%$.

Wo ohne Gefahr eines Mißverständnisses R ohne Index gebraucht wird, sei damit auch hier wie im Schrifttum üblich der gewichtsmäßige Rückstand bezeichnet.

c) Beziehungen zwischen der gewichtsmäßigen und der kornzahlmäßigen Rückstandslinie beziehungsweise Durchgangslinie eines Staubes.

d) Beschreibung einer Kennlinie $R_g = f(a)$, sei sie nun unmittelbar gemessen oder, wie etwa die Linie I_g aus der gemessenen Kennlinie $R_n = f(a)$, d. h. aus I_n^x nach den Beziehungen in Abschnitt c) errechnet, durch eine Kenngleichung von der Form

$$R_g = 100 e^{-x a^y}$$

im besonderen also die Ermittlung der Exponenten x und y .

Die beim Vordringen in das Feinkorngebiet bei diesen Aufgaben auftauchenden und wachsenden speziellen Schwierigkeiten seien zunächst an Hand der

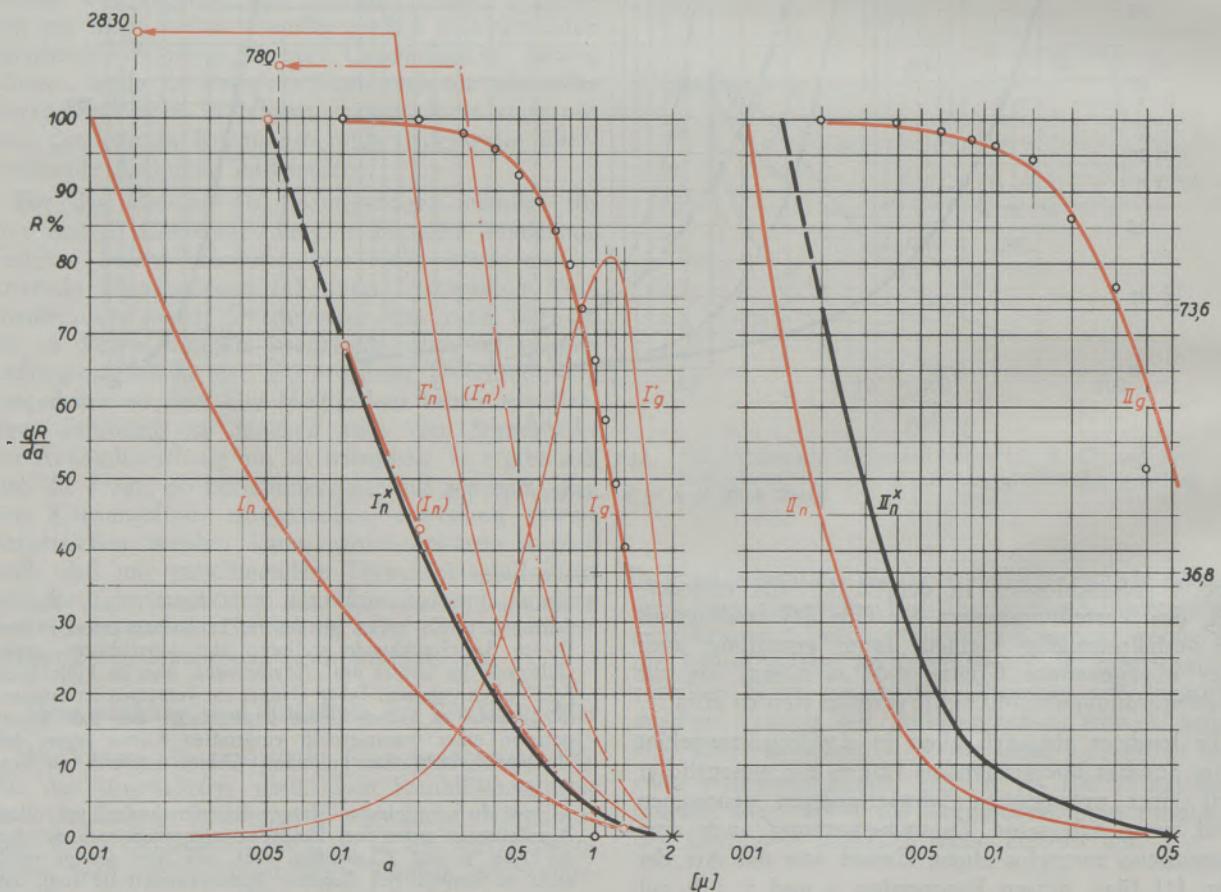


Abb. 3
Staub I und II im lg a - R - Netz; vgl. Tab. 1

Abb. 2 bis 5 und am Beispiel des Staubes 4 erläutert, dessen Kenngleichung

$$R_g = 100 e^{-0,001 a^3} \quad [1a]$$

schon vorliege.

Zu a). Wo mit dem Auftreten Brownscher Bewegungen die einfache Sedimentation auch bei sehr langen Sedimentationszeiten nicht mehr ausreicht, bleibt man im wesentlichen auf den Niederschlag des feinen Staubes im thermischen oder im elektrischen Feld, weiterhin, wo die gravimetrische Kornanalyse ausscheidet, auf die Auszählung des Niederschlags unter dem Licht- beziehungsweise Elektronenmikroskop angewiesen. Dies gilt vor allem für alle hygienisch orientierten Untersuchungen. Eine Verlegung solcher Feinmessungen aus dem Laboratorium etwa an eine industrielle Staubquelle begegnet nebenbei bemerkt von vornherein verständlichen Schwierigkeiten.

Zu b). Im übrigen erfolgt die mühsame und auch bei teilweiser Automatisierung des Zählvorgangs (8) zeitraubende Auswertung eines Niederschlags nach Teilchengröße und Teilchenzahl in der Weise, daß der ganze erkennbare Körnungsbereich a_{\min} bis a_{\max} in Streifen von angemessener Breite $a' - a'' = \Delta a$. z. B. $\Delta a = 0,01 \mu, 0,1 \mu \dots$ unterteilt wird. Die zwischen den jeweiligen Grenzen a' und a'' erkennbaren absoluten Teilchenzahlen ΔN werden auf die Gesamtzahl der beobachteten Teilchen bezogen, die prozentualen Anteile $\Delta R_n = \frac{\Delta N}{N_{\text{ges}}} \cdot 100 \%$ von a_{\min} beginnend addiert und die Werte

$$100 - \sum_{a_{\min}}^{a'} \Delta R_n$$

als Ordinaten von a' aufgetragen.

Dieses schrittweise Vorgehen ist aus Abb. 2 ersichtlich und sein Ergebnis, die Linie $R_n = f(a)$ für Staub 4 dort mit 4_n bezeichnet*.

Als a_{\min} entsprechend $R_n = 100 \%$ ist dabei die Korngröße $0,01 \mu$ angenommen, als a_{\max} auf der Abszissenachse der Abb. 2 der Wert 80μ angekreuzt. Eine solche endliche Begrenzung des auszählenden Körnungsbereichs ist bei realen Stäuben stets gegeben; sie ist natürlich auch bei dem ideellen Objekt einer Kenngleichung von der Form der Glg. [1], also z. B. bei Staub 4 geboten, obgleich hier der Wert $R_g = 100 \%$ erst bei $a = 0$, der Wert $R_g = 0$ erst für $a = \infty$ erreicht wird.

Während die Lesbarkeit der Linie 4_n in Abb. 2 nichts zu wünschen übrig läßt, versagt der unmittelbare Ausdruck der Glg. [1a], die Linie 4_g , diesbezüg-

*) Es ist hier also angenommen, daß eine Staubprobe 4 unter dem Mikroskop ausgezählt wurde. In Wirklichkeit ist, um im Beispiel zu einwandfrei vergleichbaren Rückstandslinien zu gelangen, 4_n punktweise aus der gewichtsmäßigen Rückstandslinie 4_g der Abb. 2 bzw. 5 errechnet, nachdem diese Linie an Hand ihrer Kenngleichung [1a] aufgezeichnet wurde.

lich gerade im Feinkorngebiet. Auch im $\lg a - \lg R_g$ $\frac{100}{R}$ -Netz (Abb. 4) führt die Linie 4_g für $a < 1 \mu$ noch über den Rahmen einer zweckmäßigen Bildgröße hinaus, obgleich die an die Ordinaten bei $a = 0,01 \mu$ und $a = 80 \mu$ asymptotisch anlaufende Linie 4_n schon wesentlich an Deutlichkeit eingebüßt hat. In Abb. 5 endlich, im $\lg a - \lg (100-R)$ -Netz entspricht wohl 4_g den Anforderungen an Lesbarkeit, dagegen sind die kornzahlmäßigen Rückstände R_n aus der Linie 4_n nur noch mit sehr beschränkter Genauigkeit zu entnehmen. Ein Wechsel der Darstellungsart, ihre Anpassung an die jeweils zu beantwortende Frage, ist demnach beim Eintritt in das Feinkorngebiet nicht zu umgehen, zumal wenn gleichzeitig wie im Beispiel des Staubes 4 ein wesentlicher Bereich mit $a > 1 \mu$ erfaßt werden soll.

Zu c). Den Übergang von der kornzahlmäßigen zur gewichtsmäßigen Rückstandslinie, d. h. von $R_n = f(a)$ zu $R_g = f(a)$ oder umgekehrt, vermittelt die Beziehung

$$\frac{\Delta R_g}{\Delta R_n} = C \bar{a}^3 \quad [2]$$

wobei $\bar{a} = \frac{a' + a''}{2}$ und C ein Faktor ist, der neben

$\frac{\pi}{6} \gamma_s$ ($\gamma_s =$ spezifisches Gewicht des Staubes) auch dem Umstand Rechnung trägt, daß ΔR_g und ΔR_n keine Absolutwerte, sondern prozentuale Anteile am Gewicht und an der Teilchenzahl der Staubprobe nennen. Liegt wie üblich die Linie $R_n = f(a)$ als Ergebnis einer Auszählung vor, dann ist C aus der Bedingung zu ermitteln, daß

$$\sum_{a_{\min}}^{a_{\max}} \Delta R_n = 100 \%$$

und (vgl. Abb. 2 und 5) der Übergang aus $R_n = f(a)$ zu $R_g = f(a)$ liegt in der Beziehung

$$\Delta R_g |_{\bar{a}} = \frac{\Delta R_n \cdot \bar{a}^3}{\sum_{\bar{a}_{\min}}^{\bar{a}_{\max}} (\Delta R_n \cdot \bar{a}^3)} \cdot 100 \% \quad [3]$$

oder auch

$$R_g |_{a'} = 100 - \frac{\sum_{\bar{a}_{\min}}^{\bar{a}} (\Delta R_n \cdot \bar{a}^3)}{\sum_{\bar{a}_{\min}}^{\bar{a}_{\max}} (\Delta R_n \cdot \bar{a}^3)} \cdot 100 \% \quad [4]$$

$$= 100 - \sum_{\bar{a}_{\min}}^{\bar{a}} \Delta R_g$$

Tabelle 1

Linie	zeigt	
4_g	$R_g = f(a)$	ideeller Vergleichsstaub mit Kenngleichung $R_g = 100 e^{-0,001 a^2}$
$4'_g$	$\frac{d R_g}{d a} = f(a)$	berechnet aus $\frac{d R_g}{d a} = (-) 0,002 a R$
4_n	$R_n = f(a)$	berechnet aus 4_g mit Glg (3a); $\bar{a}_{\min} = \frac{0,01+0,02}{2} = 0,015 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{60+80}{2} = 70 \mu$
$4'_n$	$\frac{\Delta R_n}{\Delta a} = f(a)$	berechnet aus 4_n ; $\bar{a}_{\min} = 0,015 \mu$; $\bar{a}_{\max} = 70 \mu$
(4_n)	$R_n = f(a)$	berechnet aus 4_g mit Glg (3a); $\bar{a}_{\min} = \frac{0,1+0,2}{2} = 0,15 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{60+80}{2} = 70 \mu$
$(4'_n)$	$\frac{\Delta R_n}{\Delta a} = f(a)$	berechnet aus (4_n) ; $\bar{a}_{\min} = 0,15 \mu$; $\bar{a}_{\max} = 70 \mu$
I_n^x	$R_n = f(a)$	übertragen aus Abb. 6
I_g schwarze Punkte	$R_g = f(a)$	berechnet aus I_n^x mit Glg (3); $\bar{a}_{\min} = \frac{0+0,1}{2} = 0,05 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{1,3+2,0}{2} = 1,65 \mu$
I_g rote Linie	$R_g = f(a)$	ausmittelnde Kennlinie mit der Kenngleichung $R_g = 100 e^{-0,473 a^{2,7}}$
I'_g	$\frac{d R_g}{d a} = f(a)$	berechnet aus $\frac{d R_g}{d a} = (-) 1,276 a^{1,7} R$
I_n	$R_n = f(a)$	berechnet aus I_g rot mit Glg (3a); $\bar{a}_{\min} = \frac{0,01+0,02}{2} = 0,015 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{1,3+2,0}{2} = 1,65 \mu$
I'_n	$\frac{\Delta R_n}{\Delta a} = f(a)$	berechnet aus I_n ; $\bar{a}_{\min} = 0,015 \mu$; $\bar{a}_{\max} = 1,65 \mu$
(I_n)	$R_n = f(a)$	berechnet aus I_g rot mit Glg (3a); $\bar{a}_{\min} = \frac{0,05+0,06}{2} = 0,055 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{1,3+2,0}{2} = 1,65 \mu$
(I'_n)	$\frac{\Delta R_n}{\Delta a} = f(a)$	berechnet aus (I_n) ; $\bar{a}_{\min} = 0,055 \mu$; $\bar{a}_{\max} = 1,65 \mu$
II_n^x	$R_n = f(a)$	übertragen aus Abb. 7
II_g schwarze Punkte	$R_g = f(a)$	berechnet aus II_n^x mit Glg (3); $\bar{a}_{\min} = \frac{0+0,02}{2} = 0,01 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{0,4+0,5}{2} = 0,45 \mu$
II_g rote Linie	$R_g = f(a)$	ausmittelnde Kennlinie mit der Kenngleichung $R_g = 100 e^{-2,36 a^{1,8}}$
II_n	$R_n = f(a)$	berechnet aus II_g rot mit Glg (3a); $\bar{a}_{\min} = \frac{0,01+0,02}{2} = 0,015 \mu$; $\bar{a}_{\max} = \frac{0,4+0,5}{2} = 0,45 \mu$

Analoge Beziehungen ergeben sich aus Glg. [2] umgekehrt für den Übergang aus $R_g = f(a)$ zu $R_n = f(a)$; es tritt z. B. an die Stelle von Glg. [3]

$$\Delta R_n |_{\bar{a}} = \frac{\Delta R_g}{\bar{a}^3} \cdot 100\% \quad [3a]$$

$$\frac{\Delta R_g}{\bar{a}^3} = \frac{\sum_{\bar{a}_{\min}}^{\bar{a}_{\max}} (\Delta R_g)}{\bar{a}^3}$$

Um von der Größenordnung des Beiwertes C eine Vorstellung zu gewinnen, entnehmen wir für Staub 4 beispielsweise

für die Stufe 0,02—0,03 μ , d. h. für $\bar{a} = 0,025 \mu$
 aus Abb. 5 $\Delta R_g \approx 0,000\ 05\ \%$,
 aus Abb. 2 $\Delta R_n \approx 17,4\ \%$, also nach Glg. [2]
 $C \approx 0,185$,

oder

für die Stufe 0,1 bis 0,2 μ , d. h. für $\bar{a} = 0,15 \mu$
 aus Abb. 5 $\Delta R_g \approx 0,003\ \%$,
 aus Abb. 2 $\Delta R_n \approx 4,8\ \%$, also wieder
 $C \approx 0,185$.

Es sei hier vorweggenommen, daß sich C für den Zusammenhang zwischen I_n und I_g zu ≈ 13 , für II_n und II_g zu ≈ 800 ergibt.

In Abb. 2 sind auch einige Häufigkeitslinien eingezeichnet und mit einem zusätzlichen Indexstrich nach ihren Summenlinien benannt; es ist also z. B. $4'_g$, d. h. $\frac{dR_g}{da} = f(a)$, die Differentiallinie von 4_g , und $4'_n$ jene von 4_n .

Über den Verlauf dieser Häufigkeitslinien ist, sofern die Gleichung ihrer Summenlinie vorliegt, allgemein auszusagen:

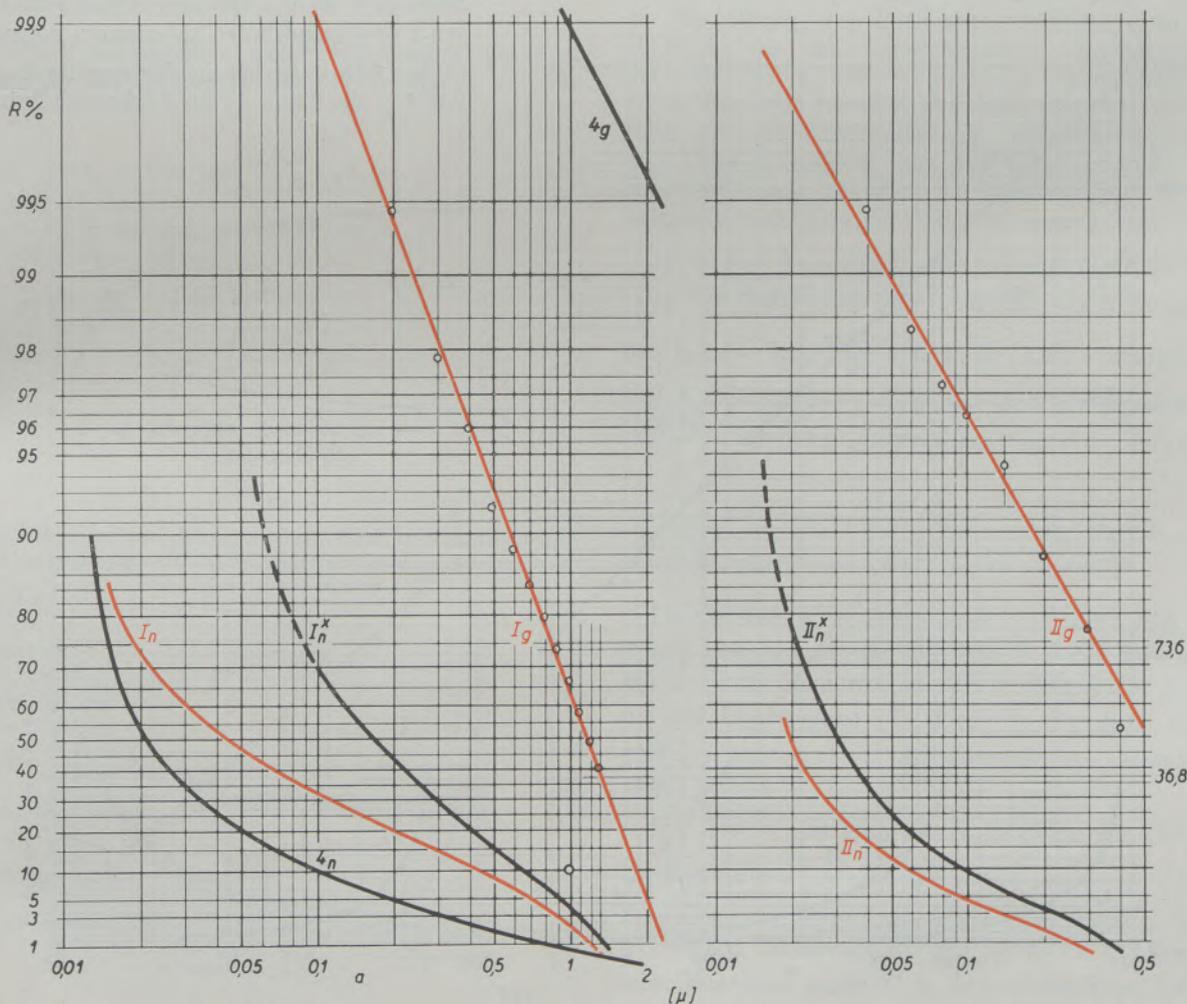


Abb. 4
 Staub I, II und 4 im $\lg a - \lg \lg \frac{100}{R}$ -Netz; vgl. Tab. 1

Aus Glg. [1] folgt

$$\begin{aligned} \frac{dR_g}{da} &= (-) x y a^{y-1} \cdot 100 e^{-x a^y} = \\ &= (-) x y a^{y-1} R_g \end{aligned} \quad [5]$$

Ein Höchstwert der Häufigkeit ergibt sich aus

$$\begin{aligned} \frac{d}{da} \left(\frac{dR_g}{da} \right) &= 0 \text{ bei der Korngröße} \\ a_{d_g} &= \left(\frac{y-1}{x y} \right)^{\frac{1}{y}} \end{aligned} \quad [6]$$

Beispielsweise ist für den Staub 4 (s. Linie 4_g in Abb. 2)

$$\begin{aligned} a_{d_g} &= \left(\frac{2-1}{0,001 \cdot 2} \right)^{\frac{1}{2}} = 22,4 \mu, \text{ und} \\ \left(\frac{dR_g}{da} \right)_{\max} &= - 2,7 \text{ \%/} \end{aligned}$$

Für die kornzahlmäßige Rückstandslinie aber folgt aus Glg. [2] zunächst

$$\frac{dR_n}{da} = \frac{1}{C} \frac{dR_g}{da} \frac{1}{a^3}, \text{ also mit Glg. [5]}$$

$$\frac{dR_n}{da} = (-) \frac{1}{C} x y a^{y-4} R_g \quad [7]$$

Ein Höchstwert dieser Linie folgt aus

$$\begin{aligned} \frac{d}{da} \left(\frac{dR_n}{da} \right) &= 0 \text{ für} \\ a_{d_n} &= \left(\frac{y-4}{x y} \right)^{\frac{1}{y}} \end{aligned} \quad [8]$$

er rückt also erst für $y > 4$ ins reelle Gebiet und liegt für $y = 4$ auf der Ordinatenachse entsprechend $a_{d_n} = 0$. Dementsprechend ist für die Rückstandslinie $R_n = f(a)$, deren Gleichung im übrigen dahingestellt bleibe, kein Wendepunkt zu erwarten, sofern y den Wert 4 nicht überschreitet, während der entsprechende kritische Wert bei der gewichtsmäßigen Linie $R_g = f(a)$ schon bei $y = 1$ liegt (vgl. Abb. 1). Wir werden uns dieser Zusammenhänge bei der späteren Kritik gemessener Rückstandslinien zu erinnern haben.

Aus Abb. 2 ist bei der Stufenmitte $\bar{a} = 0,015 \mu$ der Linie 4_n der Rückstandsschritt

$$\begin{aligned} \Delta R_n \Big|_{0,01 \mu}^{0,02 \mu} &\approx 100 - 52 \\ &= 48 \text{ \%/} \text{ zu entnehmen,} \end{aligned}$$

so daß

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R_n}{\Delta a} \Big|_{\bar{a} = 0,015} &\approx \frac{48}{0,01} \approx 4800 \text{ \%/} \text{ ist.} \end{aligned}$$

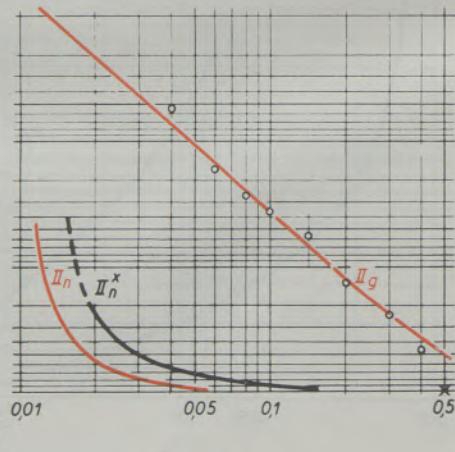
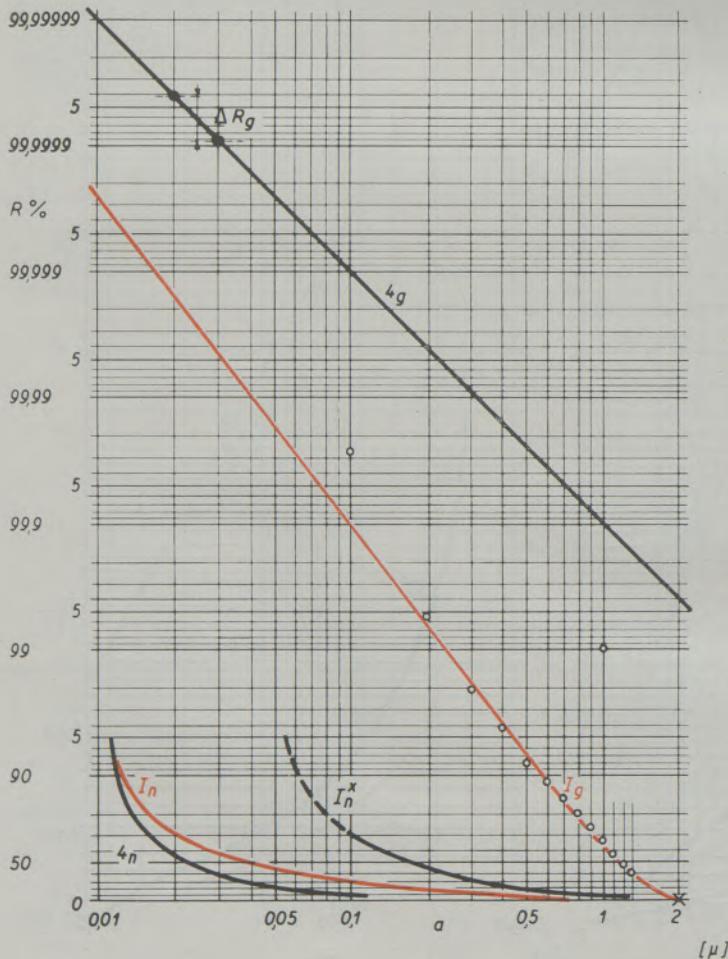


Abb. 5

Staub I, II und 4 im $\lg a - \lg(100-R)$ - Netz vgl. Tab. 1

Dies entspricht übrigens auch der Aussage der Glg. [7], die mit $C = 0,185$ und $R_g|_{0,015} \approx 100\%$ (s. Abb. 2; genauer $\approx 99,999\ 98\%$, siehe Abb. 5) ebenfalls

$$\frac{dR_n}{da} \Big|_{0,015} = (-) \frac{1}{0,185} \cdot 0,001 \cdot 2 \cdot 0,015^{-2} \cdot 100 = 4800\% \text{ ergibt.}$$

In Abb. 2 ist schließlich auch noch eine Rückstandslinie (4_n) mit ihrer Häufigkeitslinie ($4'_r$) enthalten. Sie ergibt sich, wenn die aus der Kornzahl-
linie 4_n abgeleitete Gewichtslinie 4_g dazu dient, im umgekehrten Rechnungsgang, also aus Stufen ΔR_g mit Hilfe der Glg. [3a], wieder eine Kornzahl-
linie herzuleiten, wobei aber die zwischen $0,1\ \mu$ und $0,01\ \mu$ liegenden Fraktionen außer Betracht bleiben, oder mit anderen Worten der Wert $R_n = 100\%$ schon bei $a_{\min} = 0,1\ \mu$ angenommen ist.

Als Quotient $\frac{\Delta R_n}{\Delta a} \Big|_{0,15\ \mu}$ folgt dann

$$\approx \frac{48}{0,1} \approx 480\%.$$

Durch verschieden weite Erstreckung der Summierung ins Feinkorngebiet, d. h. durch verschie-

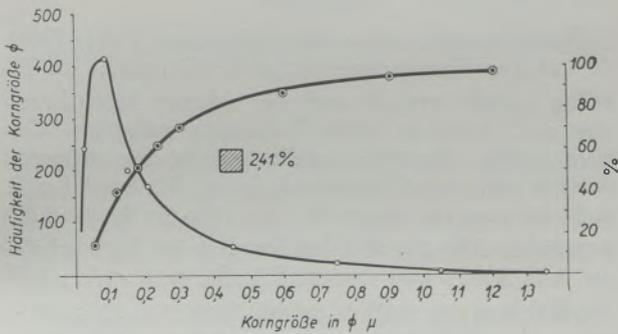


Abb. 6

Durchgangs- und Häufigkeitslinie eines trocken erbohrten Ruhrsandsteins; elektrischer Staubbiederschlag; entsprechend Abb. 17 in „Walkenhorst (9)“

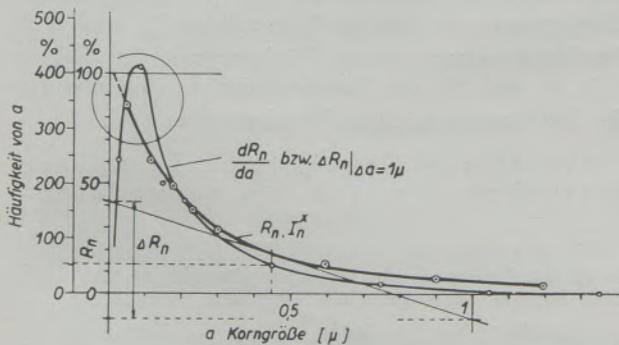


Abb. 6a

Die Durchgangslinie des Staubes I aus Abb. 6 als Rückstandslinie $R_n = f(a)$.

dene Annahmen von \bar{a}_{\min} , ergeben sich demnach zu einer gewichtsmäßigen Rückstandslinie $R_g = f(a)$ beliebig viele prozentuale Kornzahl-
linien $R_n = f(a)$.

Liegt für R_g etwa die Kenngleichung [1] vor, so läßt sich in der Tat die Grenze a_{\min} rechnerisch oder mit Hilfe des Netzes der Abb. 5 beliebig tief ansetzen. Entsteht andererseits $R_n = f(a)$ unmittelbar als Ergebnis einer Auszählung, so ist \bar{a}_{\min} , wenn nicht einfach durch Zweck und Ziel der Untersuchung, so zumindest durch deren experimentelle Hilfsmittel festgelegt.

4. Meßergebnisse aus dem Feinkorngebiet

Die vorstehend am ideellen Staub 4 geübten Beziehungen seien nun auf zwei wirkliche Stäube angewandt, nachdem die der Silikose- bzw. der Aerosolforschung entstammenden Meßergebnisse (9), nämlich die kornzahlmäßigen Durchgangslinien der Abb. 6 und 7 zunächst unserer oben gewählten Darstellungsart angepaßt wurden: An Stelle der mit wachsendem a steigenden Durchgangslinien treten wieder die fallenden Rückstandslinien (vgl. z. B. Abb. 6a). Wichtiger aber als dieses Zugeständnis an die Übung des Entstaubungstechnikers ist der Übergang zu den logarithmischen Achsenteilungen der Abb. 3, 4 und 5 an Stelle der regelmäßigen Netze der Abb. 6 und 7, bei denen mit der Annäherung an den Achsenursprung Bedenken bezüglich der Ablesegenauigkeit und vor allem bezüglich des Zusammenhangs zwischen Summenlinie und Häufigkeitslinie nicht von der Hand zu weisen sind.

In diesem Sinne werde die prozentuale Kornzahl-
linie der Abb. 6 mit aller Sorgfalt als Linie I_n^x in das $\lg a - \lg \lg \frac{100}{R}$ -Netz der Abb. 4 übertragen, wobei z. B. für $a = 0,1\ \mu$ aus dem Durchgangswert $\frac{100 N}{N_{\text{ges}}} = 31,2\%$ ein Rückstandswert $R_n = 100 - 31,2 = 68,8\%$, oder für $a = 0,5\ \mu$ aus $100 \frac{N}{N_{\text{ges}}} = 85\%$ ein $R_n = 15\%$ wird.

Da die Abb. 6 die Frage nach a_{\min} nicht ganz eindeutig beantwortet, ist für $a = 2\ \mu$ der Rückstand $R_n = 0$ angenommen, so daß in Abb. 4 das Ergebnis der Übertragung, die Linie I_n^x für diese Korngröße asymptotisch an die Parallele zur Ordinatenachse anläuft.

Die Abb. 6 läßt auch die Frage offen, wie sich die Durchgangslinie $\frac{N}{N_{\text{ges}}} = f(a)$ unterhalb $a \approx 0,07\ \mu$ dem Ursprung nähert; für diese Korngröße ist noch mit einiger Sicherheit ein $R_n \approx 85\%$ zu entnehmen. Weiterhin strebt I_n^x in Abb. 4 den Wert 100% asymptotisch an, und zwar auf einer Parallelen zur Ordinatenachse, deren zunächst unbekanntes Abszissen sich aus Abb. 3 zu $\approx 0,05\ \mu$ abschätzen läßt.

Wird dann I_n^x , so wie oben die Linie 4_n in 4_g , mit Hilfe der Glg. [3] in einer von $\bar{a}_{\min} = \frac{0 + 0,1}{2} = 0,05 \mu$ bis $\bar{a}_{\max} = \frac{1,3 + 2}{2} = 1,65 \mu$ reichenden Stufenrechnung punktweise in die gewichtsmäßige Rückstandslinie I_g übergeführt, so lassen sich die schwarz umrandeten Punkte mit überraschender, guter Näherung, zumindest in dem vertrauenswürdigsten Bereich der Auszählung zwischen 0,2 und 1,3 μ , d. h. mit Ausschluß der Randwerte, durch eine Gerade ausmitteln und diese durch die Kenngleichung

$$R_{gI} = 100 e^{-0,473 a^{2,7}} \quad [9]$$

oder durch den Kennbruch

$$K_I = \frac{a'e}{ae} = \frac{0,85}{1,32} \quad [10]$$

beschreiben.

In gleicher Weise wie hier die Kornzahlen eines Gesteinstaubes aus Abb. 6 ist die Tropfenzahllinie einer zerstäubten 1%igen NaCl-Lösung aus Abb. 7 zur Aufzeichnung der Linie II_n^x und II_g (Abb. 4) benützt. Als versuchsmäßig wohl besonders sicherer Bereich ist dabei jener zwischen 0,04 μ und 0,4 μ anzusehen, während sich die Stufenrechnung von

$$\bar{a}_{\min} = \frac{0 + 0,02}{2} = 0,01 \mu \text{ bis } \bar{a}_{\max} = \frac{0,4 + 0,5}{2}$$

= 0,45 μ erstreckt. Es ergibt sich

$$R_{gII} = 100 e^{-2,36 a^{1,8}} \quad [11]$$

und

$$K_{II} = \frac{0,32}{0,62} \quad [12]$$

Weiterhin (vgl. Tab. 1) sind die Linien I_n^x und II_n^x auch in die Abb. 3 und 5 übertragen, ebenso ihre Folgerungen I_g und II_g . Den Abschluß bildet in allen drei Netzen die Aufzeichnung der Linien I_n und II_n , das sind die aus I_g und II_g mit Hilfe der Glg. [3a] rückwärts errechneten Kornzahlkurven $R_n = f(a)$ mit den Grenzwerten

$$\left. \begin{array}{l} R_n = 100 \% \text{ für } a_{\min} = 0,01 \mu, \\ R_n = 0 \quad \quad \quad \text{„ } a_{\max} = 2 \mu, \end{array} \right\} \text{ für Linie } I_n$$

und

$$\left. \begin{array}{l} R_n = 100 \% \text{ „ } a_{\min} = 0,01 \mu, \\ R_n = 0 \quad \quad \quad \text{„ } a_{\max} = 0,5 \mu, \end{array} \right\} \text{ für Linie } II_n$$

5. Diskussion der Meßergebnisse im Feinkorngebiet

a) Nach der oben am Beispiel des Staubes 4 in Abb. 2 gewonnenen Erkenntnis, daß einer Summenlinie $R_g = f(a)$ je nach ihrer Spannweite verschiedene Kornzahlkurven $R_n = f(a)$ zugeordnet sind,

kann in Abb. 3 die Divergenz der Linien I_n^x und I_n — beide gehören zu I_g — nicht überraschen. Erfasst doch I_n^x den Kornbereich 0,05 bis 2 μ , I_n aber den Bereich 0,01 bis 2 μ .

Erwartungsgemäß verschwindet diese Divergenz, d. h. I_n^x fällt praktisch mit (I_n) zusammen, wenn die aus Glg. [9] errechenbaren oder aus Abb. 5 zu entnehmenden Stufen ΔR_g der Linie I_g in die Glg. [3a] eingeführt werden und die Stufenrechnung mit $R_n = 100 \%$ bei $a_{\min} = 0,05 \mu$ begonnen und bis $a_{\max} = 2 \mu$ durchgeführt wird.

Ähnliche Beziehungen bestehen zwischen II_g einerseits, II_n^x und II_n andererseits.

Wenn nun der kornzahlmäßige Prozentsatz beispielsweise über der Abszisse 0,1 μ je nach a_{\min} folgende Zahlenwerte (abgerundet) zeigt:

bei Staub 4 (Abb. 2)	bei Staub I (Abb. 3)	bei Staub II (Abb. 3)
100 % oder 10 %	70 % oder 30 %	10 % oder 5 %

so erhellt die Bedeutung der richtigen Erfassung der unteren Korngrenze a_{\min} für gewisse technische Zwecke, vor allem aber für alle Staubuntersuchungen mit medizinischer Zielsetzung.

Demgegenüber treten die Fraktionen in der Nähe der oberen Korngrenze mit ihren Beiträgen zu R_n völlig zurück, weshalb auch der sicheren Beobachtung von a_{\max} keine so große Bedeutung zukommt. Gewichtsmäßig allerdings spielen gerade die größeren Anteile eine ausschlaggebende Rolle: Bei Staub I z. B. steht für $a = 1 \mu$ einem $R_n \approx 2 \%$ ein $R_g \approx 60 \%$ gegenüber (Abb. 3), und bei Staub 4 ist das Verhältnis laut Abb. 2 und 4 sogar $R_n : R_g \approx 1 : 99,9$, falls die Zählung bis 0,01 μ reicht, bzw. $\approx 10 : 99,9$, wenn die Fraktionen zwischen 0,01 μ und 0,1 μ außer Betracht bleiben.*

b) Sowohl für Staub I wie für Staub II bleibt der Exponent γ der Kenngleichung [9] bzw. [10] wie schon beim ideellen Staub 4 unter dem kritischen Wert 4, so daß nach den an Glg. [8] anknüpfenden Überlegungen für die Häufigkeitslinien I_n' und (I_n') die Voraussetzung eines Höchstwertes im Gebiet $a > 0$, und für die Summenlinien I_n , (I_n) und II_n die Voraussetzung eines Wendepunktes fehlt.

Mit diesem Ergebnis steht unsere Betrachtungsweise in grundsätz-

*) Einen Hinweis, daß vielfach die Zahl der Teilchen wichtiger ist als das Teilchengewicht, illustriert Dautrebande (10) u. a. durch folgende Messungen: In 1 cm³ Luft:

Anzahl der Teilchen	Größe der Teilchen	Beitrag zum Staubgewicht je m ³
3300	0,15 bis 1 μ	0,36 mg
217	1 bis 5,5 μ	4,09 mg
9	5,5 bis 11 μ	7,85 mg

lichem Gegensatz zu den Abb. 6 und 7, darüber hinaus zu zahlreichen anderen im Fachschrifttum wiedergegebenen Untersuchungen an Feinstäuben.

Für einen jähen Abfall der Häufigkeitslinien zum Achsenursprung hin, nach dem Durchgang durch einen Höchstwert bei $a \approx 0,08 \mu$ in Abb. 6, bei $a \approx 0,02 \mu$ in Abb. 7, bei ähnlichen Korngrößen in vielen anderen Meßergebnissen (vgl. Abb. 8), ist nach Ansicht des Verfassers kein zwingender Grund ersichtlich, wenn auch gelegentlich die Anschauung vertreten wird, daß er „notwendigerweise zu erwarten“ sei.

An sich ist natürlich die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, manche Beobachtungen sprechen vielmehr dafür, daß mit fortschreitender Verkleinerung der Teilchen, im kolloidalen Gebiet oder an seinen

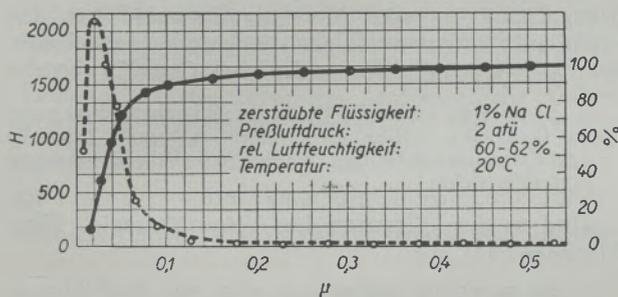


Abb. 7

Durchgangs- und Häufigkeitslinie einer zerstäubten NaCl-Lösung; entsprechend Abb. 3 in „Beckmann (9)“

Grenzen, Maxima und Minima in den Eigenschaften eines Stoffes auftreten. Erwähnt sei z. B. Graphit, dem nach Koch-Holm (Veröff. Siemens-Konz. 6, 1927, 188) bei etwa $250 \text{ m } \mu$ Korngröße ein Höchstwert der Härte eigen sein soll.

Immerhin rechtfertigt der oben erwähnte Widerspruch die vom Standpunkt des Technikers wie des Mediziners gleich wichtige Frage, ob in diesem Grenzgebiet der unmittelbaren Beobachtung oder der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Führung zukommt; oder auch, mit welchem Grad von Sicherheit z. B. die Gerade I_g in Abb. 4 und 5 unter $a \approx 0,2 \mu$ herunter verlängert und die Glg. [9] als Ausdruck der Verteilung auch im Feinstkorngebiet beibehalten werden darf.

c) Von subjektiven Fehlern abgesehen, die sich heute dank einer gewissen Mechanisierung und Automatisierung der Auszählung immerhin einschränken lassen, stößt letztere mit abnehmender Korngröße auf wachsende Schwierigkeiten, einmal bei der Sammlung, sodann bei der Auswertung der Staubprobe.

Bezüglich der Wahl des Sammelgerätes, insbesondere bezüglich der Entscheidung zwischen thermischem und elektrischem Niederschlagsfeld, und bezüglich geeigneter Maßnahmen, um auf dem elek-

tronenmikroskopischen Objektträger ein nicht schon vom Niederschlagsverfahren selbst verfälschtes, sondern ein das wirkliche Staubspektrum repräsentierendes Bild zu gewinnen, ist auf das Schrifttum zu verweisen.

Als Vergrößerungsgerät mit hinreichender Auflösung auch der feinsten Anteile kommt nur das Elektronenmikroskop in Frage. Mit seinem das Lichtmikroskop hundertfach übertreffenden, an die Größenordnung der größten Moleküle heranreichenden Auflösungsvermögen entspricht es zwar den Anforderungen der vorliegenden Probleme in idealer Weise, dieser seiner Sonderstellung entspricht aber auch sein Preis, seine Seltenheit und die Tatsache, daß der Einblick in „die Welt der vernachlässigten Dimensionen“ (Ostwald) erst in neuerer Zeit und bislang nur auf wenigen Spezialgebieten ermöglicht ist und systematisch versucht wird.

Es muß im Beispiel der Abb. 6 und 7 dahingestellt bleiben, welche Überlegungen oder Hindernisse einer feiner abgestuften Verfolgung der Kornzahllinien vor dem Achsenursprung Halt geboten haben. Immerhin liegt die Frage nahe, ob hier — vorläufig — nicht eine ähnliche meßtechnische Schranke aufgerichtet ist wie einst bei den lichtmikroskopischen Untersuchungen: In bedenklicher Verkennung der Wirklichkeit haben dort, wie eingangs erwähnt, lange Zeit Teilchen unter rund $0,25 \mu$, weil in der Lunge nicht nachweisbar, als dort nicht vorhanden, als ungefährlich gegolten.

Heute würde allerdings eine etwaige Schranke wohl nicht am Beobachtungsgerät, sondern am Sammelgerät liegen. Wie Abb. 8 zeigt, gelingt die Auszählung auch unterhalb der in Abb. 2 bis 5 angenommenen Korngrenze $0,01 \mu = 100 \text{ \AA}$; die Leistungsfähigkeit des Elektronenmikroskops ist an dieser Grenze in der Tat noch nicht erschöpft, was weiterhin vermuten läßt, daß der Niederschlag in seinem winzigen Gesichtsfeld kein ganz unverfälschtes Bild des Staubspektrums wiedergibt. Korngrößen unter einem dem Niederschlagsgerät und auch dem Staubmaterial eigentümlichen Grenzwert dürften nicht mehr entsprechend ihrer wahren zahlenmäßigen Stärke vertreten sein oder ganz fehlen.

Dieser kritische Wert von a ist jeweils dort zu sehen, wo die Häufigkeitslinie $\frac{dR}{da}$ (Abb. 6 und 7) mit abnehmendem a zu einem steilen Abfall ansetzt, bei zerstäubten Flüssigkeiten nach Dautrebande, Beckmann u. a. also etwa bei $0,02 \mu$, bei festen Teilchen etwas höher. Physikalisch ist das Auftreten eines solchen Maximums in der Häufigkeitslinie bzw. eines Wendepunktes in der Summenlinie kaum eindeutig zu erklären. Bei der Besprechung einer der Abb. 6 ähnlichen Kennlinie führt Walkenhorst (9) aus:

„Die Kornverteilung weist, wie es notwendigerweise sein muß, ein ausgesprochenes Maximum auf mit einem steilen Abfall nach kleinen Teilchen, einem flacheren nach der Seite der größeren Teilchen. Das Häufigkeitsmaximum selbst liegt etwa bei $0,2 \mu$. Praktisch alle Teilchen liegen unterhalb 3μ , unterhalb 1μ noch 84%.“

Und an anderer Stelle, bei der Besprechung eines Reststaubes aus einer Naßbohrung:

„Vom Häufigkeitsmaximum bei $0,037 \mu$ fällt die Kurve sehr steil ab, erreicht aber die Abszissenachse nicht im Nullpunkt, d. h. unterhalb einer Kleinstgröße treten praktisch keine Teilchen mehr auf. Eine sorgfältige Auswertung bei hoher Vergrößerung ergibt einen Grenzwert von etwa $0,009 \mu = 9 \text{ m}\mu$. Diese Tatsache erscheint an sich nicht überraschend. Sie dürfte mit dem Aufbau von Realkristallen zusammenhängen, die immer Fehlstellen im Gitter aufweisen, die als Lockerstellen wirken. Aus diesem Grunde liegen die Festigkeitswerte solcher Realkristalle wesentlich unter den aus den Kohäsionskräften errechneten, wenn man einen völlig ungestörten Aufbau eines solchen Kristalles annimmt. Bei einer mechanischen Beanspruchung eines Realkristalls mit Gitterfehlern wird immer an diesen Fehlstellen, die eine Art Kerbwirkung aufweisen, ein Zerreißen eintreten. Bei zunehmender Feinheit der Einzelteilchen wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer solchen Fehlstelle immer geringer, bis sie schließlich praktisch verschwindet und dann wesentlich größere mechanische Kräfte zu einer weiteren Zerkleinerung notwendig sind. Aus diesem Grunde dürfte eine untere Grenze wahrscheinlich sein, die in dem hier vorliegenden Beispiel bei $9 \text{ m}\mu$ liegt.“

Daß mit abnehmender Größe, mit zunehmender Homogenität des Einzelteilchens neben anderen Veränderungen an physikalischen Eigenschaften des chemischen Grundstoffes auch eine volle Ausnutzung der Molekularkräfte und ein Höchstmaß des Trennwiderstandes näherrückt, darf als feststehend gelten (11), wenn auch heute noch kaum übersehbar ist, unter welchen äußeren Bedingungen dieser Widerstand schließlich doch überwunden wird

und das Staubspektrum im Idealfall an das Molekül — niemals natürlich an den Achsenursprung einer Kennlinie — heranreicht.

Mit solchen bei der Staubbildung aus der festen Phase durchaus plausiblen Einflüssen kann aber zumindest bei zerstäubtem flüssigem Material kaum überzeugend entschieden werden, ob das völlige oder teilweise Fehlen kleinster Teilchen im Niederschlag z. B. der Abb. 7 naturgegeben oder im Niederschlagsvorgang begründet ist. Es liegt mit anderen Worten kein zwingender Grund vor, das gesetzmäßige Auftreten von Tröpfchen dort als beendet anzusehen, wo sie aus dem Gesichtsfeld des Elektronenmikroskops verschwinden.

Die Möglichkeit eines stetigen Übergangs zum Kolloid unter dem Einfluß chemischer, mechanischer, elektrischer oder anderer Energien, sei es von der Seite des groben Dispersoids her oder — durch Koagulation — vom Molekulardispersoid her, ist, wenn auch schwer verfolgbar, jedenfalls anzunehmen. Von den Himmelsdispersoiden sagt Ostwald (12):

„Es ist nicht leicht, die Größe der Wassertropfen genau zu bestimmen, welche die Wolken aufbauen. Jedenfalls handelt es sich um Teilchen, die den kolloidalen Dimensionen sehr nahe stehen.“

Und zu den „Grenzen der Aerosoltherapie“ führt Heubner (13) aus:

„Bis zu welcher Feinheit nach unten man Partikelchen in einem bestimmten Nebel findet, hängt vermutlich im wesentlichen von der Grenze ab, bis zu der man sie wahrnehmbar machen kann. Je nach der Methodik des Festhaltens der untersuchten Teilchen und der angewandten optischen Apparatur verschiebt sich tatsächlich die Grenze der erkennbaren Teilchen. Wenn die Möglichkeit bestünde, auch Teilchengrößen unterhalb des Auflösungsvermögens des besten, also auch des Elektronenmikroskops nachzuweisen, würde man wahrscheinlich solche finden. Bei flüchtigen Substanzen, wie z. B. Wasser, sind ja laufend alle Übergänge von Regentropfengröße bis zur molekularen Verteilung des Wasserdampfes gegeben; es sind also bestimmt zeitweise Teilchen mit 1000, 100, 10 Molekülen usw. gegenwärtig, die natürlich nie beobachtbar sind. Analogien in allen möglichen Abstufungen finden sich vermutlich auch bei andersartigen Materien.“

Zwischen Anschauungen, nach denen kolloidale Staubanteile zumindest als wahrscheinlich gelten dürfen, einerseits und Kennlinien von der Art der Abb. 6, 7 und 8 andererseits, besteht also ein Widerspruch, den vielleicht einmal noch weiter verfeinerte Untersuchungsarten beheben werden.

Einstweilen aber erscheint es durchaus vertretbar, die Häufigkeitslinien in diesen Abbildungen über ihre versuchsmäßig nicht überzeugend unterbauten Höchstwerte hinaus „wahrscheinlich“ zu extrapolieren, also z. B. die Gerade I_g im Wahrscheinlichkeitsnetz der Abb. 4 über $0,2 \mu$ hinaus zu verlängern oder, wie in Abb. 5, belie-

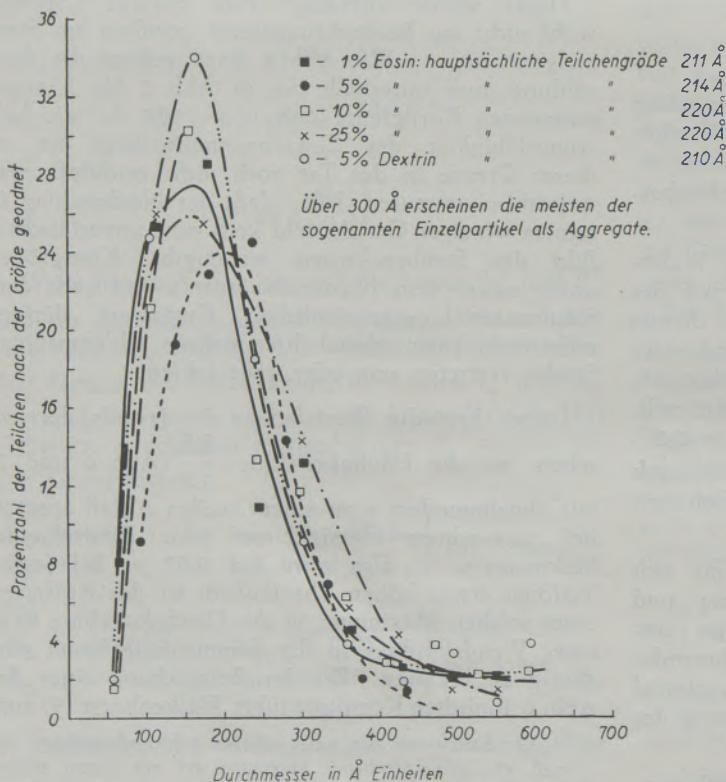


Abb. 8

Aerosolkennlinien verschiedener Ausgangslösungen; entsprechend Abb. 7 in „Beckmann (9)“

big weit in das kolloidale Gebiet zu verfolgen. Dies deckt sich auch Dautrebandes (14) Rat, „Geräte zu entwickeln, die das Sammeln einer auswertbaren Probe der Teilchen $\leq 1 \mu$ erlauben. Bis zu diesem Zeitpunkt ist die Annahme eines hohen Anteiles Feinststaubes dienlicher als Vernachlässigung der noch nicht meßbaren realen Werte.“

Damit aber einer solchen Annahme auch zahlenmäßig eine gewisse Berechtigung zukommt, hat sie an das meßtechnisch zugängliche, zuverlässig ausgemessene Körnungsgebiet anzuknüpfen. Für die praktische Durchführung ergeben sich deshalb aus Vorstehendem

6. Einige Folgerungen

Alle obigen Überlegungen, auch die zuletzt erwähnte Dautrebandesche Forderung münden in der Aufgabe, den mit der Unterschreitung der 1μ -Grenze meßtechnisch und im regulär geteilten Netz auch zeichnerisch unsicheren Körnungsbereich „wahrscheinlich“ zu erschließen. Für das Beispiel des Staubes I ist das besonders problematische Gebiet in Abb. 6a kreisförmig umrandet. Die gestrichelt angedeutete Verlängerung der Meßkurve I_n^x d. h. der Linie $R_n = f(a)$, kann den Wert $R_n = 100\%$ nicht erst bei $a = 0$ erreichen, weil ja a_{min} minde-

stens der Größe des Moleküls entsprechen muß. Ob die genannte Linie zuvor noch einen Wendepunkt durchläuft, wie es der Höchstwert der Häufigkeitslinie bei $a \approx 0,08 \mu$ stillschweigend voraussetzt, kann weder mit den heutigen Mitteln versuchsmäßig nachgewiesen noch in Abb. 6a durch die Kennlinie I_n^x geklärt, wohl aber von einer Kenngleichung nach dem Muster von Glg. [1] oder [9] beantwortet werden, falls sich die Meßwerte des zuverlässigeren Meßbereichs hinreichend zwanglos einem solchen analytischen Gesetz fügen.

Ein diesbezügliches Kriterium ist im $\lg a - \lg \lg \frac{100}{R_g}$ -Netz zu suchen und gegeben, wenn dort die aus I_n^x mit Hilfe von Glg. [3] errechneten, schwarz umrahmten Punkte durch eine (rote) Gerade ausgemittelt werden können. Daneben aber empfiehlt sich die Übertragung der Linie I_n^x und ihrer Folgerungen (vgl. Tab. 1) auch in die Netze der Abb. 3 und 5. Das $\lg a$ -R-Netz (Abb. 3) erleichtert die Abschätzung eines zu den Meßwerten passenden Ausgangswertes a_{min} (bei I_n^x beispielsweise $0,05 \mu$) für die stufenweise Umrechnung $I_n^x \rightarrow I_g$. Das $\lg a - \lg(100 -$

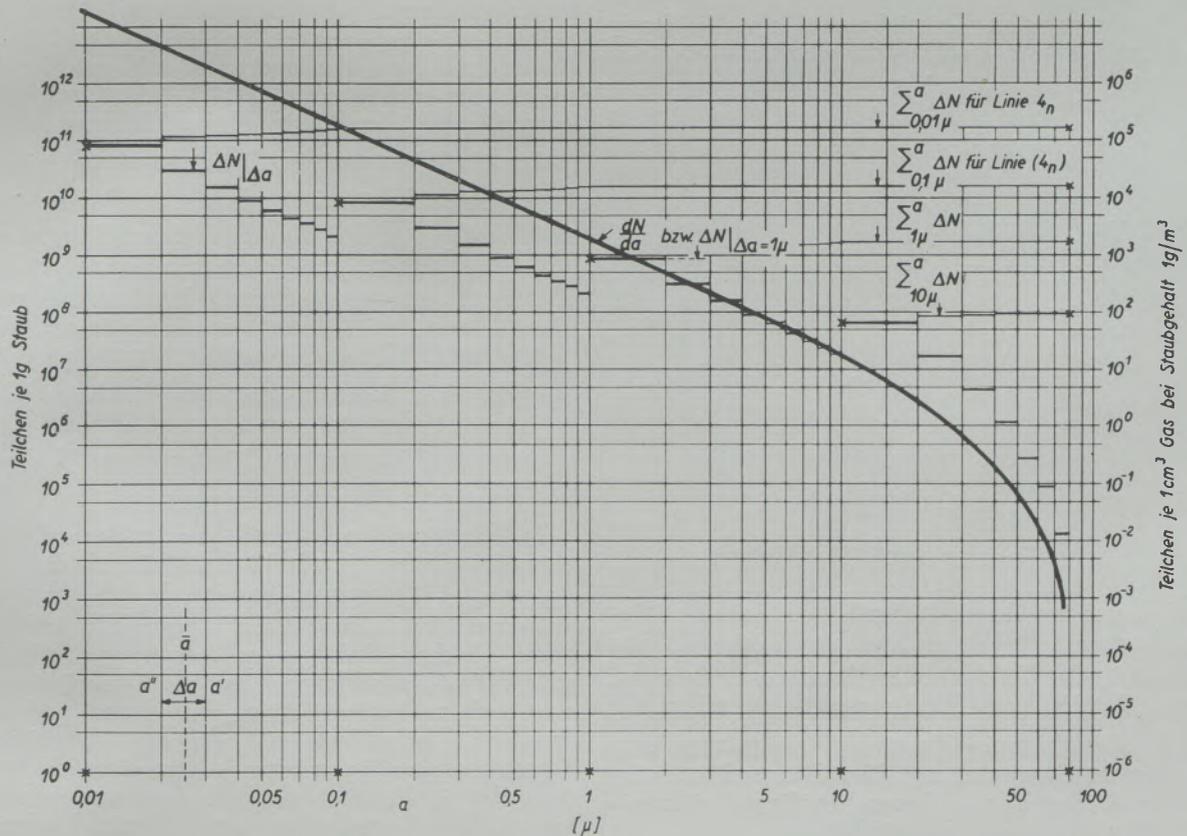


Abb. 9

Kornzahlstufen und Kornzahlsummen von Staub 4 im $\lg a - \lg N$ -Netz

R)-Netz (Abb. 5) aber läßt aus der ins Feinstkorngebiet verlängerten roten Rückstandslinie I_g bequem auch kleinste Differenzbeträge ΔR_g entnehmen, die rechnerisch aus der Kenngleichung nicht ganz einfach zu bestimmen sind, deren Kenntnis andererseits zur Beantwortung mancher Fragen erwünscht ist. Hierher gehört u. a.

Die absolute Teilchenzahl N je Gramm Staub oder je Volumeneinheit des Gases.

In der Glg. [3a] zur Berechnung von $\Delta R_n = \frac{\Delta N}{N_{ges}} \cdot 100$, d. h. des verhältnismäßigen Beitrages einer Fraktion \bar{a} zur gesamten Kornzahl eines Staubgewichts G , ist ebenso wie in Glg. [7] das spezifische Gewicht des Staubes nicht enthalten. Zur Bestimmung der absoluten Beträge ΔN und N_{ges} ist es einzuführen gemäß

$$\frac{\pi}{6} \gamma_s \bar{a}^3 \Delta N = \frac{\Delta R_g}{100} G \quad [13]$$

bzw.

$$N_{ges} = \sum_{\bar{a}_{min}}^{\bar{a}_{max}} \Delta N \quad [14]$$

Liegt die Linie $R_n = f(a)$ schon vor, so ist natürlich eine neue Stufenrechnung entbehrlich; N_{ges} ergibt sich dann, indem für irgend ein Teilgewicht ΔR_g die zugeordnete absolute Kornzahl nach Glg. [13] bestimmt wird. Beispielsweise folgt für Staub Nr. 4, mit $G = 1$ g, mit $\gamma_s = 2$ g/cm³, $\bar{a} = 0,025 \mu$ $\approx 2,5 \cdot 10^{-6}$ cm, aus Abb. 5

$$\Delta R_g \left| \begin{array}{l} 0,03\mu \\ 0,02\mu \end{array} \right. \approx 99,999\ 96 - 99,999\ 91 \approx 0,000\ 05\ 0/0$$

und

$$\Delta N \left| \begin{array}{l} 0,03\mu \\ 0,02\mu \end{array} \right. \approx \frac{0,000\ 05}{100} \cdot 1 \cdot \frac{6}{\pi} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(2,5 \cdot 10^{-6})^3} \approx 3,05 \cdot 10^{10} \text{ Teilchen je 1 g.}$$

Da aber nach Abb. 2

$$\Delta R_n \left| \begin{array}{l} 0,03\mu \\ 0,02\mu \end{array} \right. \approx 51,9 - 34,6 \approx 17,3\ 0/0,$$

$$\text{wird } N_{ges} = N \left| \begin{array}{l} 80\mu \\ 0,01\mu \end{array} \right. \approx 3,05 \cdot 10^{10} \cdot \frac{100}{17,3} \approx 1,76 \cdot 10^{11} \text{ T/g.}$$

Also eine ungeheure Kornzahl, an der u. a. bemerkenswert ist, daß (vgl. Abb. 2, Linie 4_n) nur etwa 10 % der Teilchen einen Durchmesser $> 0,1 \mu$, nur rund 1 % einen Durchmesser $> 1 \mu$ zeigen.

Mit der absoluten Kornzahl N_{ges} gelangt man übrigens zu einem weiteren Begriff eines Mittelwertes der Körnung, zum kornzahlmäßigen arithmetischen Mittel a_n ; es folgt nämlich

$$a_n = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \frac{1}{\gamma_s} \frac{1}{N_{ges}}}$$

also im Beispiel des Staubes Nr. 4 im Bereich $0,01 \mu$ bis 80μ

$$a_n = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \frac{1}{2 \cdot 10^{-12}} \frac{1}{1,76 \cdot 10^{11}}} = 1,75 \mu.$$

Bleiben dagegen bei dieser Mittelwertbildung alle Teilchen $a < 1 \mu$ außer Betracht, so ergibt sich der Mittelwert der restlichen $1,67 \cdot 10^{10}$ Teilchen zu $8,2 \mu$.

Diese aus N_{ges} errechnete durchschnittliche Korngröße a_n entspricht zwar der geläufigen Vorstellung eines „Mittelwertes“ mehr als etwa ein aus der Rückstandslinie $R_g = f(a)$ oder aus der Häufigkeitslinie $dR_g = f(a)$ abzuleitendes arithmetisches Mittel (vgl. II, Abb. 1). Ihrer Einführung als Element der praktischen Staubb Beschreibung steht aber der erhebliche rechnerische Aufwand bei der Bestimmung des Kollektivumfangs N_{ges} entgegen, der — bei a_n noch mehr als bei a_m — der Czuberschen Forderung nach Einfachheit der Mittelwertbildung widerspricht (4).

Für viele staubtechnische Rechnungen ist es üblich, den „Staubgehalt“ in g/m³, die Kornzahl in Teilchen je cm³ des Gases anzugeben. Aus je 1 g/m³ entfallen dabei $10^{-6} \cdot N_{ges}$ Teilchen auf 1 cm³, für den Staub Nr. 4 also beispielsweise $1,76 \cdot 10^5$ T/cm³.

Es ist schließlich nicht ohne Interesse, diese Beziehungen einmal auf das Gesichtsfeld des Mikroskops unter der Annahme zu übertragen, daß dort ein unverfälschtes Staubspektrum, z. B. von Staub I anfällt und insgesamt 1000 Teilchen ausgezählt werden, eine jedenfalls reichliche Schätzung.

Gemäß Abb. 6 und in Übereinstimmung mit der Linie I_n^x in Abb. 3 hätte dann die Zählung rund 31 % oder 310 Teilchen mit einem Durchmesser $< 0,1 \mu$ erfaßt, während die Linie I_n , mit anderen Worten die bis $0,01 \mu$ als maßgebend angenommene Glg. [9] aus Abb. 3 den „wahrscheinlichen“ Wert 68 % oder 680 Teilchen unter $0,1 \mu$ entnehmen läßt.

Andererseits liegen in der Nähe der oberen Korngrenze, z. B. oberhalb $a = 1 \mu$, laut Zählung (Linie I_n^x) etwa 4 % oder 40 Teilchen, laut Rechnung (Linie I_n) etwa 2 % oder 20 Teilchen.

Zufälligkeiten im Anfall des zahlenmäßig so schwach vertretenen „Grobkorns“ können die Linie $R_g = f(a)$, im Beispiel die Linie I_g , erheblich beeinflussen. Es bedarf deshalb jedenfalls mehrerer unter gleichen Bedingungen gewonnener Niederschläge und Auszählungen, um das Ergebnis jeweils statistisch zu sichern. Auch muß heute noch die Frage offenbleiben, wie sich ein etwaiger höherer Prozentsatz des Feinstkorns — im Beispiel 68 % gegenüber 31 % — der Beobachtung entzogen haben könnte. Die Antwort hat u. a. die mit abnehmendem a wachsende Schwierigkeit zu beachten, aus dem Gasstrom auch allerfeinste Teilchen auf der Niederschlagsfläche auszuscheiden, festzuhalten und schließlich auch als Einzelpartikelchen zu erkennen, d. h.

ihre Neigung und Fähigkeit zur Aggregatbildung bei der Auszählung richtig abzuschätzen.

Sobald die Kenngleichung des Staubes vorliegt, gestalten sich auch die Überlegungen bezüglich der absoluten Kornzahlen besonders einfach. In einer Staubprobe von 1 g Gewicht kommt auf die Stufe von a bis $(a+da)$ der Gewichtsanteil

$$\frac{1}{100} \frac{dR_g}{da} da = \frac{\pi}{6} \gamma_s a^3 dN, \text{ so daß}$$

$$\frac{dN}{da} = \frac{1}{100} \frac{6}{\pi} \frac{1}{\gamma_s a^3} \frac{dR_g}{da}, \text{ oder mit Glg. [5]}$$

$$\frac{dN}{da} = (-) \frac{6}{\pi} \frac{1}{\gamma_s} x y a^{y-4} e^{-x a^y}, \text{ bzw.}$$

$$\Delta N = (-) \frac{6}{\pi} \frac{1}{\gamma_s} x y \bar{a}^{y-4} e^{-x \bar{a}^y} \Delta a \quad [15]$$

In dem für N_{ges} maßgebenden Kornbereich, z. B. bei Staub Nr. 4 unterhalb 1μ , oder für Staub I unterhalb $0,1\mu$, ist

$$e^{-x a^y} = \frac{R_g}{100} \approx 1,$$

so daß in diesem Gebiet je 1 g Staub

$$\Delta N \approx (-) \frac{6}{\pi} \frac{1}{\gamma_s} x y \bar{a}^{y-4} \Delta a \quad [15a]$$

wobei \bar{a} und Δa in μ , das spezifische Gewicht γ_s in g/μ^3 einzusetzen ist.

Beispiel: Staub Nr. 4, $\bar{a} = 0,025 \mu$,

$$\Delta a = 0,01 \mu,$$

$$\gamma_s = 2 \cdot 10^{-12} g/\mu^3$$

$$\Delta N \Big|_{0,02\mu}^{0,03\mu} \approx (-) \frac{6}{\pi} \frac{1}{2 \cdot 10^{-12}} \cdot 0,001 \cdot 2 \cdot 0,025^{2-4} \cdot 0,01$$

$$\approx 3,05 \cdot 10^{10} \text{ T/g bzw. wie oben}$$

$$\approx 3,05 \cdot 10^4 \text{ T/cm}^3 \text{ bei einem Staubgehalt } 1 \text{ g/m}^3.$$

Zusammenfassung

An Fein- und Feinststäuben gemessene, im Schrifttum vorliegende Kornverteilungen können nicht restlos überzeugen, wenn ihre Häufigkeitslinien nach Überschreitung eines Höchstwertes einen jähen Abfall nach dem Achsenursprung hin aufweisen und damit einen Teilchenmangel zwischen dem Molekül und einem Kleinstkorn a_{min} andeuten.

Mit abnehmender Korngröße wachsender Trennwiderstand der Molekularkräfte vermag die Entstehung einer bevorzugten Kornfraktion mit $a > a_{min}$ vielleicht bei festem, aber kaum bei flüssigem Ausgangsmaterial verständlich zu machen.

Am Beispiel eines trocken gewonnenen Gesteinbohrstaubs und einer zerstäubten NaCl-Lösung wird gezeigt, daß sich die unter dem Elektronenmikroskop ausgezählten, kugelförmig angenommenen Teilchen gewichtsmäßig befriedigend dem bekannten Exponentialgesetz fügen.

Sinkt R_g mit wachsendem a merklich unter 100%, so ist auf Glg. [15] zurückzugreifen. Die von $a_{min} = 0,01 \mu$ bis $a_{max} = 80 \mu$ für Staub Nr. 4 durchgeführte Stufenrechnung ergibt dann

in der Gruppe	Teilchen je 1 g	Teilchen je 1 cm ³
0,01 μ bis 0,1 μ	$1,592 \cdot 10^{11}$	$= 1,592 \cdot 10^5$
0,1 μ bis 1 μ	$0,1592 \cdot 10^{11}$	$= 0,1592 \cdot 10^5$
1 μ bis 10 μ	$0,0158 \cdot 10^{11}$	$= 0,0158 \cdot 10^5$
10 μ bis 80 μ	$0,0009 \cdot 10^{11}$	$= 0,0009 \cdot 10^5$
Sa \approx	$1,768 \cdot 10^{11}$	$\approx 1,768 \cdot 10^5$

Die zeichnerische Darstellung dieser Verteilung in Abb. 9 ist in verschiedener Hinsicht aufschlußreich. Dort sind aus den Stufenbeiträgen ΔN vier Summenlinien gebildet, und zwar

$$\sum_{0,01\mu}^{80\mu}, \sum_{0,1\mu}^{80\mu}, \sum_{1\mu}^{80\mu}, \text{ und } \sum_{10\mu}^{80\mu}.$$

Vor allem zeigt sich, daß die Größenordnung der gesamten Teilchenzahl $N_{ges} = \frac{a_{max}}{a_{min}} \Delta N$ praktisch durch die jeweils feinste Fraktion bestimmt wird.

So gibt z. B. in $\sum_{0,1\mu}^{80\mu} \Delta N \approx 1,76 \cdot 10^{10} \text{ T/g} = 1,76 \cdot 10^4 \text{ T/cm}^3$ der Beitrag der Stufe $0,1\mu$ bis $0,2\mu$ mit $8,48 \cdot 10^9 \text{ T/g} = 8,48 \cdot 10^3 \text{ T/cm}^3$ den Ausschlag.

Dies schließt natürlich nicht aus, daß oft auch andere Fraktionen, z. B. $0,9\mu$ bis $1,0\mu$ mit immerhin noch $2,12 \cdot 10^8 \text{ T/g}$ mitsprechen, wenn nicht die Anzahl sondern irgendwelche von a abhängige Eigenschaft der Teilchen die Bewertung der Fraktionen im Rahmen einer staubtechnischen Aufgabe bestimmt, z. B. die Größe ihrer reaktionsbereiten Oberfläche oder ihre elektrische Ladefähigkeit.

Andererseits kennzeichnet die relative Seltenheit des „Grobkorns“, z. B. zwischen 70μ und 80μ rund 10^{-2} T/cm^3 oder 1 Teilchen in etwa 100 cm^3 Gas, die Schwierigkeit, in einer Staubprobe auch die obere Korngrenze richtig zu erfassen.

Anhand dieses Gesetzes wird im derzeit maßtechnisch noch ungeklärten Körnungsgebiet eine „wahrscheinliche“ Kornverteilung angenommen und auch die absolute Kornzahl der einzelnen Fraktionen berechnet.

Durch den Kennbruch $K = \frac{a'e}{ae}$ z. B.

$$K_I = \frac{0,85}{1,32} \text{ bei Staub I,}$$

$$K_{II} = \frac{0,32}{0,62} \text{ bei Staub II, gegenüber}$$

$$K_4 = \frac{17,5}{31,6} \text{ bei Staub 4,}$$

sind die verschiedenen Stäube auch im Feinkorngebiet auf ebenso bequeme wie aufschlußreiche Weise zu unterscheiden.

Summary

Dust grading results as published in the relevant literature and which are referring to particles of micron and submicron size do not seem quite convincing when their frequency curves after going beyond a maximum take a sudden down turn towards the starting point of the coordinates.

These results would suggest that there is a deficiency of particles in the range between the molecule size and a particle size of maximum frequency a_d .

The molecular force of resistance to separation which increases with decreasing particle size may perhaps explain the occurrence of a favoured size frequency $a > a_{\min}$ where solid particles are concerned but can hardly do so where liquid material is concerned.

Taking as an example dry drilling rock dust and a pulverized NaCl-solution it is shown that the assumed sphere shaped particles counted by means of the electron microscope are by weight following

the well known exponential law in a satisfactory manner.

According to this law a „probable“ particle size distribution is being assumed for the range of particle sizes which is for the time being not fully measurable and a calculation is made of the absolute number for each size fraction.

The characteristic quotient $K = \frac{a'_e}{a_e}$, for example

$$K_I = \frac{0,85}{1,32} \quad \text{for the dust I,}$$

$$K_{II} = \frac{0,32}{0,62} \quad \text{„ „ „ II,}$$

$$K_4 = \frac{17,5}{31,6} \quad \text{„ „ „ 4,}$$

makes possible to differentiate the various dusts also in the range of micron and submicron size in a complete and easy manner.

Résumé

Les résultats de granulométrie de poussières publiés dans la littérature et qui se rapportent aux particules microniques et submicroniques ne semblent pas entièrement convaincants lorsque leurs courbes de fréquence, après avoir dépassé un maximum tournent soudainement en bas vers le commencement des coordonnées. Ces résultats indiqueraient un manque de particules entre le molécule et une grandeur de particule de fréquence maximum a_d .

La force moléculaire de résistance de séparation qui grandit avec la diminution de la grandeur de la particule peut expliquer peut-être une fraction favorisée de particules $a > a_{\min}$ pour une matière solide de départ mais ne le peut guère pour une matière liquide.

Prenant pour exemple de la poussière de rocher obtenue par la foration à sec et une solution de NaCl pulvérisée il est démontré que les particules supposées de forme sphérique et comptées à l'aide du microscope électronique se comportent au point

de vue du poids suivant la loi exponentielle bien connue.

D'après cette loi une distribution „probable“ de grandeur de particule est supposée pour les grandeurs de particules situées entre les limites pour lesquelles la détermination par mesure ne peut encore être faite, et le nombre absolu des particules pour les fractions individuelles est calculé.

Le quotient caractéristique $K = \frac{a'_e}{a_e}$, par exemple

$$K_I = \frac{0,85}{1,32} \quad \text{pour la poussière I,}$$

$$K_{II} = \frac{0,32}{0,62} \quad \text{„ „ „ II,}$$

$$K_4 = \frac{17,5}{31,6} \quad \text{„ „ „ 4,}$$

rend possible de différencier des poussières variées également dans les limites de grandeur du micron et submicron d'une manière complète et facile.

Literaturverzeichnis

1. Faber, O. W., „Die Staubteilchen unterhalb der mikroskopischen Sichtbarkeitsgrenze“. Z. Staub, Heft 1 (1936) 26/40.
 2. Walkenhorst, W., „Verfahren zur elektronen-mikroskopischen Untersuchung von Gewerbestäuben und ihre Ergebnisse“. Z. Aerosol-Forsch. und -Therapie, 3 (1954) 96.
 3. Schmidt, K. G., „Staub und Aerosol“. Z. Aerosol-Forsch. und -Therapie, 2 (1953) 640/652.
 4. Feifel, E., „Mittleres Korn. Begriffe der Staubtechnik, II“. Radex-Rundschau, Heft 6 (1953) 8/26.
 5. Engel, A. v., und M. Steenbeck, „Elektrische Gasentladungen“. II. Band. S. 227. Julius Springer, Berlin (1934).
 6. Faber, O. W., „Gravimetrisches, tyndallometrisches oder konimetrisches Meßverfahren“. Z. Staub, Heft 7 (1937) 372/408.
- Löwe, F., „Staubmeßgeräte und -verfahren für Aufgaben der Gewerbehygiene und der Meteorologie“. Jenaer Jahrb. (1951) 156/184. G. Fischer, Jena.
- Gessner, H., „Die Ergebnisse der Staubuntersuchungen in silikosegefährdeten Betrieben“. Vierteljahrsz. Naturforsch. Ges. Zürich, 92 (1947) 13/82.
- Gessner, H., „Leistung und Grenzen verschiedener Staubuntersuchungsmethoden in der Praxis“. Z. Aerosol-Forsch. und -Therapie, 2 (1953) 677/696.

7. Feifel, E., „Kennlinie, Kenngleichung, Kennbruch. Begriffe der Staubtechnik, I“. Radex-Rundschau, Heft 6 (1952) 235/254.
8. le Bouffant, L., et Soulé, J.-L. „Angewandte Mikroskopie. Automatisches Verfahren einer granulometrischen Analyse“. C. R. hebd. Séances Acad. Sci. 235 (1952) 1207/10.
Hawksley, P. G. W., „Automatische Ermittlung von Teilchengrößen durch aufeinanderfolgende Zählungen“. Nature (London), 170 (1952) 984/5.
Dawes, J. G., „Die Schnittlängen-Methode zur selbsttätigen Auswertung von Staubproben“. Min. of Fuel and Powder ... Res. Rep. Nr. 54 (1952) 1/29.
9. Walkenhorst, W., „Koagulation von Staub durch feinteilige Aerosole“. Z. Aerosol-Forsch. und -Therapie, 2 (1953) 602/614, Abb. 2.
Walkenhorst, W., „Elektronenmikroskopische Untersuchung von Stäuben, Methoden und Ergebnisse“. Beiträge zur Silikoseforschung, Heft 18 (1952) Abb. 17.
- Beckmann, H., „Untersuchungen über die Teilchengröße“. Z. Aerosol-Forsch. und -Therapie, 2 (1953) 59/5/601, Abb. 3 und 7.
10. Dautrebande, L., „Aspects nouveaux de la lutte contre les poussières“. Libr. de l'assoc. des Industriels de Belgique (1952) S. 17.
11. Smekal, A., „Die Festigkeitseigenschaften spröder Körper“. Ergebn. exakt. Naturw. 15 (1936) 106/188.
Nassenstein, H., „Zur Physik der Pulverdispersoide“. Chemie-Ing.-Techn. 24 (1952) 272/277.
12. Ostwald, W., „Die Welt der vernachlässigten Dimensionen“. Dresden & Leipzig, Verl. Theod. Steinkopf (1927).
13. Heubner, W., „Grenzen der Aerosol-Therapie“. Z. Aerosol-Forsch. und -Therapie, 2 (1953) 553/563.
14. Dautrebande, L., „Das Problem der schädlichen Stäube“. Z. Staub. Heft 32 (1953) Ref. 3683.