

Aus der Sektion Verfahrenstechnik
der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg
Wissenschaftsbereich Umweltschutztechnik
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. sc. techn. Birr)

Verbesserung der Feinstaubabscheidung in Elektroabscheidern

Von Holger Födisch
Mit 9 Abbildungen
(Eingegangen am 9. Juni 1986)

Einleitung

Das Verfahren der elektrischen Gasreinigung konnte seit seiner erstmaligen Einführung vor 80 Jahren auf Grund vielfältiger Vorteile eine breite Anwendung erlangen. Typische Einsatzgebiete des Verfahrens sind die chemische Industrie, die Energiewirtschaft, die Buntmetallurgie u. a.

Industriell eingesetzte Elektroabscheider sind meist als Plattenelektroabscheider ausgeführt und bestehen aus parallel zueinander angeordneten Niederschlags Elektroden, zwischen denen spezielle Sprühelektroden (z. B. dünne Drähte) gespannt sind.

Diese Sprühelektroden liegen an einem hohen elektrischen Potential (etwa 30–70 kV) negativer Polarität, so daß sich gegenüber den an Erde liegenden Niederschlags Elektroden ein starkes elektrisches Feld ausbilden kann. Unter dem Einfluß des

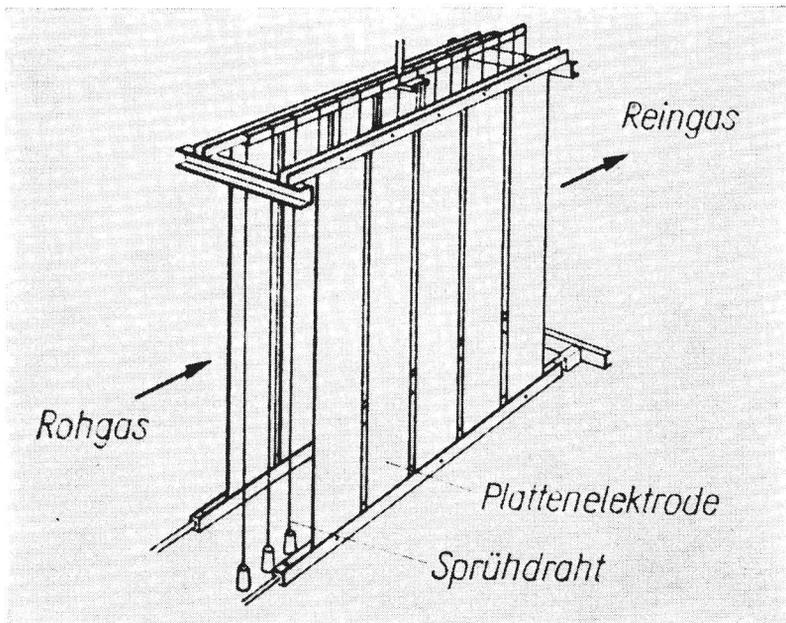


Abb. 1. Prinzipdarstellung eines Plattenelektroabscheiders

elektrischen Feldes entsteht an den Sprühelektroden eine selbständige Gasentladung unter Atmosphärendruck, die sogenannte Koronaentladung, welche eine elektrische Aufladung der Staubpartikel ermöglicht. Die geladenen Partikel wandern unter der Wirkung des elektrischen Feldes zu den Niederschlags Elektroden und werden dort abgeschieden.

Durch periodische Klopfung wird der Staub von den Niederschlags Elektroden abgelöst und gelangt in darunter angeordnete Staubbunker.

Ein wesentliches, insbesondere bei Elektroabscheidern auftretendes Problem besteht darin, daß mit steigenden Abscheidegraden hauptsächlich die auf Grund der gesundheitlichen Relevanz bedeutsamen Partikelgrößen mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ emittiert werden (Gross 1981; Güthner 1978).

Gesundheitliche Relevanz „feiner“ Partikel

Zur Kennzeichnung des Begriffes „Feinstaub“ existieren mehrere Definitionen. Allgemein wird darunter ein Partikelgrößenbereich $d_{ae} < 10 \mu\text{m}$ verstanden, so daß im weiteren dieser Punkt zur Abgrenzung des Feinstaubbereiches dient.

Die gesundheitliche Relevanz von Feinstaub liegt insbesondere in seiner Inhalierbarkeit bzw. Lungengängigkeit.

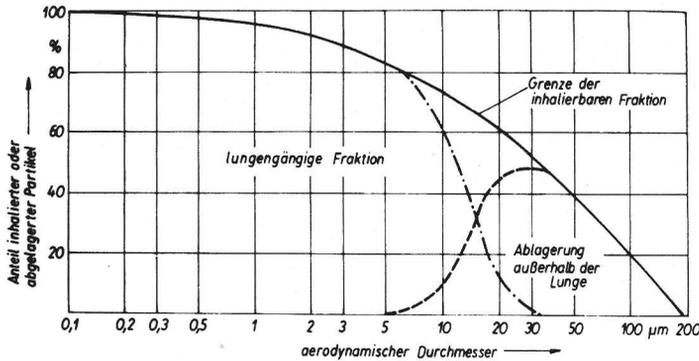


Abb. 2
Die inhalierbare
Fraktion

Die Abb. 2 verdeutlicht die Abhängigkeit der inhalierbaren Fraktion sowie die in verschiedenen Regionen des Atemtrakts auftretenden Ablagerungen von der Partikelgröße (Ogden 1982). Diese graphische Darstellung korrespondiert mit der für die inhalierbare Fraktion aufgestellten Beziehung

$$I = 100 - 15 (\log (d_{ae} + 1))^2 - 10 \log (d_{ae} + 1). \quad (1)$$

I – inhalierbare Fraktion in %

d_{ae} – aerodynamischer Durchmesser in μm

Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ werden beim Atemvorgang weitestgehend im Nasen- und Rachenraum zurückgehalten und über den fortwährend zur Nase hingehaltenen Flimmerstrom oder durch Hustenstöße aus dem Atemsystem entfernt (Wiedemann 1982).

Teilchen mit einem Durchmesser $5 < d_{ae} < 10 \mu\text{m}$ gelangen zu einem hohen Anteil bis in die Bronchiolen, von wo sie durch das Flimmerepithel wieder aus dem Atemsystem heraus transportiert werden; dagegen erreichen Teilchen mit $d_{ae} < 5 \mu\text{m}$ die Alveolen und verringern durch die darin auftretende Ablagerung die Stoffaustauschfläche der Lunge (Wiedemann 1982).

Die gesundheitsbeeinträchtigendste Wirkung geht von Partikeln im Bereich $0,5 < d_{ae} < 2,5 \mu\text{m}$ aus.

Diese Partikel erreichen die Gasaustauschflächen der Lunge, werden durch Enzyme teilweise abgebaut und in das Lymphsystem eingeschleust, wodurch sie an jede Stelle des Körpers gelangen können (Wiedemann 1982). Unter Berücksichtigung der bevorzugten Adsorption gasförmiger Schadstoffe sowie der Anlagerung von Schwermetallanteilen an diese Partikelfraktion ergibt sich somit ein ernsthaftes Gesundheitsrisiko.

Partikel im Submikronbereich ($d_{ae} < 0,5 \mu\text{m}$) gelangen zwar ebenfalls bis in die Alveolen, verlassen jedoch das Atemsystem mit dem ausgeatmeten Luftstrom. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die molekulare Diffusion mit abnehmender Teilchengröße zunehmend an Bedeutung gewinnt, was eine erhöhte Ablagerungsrate bewirkt (Wiedemann 1982).

Das Hauptaugenmerk ist demzufolge der effektiven Abscheidung von Partikeln im Bereich $0,5 < d_{ae} < 2,5 \mu\text{m}$ zu widmen.

Zielstellung

Das Ziel der Untersuchungen läßt sich folgendermaßen umreißen:

1. Beschaffung detaillierter Kenntnisse im Rahmen der Grundlagenforschung zum Verlauf der Fraktionsabscheidegradkurve in Abhängigkeit der Betriebsparameter des Abscheiders sowie der Gas- und Staubeigenschaften.
2. Ableitung geeigneter praxisrelevanter Maßnahmen zur Verbesserung der Feinstaubabscheidung in Elektroabscheidern.

Nachfolgend sollen einige Beispiele von Fraktionsabscheidegradkurven für Elektroabscheider dargelegt und diskutiert werden. Die Messungen wurden mittels 6- bzw. 8stufiger Kaskadenimpaktoren unter Technikums- als auch unter Betriebsbedingungen durchgeführt.

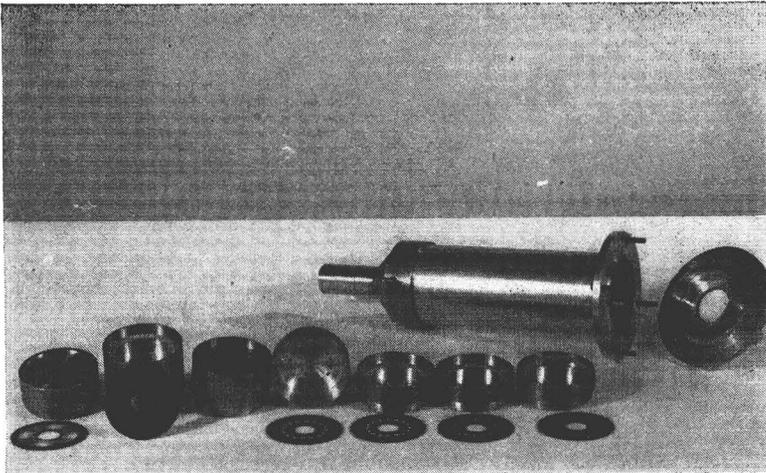


Abb. 3. Aufbau eines Kaskadenimpaktors

Untersuchungen im Zementwerk Bernburg

Die Messungen erfolgten an einem Kleinelektroabscheider zur Entstaubung der Klinkerkühlergase im Zementwerk Bernburg (Petroll u. Födisch 1985). Abb. 4 zeigt die Einbindung des Kleinelektroabscheiders in die Technologie der Klinkerkühler-

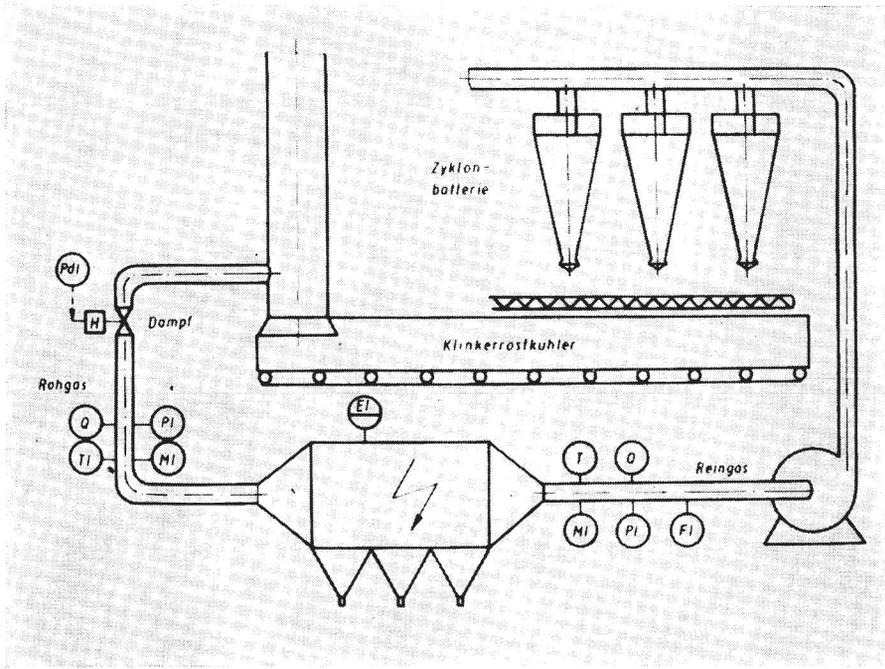


Abb. 4. Einbindung des Kleinelektroabscheiders in die Technologie der Klinker-kühlerentstaubung

entstaubung. Wesentliche konstruktive Daten sowie die variierten Einflußfaktoren sind in Petroll u. Födisch (1988) zusammengestellt.

Der Einfluß der Parameter Gasgeschwindigkeit und Stromdichte wird in den nachfolgenden Bildern aufgezeigt.

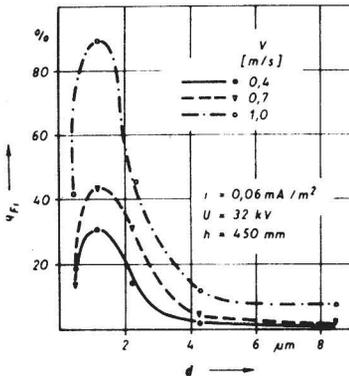


Abb. 5. Einfluß der Gasgeschwindigkeit auf den Fraktionsdurchlaßgrad

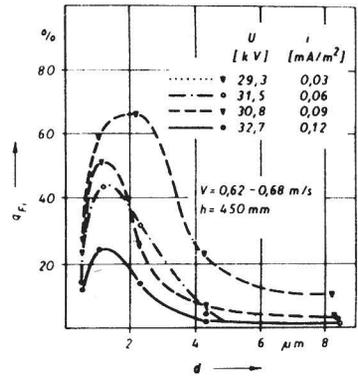
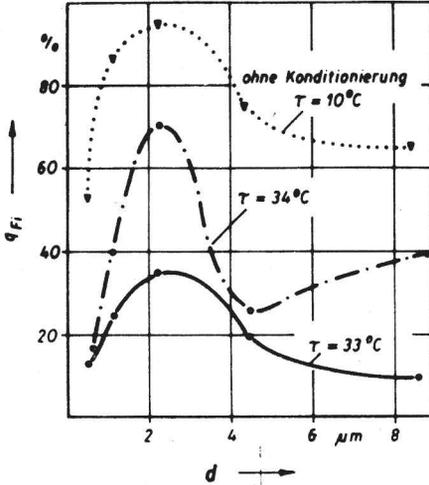


Abb. 6. Einfluß der Stromdichte auf den Fraktionsdurchlaßgrad

Die vorliegenden Kurven verdeutlichen ein ausgeprägtes Maximum des Fraktionsdurchlaßgrades im Partikelgrößenbereich 1–3 μm , welches jedoch durch eine geeignete Fahrweise des Abscheiders bei geringen Gasgeschwindigkeiten und maximalen Strom-Spannungswerten signifikant beeinflusst werden kann.

Abb. 7 zeigt den Einfluß des Parameters Gasfeuchte auf den Fraktionsdurchlaßgrad. Experimentell nachgewiesen wurde, daß eine Taupunkterhöhung um 20–25 K einen wesentlich günstigeren Verlauf der Fraktionsdurchlaßkurve nach sich zieht, wobei zu berücksichtigen ist, daß bei geringeren Gasgeschwindigkeiten, die zur Vermeidung von Kondensationserscheinungen nicht gefahren werden konnten, wesentlich niedrigere Fraktionsdurchlaßgrade zu erwarten sind.

Die Meßreihen belegen die prinzipielle Möglichkeit, durch konditionierende Maßnahmen auch feinste Partikel effektiv abzuscheiden.



	v [m/s]	i [mA/m ²]	u [kV]	τ [°C]	h [mm]
..... ▽	1,35	0,10	19,4	10	325
- - - •	1,55	0,12	28,8	34	325
— — — •	1,37	0,12	26,4	33	325

Abb. 7
Einfluß der Gasfeuchte auf den Fraktionsdurchlaßgrad

Untersuchungen an der TH Leuna-Merseburg

Die Messungen erfolgten an einer halbertechnischen Versuchsanlage im Technikum der TH Leuna-Merseburg. Ein technologisches Schema der Anlage zeigt Abb. 8, die wichtigsten konstruktiven Größen sowie die variierten Einflußfaktoren enthält Tabelle 1.

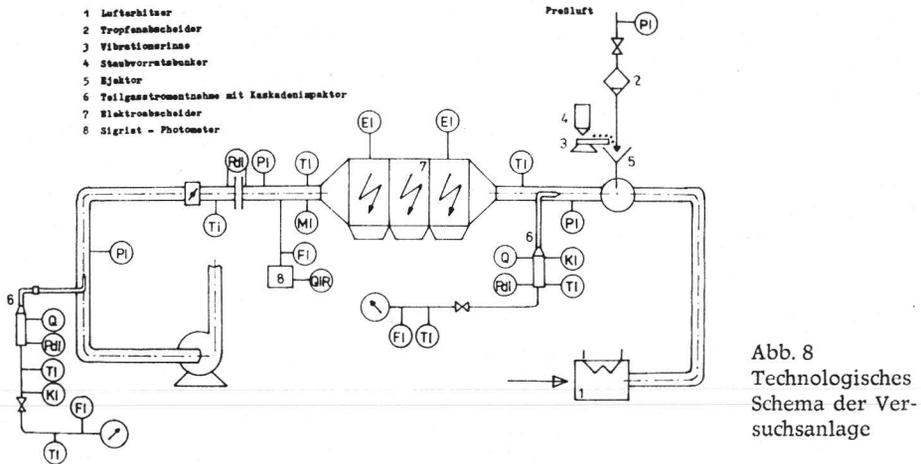
Der Schwerpunkt der durchgeführten Messungen lag auf der Ermittlung von Fraktionsabscheidecharakteristiken bei Veränderung des Gassenabstandes (Abstand zwischen zwei benachbarten Niederschlagselektroden).

Die Diskussion der Ergebnisse wird auf der Grundlage des eliminierten anlagen-spezifischen Anteils der mechanischen Abscheidung, d. h. basierend auf dem Anteil der rein elektrischen Abscheidung, durchgeführt.

$$q = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} q(d) \cdot t(d) dd = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} q_m(d) \cdot q_e(d) t(d) dd \tag{1}$$

$$\bar{q} \approx \sum q_i \cdot \Delta H_{3i} = \sum q_{mi} \cdot q_{ei} \cdot \Delta H_{3i} \tag{2}$$

$$q_{ei} = \frac{q_i}{q_{mi}} \tag{3}$$



Zur Darstellung der gekoppelten Wirkung verschiedener Parameter empfiehlt es sich, die ermittelten Ergebnisse über eine aggregierte Kenngröße aufzutragen:

$$Y = \frac{\sqrt{1/2 (1 + C_0 \cdot \Delta H_{3i})} i}{v} \quad (4)$$

Diese Kenngröße berücksichtigt durch den Ausdruck $C_0 \cdot \Delta H_{3i}$ den an dieser Versuchsanlage beobachteten großen Einfluß der anteilmäßigen Rohgasstaubkonzentration der einzelnen Fraktionen auf den Verlauf der Fraktionsabscheidecharakteristiken.

Gleichzeitig ermöglicht es diese Darstellungsweise, Änderungen der Korngrößenverteilung des zudosierten Staubes über unterschiedliche ΔH_{3i} -Werte im Sinne einer Minimierung der Streuung der Meßwerte um die Abscheidecharakteristik zu kompensieren.

Abb. 9 zeigt die mittels linearer Regression im halblogarithmischen Netz bestimmten Ausgleichsgeraden. Folgende Ergebnisse lassen sich ableiten:

- Die Fraktionsabscheidecharakteristiken des Gassenabstandes 700 zeigen insbesondere für die Partikelgrößen 0,5–4,6 μm den ungünstigsten Verlauf, wenngleich zu berücksichtigen ist, daß bei diesem Gassenabstand generell nur Y -Werte $< 0,5$ realisiert werden konnten, bedingt durch apparative Vorgaben der Versuchsanlage.
- Bis zu einer mittleren Partikelgröße von $d_p = 4,6 \mu\text{m}$ ($\cong d_{av} = 7,4 \mu\text{m}$) weisen die Verläufe der Fraktionsabscheidecharakteristiken des Gassenabstandes 450 den günstigsten Verlauf auf.
- Insbesondere im Partikelgrößenbereich $\leq 2,3 \mu\text{m}$ kann ein annähernd gleicher Verlauf der Fraktionsabscheidecharakteristiken der Gassenabstände 350 (industriell wird der GA 325 eingesetzt) und 450 nachgewiesen werden.
- Für größere Partikel $> 10 \mu\text{m}$ weist der Gassenabstand 515 den günstigsten Verlauf auf.

Entsprechend dem derzeitigen Kenntnisstand empfiehlt es sich, insbesondere zur Abscheidung von Feinstaub vergrößerte Gassenabstände einzusetzen, was erhebliche ökonomische Konsequenzen (Materialeinsparung) nach sich zieht. Zur effektiven Abscheidung von Stäuben mit hohem Anteil von Partikeln $> 10 \mu\text{m}$ ist ein bevorzugter Einsatz des GA 515 denkbar.

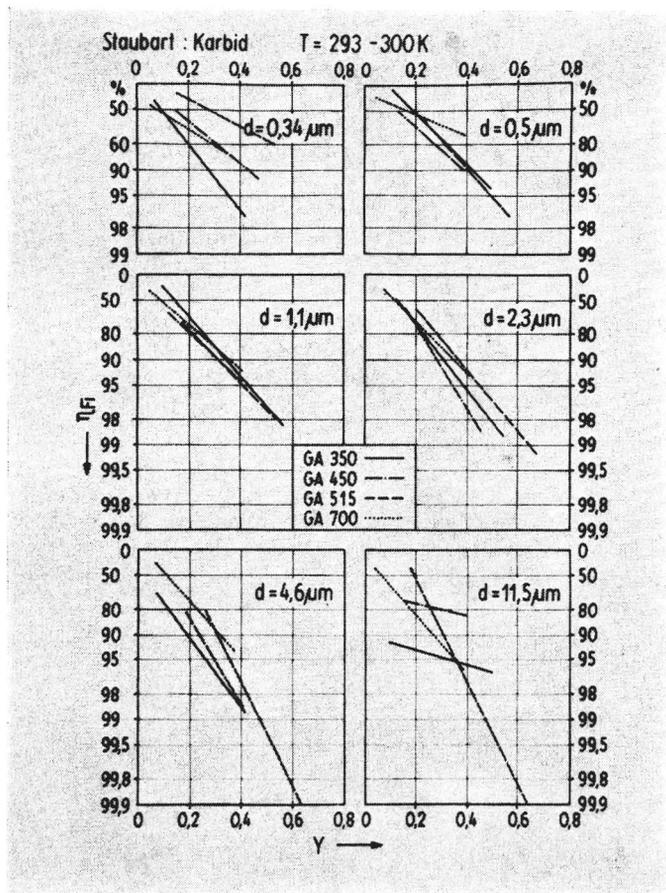


Abb. 9
 Regressionsgeraden
 der elektrischen
 Fraktionsabscheid-
 charakteristiken

Zusammenfassung

Der Einsatz von Elektroabscheidern zur Entstaubung industrieller Gase gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Mit steigenden Abscheidegraden tritt jedoch die Situation ein, daß überwiegend die die Gesundheit in starkem Maße beeinträchtigenden Partikelgrößen kleiner 10 µm emittiert werden. Zur Verbesserung der Abscheidung im Feinstaubbereich ist es notwendig, detaillierte Kenntnisse zum Verlauf der Trennkurve in Abhängigkeit verschiedener Parameter zu erlangen, um daraus gezielte Maßnahmen abzuleiten. In der Arbeit wird über experimentelle Untersuchungen an einer halbertechnischen Versuchsanlage im Technikum der TH Merseburg sowie an einem Kleinelektroabscheider im Zementwerk Bernburg berichtet.

Die Meßergebnisse belegen die Möglichkeit, die Feinstaubabscheidung in Elektroabscheidern durch eine geeignete apparative Gestaltung des Abscheiders sowie eine optimale Fahrweise bzw. zusätzliche Maßnahmen (z. B. Konditionierung) erheblich zu verbessern.

Symbolverzeichnis

C_0	Rohgaskonzentration in g/m^3	q_e	Durchlaßgrad bei rein elektrischer Abscheidung
d	Durchmesser in μm	q_m	Durchlaßgrad bei rein mechanischer Abscheidung
d_{ae}	aerodynamischer Durchmesser in μm	q_i, q_{Fi}	Fraktionsdurchlaßgrad der Klasse i
d_{max}	maximaler Partikeldurchmesser in μm	T	Temperatur in K
d_{min}	minimaler Partikeldurchmesser in μm	U	Spannung in kV
d_p	Partikeldurchmesser in μm	v	Gasgeschwindigkeit in m/s
$f(d)$	Korngrößenverteilungsfunktion	Y	aggregierte Kenngröße
h	Abstand Sprühelektrode – Niederschlagsselektrode in m	η	Abscheidegrad
i	Stromdichte in mA/m^2	η_{Fi}	Fraktionsabscheidegrad der Klasse i
I	inhalierbare Fraktion in $\%$	ΔH_{3i}	relativer Massenanteil der Klasse i
q	Durchlaßgrad	τ	Wassertaupunkt in $^\circ C$
\bar{q}	mittlerer Durchlaßgrad		

Schrifttum

- Gross, H.: Messungen des Fraktionsabscheidegrades von Elektroabscheidern mit Impaktoren. Staub-Reinhaltung der Luft **41** (1981) 12, 461–465.
- Güthner, G.: Amerikanische Untersuchungen zur Feinstaubabscheidetechnik. Berlin: Erich Schmidt Verlag 1978. Materialien 3/78.
- Ogden, T.: Size considerations for establishing a standard for inspirable dust. VDI-Berichte Nr. 429 (1982) 21–26.
- Wiedemann, R.: Untersuchungen an Kaskadenimpaktoren. Dissertation, TU München 1982.
- Petroll, J., und H. Födisch: Untersuchungen zur fraktionierten Abscheideleistung eines Pilot-elektroabscheiders. Luft- und Kältetechnik **21** (1985) 211–214.
- Petroll, J., and H. Födisch: Modelling of the collection of dust articles in platetype electrostatic precipitators. Part II Hybrid model. Chem. Ing. Process. **24** (1988) 113–118.

Dr. Ing. Holger Födisch
 Technische Hochschule „Carl Schorlemmer“
 Leuna-Merseburg
 Sektion Verfahrenstechnik
 Wissenschaftsbereich Umweltschutztechnik
 Otto-Nuschke-Straße
 Merseburg
 DDR - 4200