

vorliegenden Arbeit werden die funktionalen Abhängigkeiten zwischen dem Entwässerungsgrad und der Leistungsaufnahme sowie den physikalischen Kenngrößen des Steinkohlenskonzentrates und gewissen Schleuderkenngrößen untersucht.

### Nomenklatur

Formelzeichen	Bedeutung	Dimension
$A$	Fläche der Schnecke	$m^2$
$D$	Trommeldurchmesser	$m$
$D_0$	Durchmesser des Überlaufzylinders	$m$
$D_1$	Durchmesser des konischen Trommelteiles am Feststoffaustrag	$m$
$d_2$	Teilchendurchmesser	$m$
$C$	Konstante	—
$h$	Schneckensteigung	$m$
$L_1$	Länge des konischen Trommelteiles	$m$
$L_2$	Länge des zylindrischen Trommelteiles	$m$
$g$	Erdbeschleunigung	$m\ s^{-2}$
$P$	Leistung	$kg\ m\ s^{-1}$
$R_{sr}$	spezieller Radius	$m$
$r_h$	hydraulischer Radius	$m$

Formelzeichen	Bedeutung	Dimension
$W$	Feuchtigkeitsgehalt im Konzentrat	%
$W_n$	Durchsatz	$m^3\ h^{-1}$
$Z$	Beschleunigungsverhältnis	—
$\mu_n$	dynamische Viskosität der Zulauftrübe	$N\ s\ m^{-2}$
$\mu_c$	dynamische Viskosität des Mediums	$N\ s\ m^{-2}$
$\rho_c$	Dichte des Mediums	$kg\ m^{-3}$
$\rho_n$	Dichte der Zulauftrübe	$kg\ m^{-3}$
$\rho_{os}$	Dichte des Konzentrates	$kg\ m^{-3}$
$\rho_s$	Dichte des Teilchens	$kg\ m^{-3}$
$\omega_b$	Winkelgeschwindigkeit der Trommel	$s^{-1}$
$\omega_s$	Winkelgeschwindigkeit der Schnecke	$s^{-1}$
Dimensionslose Kennzahlen		
$Fr_{mod.}$	modifizierte Froude-Zahl	
$Re_{mod.}$	modifizierte Reynolds-Zahl	

### Literatur

[1] Finkelsztejn, G. A.: Шнековые осадительные центрифуги [Schneckenkondantierzentrifugen]. Verlag Goschimdat, Moskau 1952.

Eingegangen am 13. Januar 1972

CA 3032

TATJANA ADRIANOWNA MALINOWSKAJA, IGOR ALEXANDROWITSCH KOBRIKSKIJ und VALENTIN FEDOROWITSCH SCHEWTSCHENKO

## Filtration hochdisperser Suspensionen auf dynamischen Filtern<sup>1)</sup>

Mitteilung aus dem Institut „NIOPIK“ Moskau (Institutsdirektor: Prof. Dr. K. M. Dumaew)

Vorgetragen auf der 9. Diskussionstagung „Mechanische Flüssigkeitsabtrennung“, veranstaltet von der Sektion Apparate- und Anlagenbau der TH „Otto von Guericke“ Magdeburg gemeinsam mit dem FA (F) Mechanische Flüssigkeitsabtrennung der WS Verfahrenstechnik im FV Chemische Technik der KDT am 13. und 14. Oktober 1971 in Magdeburg

Bei der Filtration wird im allgemeinen ein großer Teil des Widerstandes durch den Filterkuchen hervorgerufen. Darum ist man bestrebt, die Ausbildung einer stationären Kuchenschicht zu verhindern.

Verschiedene Filterkonstruktionen für eine hochdisperse, schwerfiltrierbare Suspension organischer Pigmente und Farbstoffe wurden getestet. Es stellte sich heraus, daß ein dynamisches Filter und ein Zentrifugalfiltereindicker die beste spezifische Filterleistung hatten. Das dynamische Filter bestand aus einer Folge beweglicher und starrer Filter, die die Form von halben Diskusscheiben hatten. Das Zentrifugalfilter stellte einen sich in der Suspension drehenden vollen Zylinder dar. Beide Filter besitzen in der Suspension rotierende Filterelemente, die im Filter komplizierte hydrodynamische Vorgänge hervorrufen, wobei folgende Ursachen vorliegen:

1. Ähnlich wie bei den Rührmaschinen wird bei diesen Filtern eine sogenannte Trichterbildung beobachtet.
2. Auf das Filtrat in den rotierenden Elementen wirkt die der Filtration entgegengesetzte Zentrifugalkraft.

Der Druck, der durch diese Kraft auf die andere Seite

der Filterschicht ausgeübt wird, wird als zentrifugaler Gegendruck bezeichnet.

Druckmessungen am dynamischen Filter stimmten mit der berechneten Kurve zufriedenstellend überein; es gilt:

$$P = \frac{\omega^2 \rho}{2} r^2 \quad (1)$$

Der Gegendruck ändert sich aber entlang des Radius des diskusförmigen Elementes  $L$ , und wenn man für die Filteroberfläche  $S = \pi (R_2^2 - R_1^2)$  schreibt, verringert sich die Filtrationsgeschwindigkeit so, als ob sich die Scheibe unter vermindertem Druck befinden würde, und es folgt:

$$P_{äqu} = \frac{\omega^2 \rho}{2} (R_2^2 - R_1^2) \quad (2)$$

Bild 1 zeigt den äquivalenten Gegendruck in Abhängigkeit von der Wellendrehzahl. Die gute Übereinstimmung der berechneten Kurve mit den gemessenen Werten ist offensichtlich.

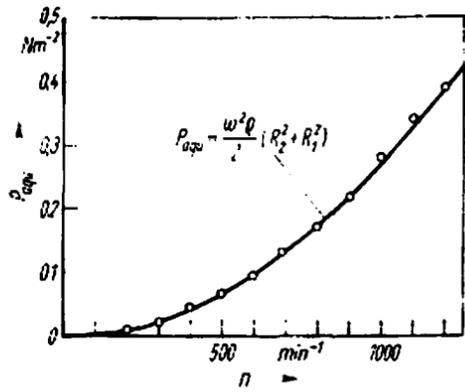
Untersucht wurden ebenfalls der Einfluß der Winkelgeschwindigkeit des Filterelements und der Einfluß des Druckabfalls auf die Filtrationsgeschwindigkeit.

Die Art der Filtration hängt bei den untersuchten Filtern in vielem von den Gleichgewichtsbedingungen des festen Teilchens an der Oberfläche des Filtermediums ab. Für ein Teilchen auf der oberen Fläche des drehenden „Diskus“ kann folgende Gleichgewichtsbedingung angegeben werden:

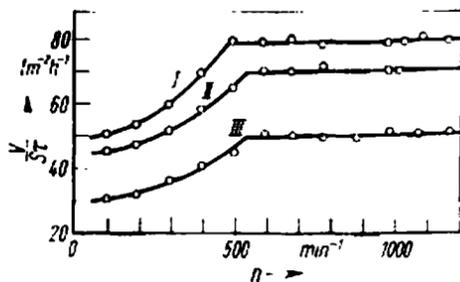
$$\sqrt{F_v^2 + (F_c + F_{vr})^2} = f (G - A + F_w + F_m) \quad (3)$$

<sup>1)</sup> Informationsartikel im Depotsystem

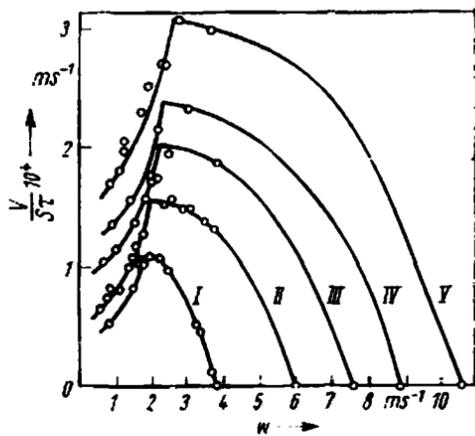
Den vollständigen Artikel im Umfang von 9 Manuskriptseiten, 10 Bildern, 2 Tafeln und 44 Literaturzitate erhalten Interessenten gegen eine Schutzgebühr von der Zentralstelle für Information der chemischen Industrie, 1197 Berlin-Johannisthal, Straße am Flugplatz 6, bei der das Depot für nicht vollständig veröffentlichte Beiträge geführt wird (s. auch Chem. Techn. 23 [1971] 320). Besteller außerhalb der DDR werden gebeten, ihre Bestellung über den zuständigen Buchhandel ihres Landes aufzugeben. Bitte versehen Sie ihre Bestellung mit dem Kennwort „Depotsystem“ und der Registrierungsnummer 32/72.



**Bild 1**  
Berechneter und gemessener äquivalenter Gegendruck in Abhängigkeit von der Drehzahl  
— berechnet, O gemessen



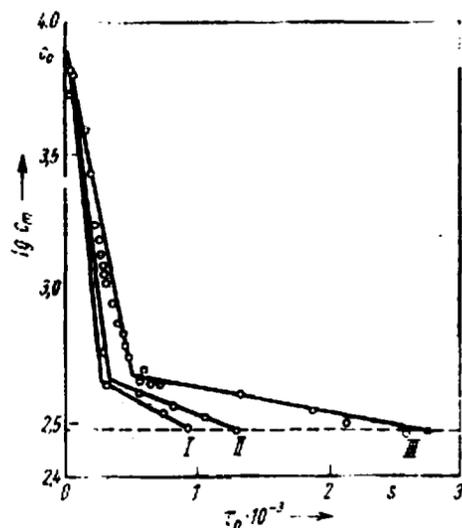
**Bild 2**  
Filtrationsgeschwindigkeit eines dynamischen Filters (mit beweglichem und unbeweglichem Filterelement — Diskusscheibe —) in Abhängigkeit von der Drehzahl für Suspensionen von Polymethylmetacrylat bei verschiedenen Konzentrationen  $c$ : I 150 g/l, II 200 g/l, III 300 g/l



**Bild 3**  
Filtrationsgeschwindigkeit eines Zentrifugalfilters in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bei verschiedenen Druckbereichen  $P$ : I 136 mm WS, II 272 mm WS, III 408 mm WS, IV 544 mm WS, V 680 mm WS

Da sich die radiale Strömung der Suspension an der unteren Diskusfläche genau entgegengesetzt zur oberen bewegt, unterscheidet sich der Wurzeläusdruck hierfür nur durch ein Minuszeichen vor der Klammer. Mit dieser Gleichung kann zwar nicht die Abtragung des Kuchens bestimmt werden, aber eine Abschätzung der wirkenden Kräfte ist möglich.  $F_v$ ,  $F_m$  und  $F_c$  sind dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit proportional, während  $F_w$  und  $F_{vr}$  durch Parameter der Filtration bestimmt sind.  $G-A$  gibt die Differenz der Dichten an, während  $f$  durch die Unebenheiten des Filtermediums und beim Übergang eines Teilchens in die Schicht durch die rheologischen Eigenschaften beeinflusst wird.

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 2 und 3 skizziert. Aus den erhaltenen Kurven sind zwei Gebiete zu unterscheiden:



**Bild 4**  
Konzentration von gelöstem Industriestaub in Abhängigkeit von der Waschlauer bei verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten  $w$ : I 7,54 m/s, II 4,62 m/s, III 2,85 m/s

- ein Gebiet mit sich ständig verringernder Kuchendicke (aufsteigender Ast bei Vergrößerung der Drehgeschwindigkeit)
- ein Gebiet der kuchenlosen Filtration

Die Knickpunkte der Kurven kennzeichnen den Punkt der vollständigen Entfernung des Kuchens vom Filtermedium. Die Filtrationsgeschwindigkeit wächst mit Verringerung der Kuchendicke und erreicht das Maximum bei  $h_{Ku} = 0$ . Bei erhöhter Druckdifferenz nimmt das Maximum der Filtrationsgeschwindigkeit (Bild 3) zu und ist durch größere Werte der Umgebungsgeschwindigkeit charakterisiert.

Die Filtrationsgeschwindigkeit nimmt mit steigendem Druck an dynamischen Filtern in größerem Maße zu, als dies bei der Flüssigkeitsabtrennung mit Kuchenbildung der Fall ist. Diese Erscheinung ist durch die Kompressibilität der stationären Kuchenschicht zu erklären und erlaubt es, den Trennungsprozeß bei hochdispersen Suspensionen, die kompressible Kuchen bilden, an dynamischen Filtern durch Erhöhung der Druckdifferenz zu intensivieren.

Der Waschprozeß bei einem Kochsalzkuchen wurde an einem dynamischen Zentrifugalfilter und an einem Laborvakuumfilter mit einer Kuchendicke von 0,01 m untersucht. Das Waschen erfolgt durch konvektive Austreibung sehr intensiv mit starker Konzentrationsverringerung des auszuwaschenden Stoffes. Dies bewirkt die Turbulenz der Strömung, die außerdem zerstörend auf den Filtratfilm — der unbeweglich in der stationären Schicht des Kuchens verbleibt — und auf Aggregate im Kuchen wirkt, so daß zusätzliche Salzmen gen ausgeschieden werden. Die Diffusionsprozesse werden wesentlich verkürzt, da eine rasche Zuführung reiner Flüssigkeit an die Oberfläche des unbewegten Films erreicht wird.

Im Bild 4 sind die Ergebnisse des Waschprozesses in halblogarithmischen Koordinaten dargestellt, und beide bestimmenden Prozesse sind durch Geraden charakterisiert, so daß eine exponentielle Funktion angenommen werden kann. Schreibt man für die Konvektion

$$c_m = c_0 10^{-n' \tau'}$$

und für die Diffusion

$$c_m = c' 10^{-n'' \tau''}$$

so folgt:

$$\tau_n' = 1/n' \lg c_0/c_m$$

und

$$\tau_n'' = 1/n'' \lg c'/c_m$$

wobei

$$\tau_n = \tau_n' + \tau_n''$$

die gesamte Filterzeit ergibt.

Weiterhin ist ersichtlich, daß die Effektivität steigt, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Filtermediums erhöht wird.

### Zusammenfassung

Bei hochdispersen Suspensionen kann der Widerstand des Filterkuchens sehr große Werte annehmen. Die dynamischen Filterapparate bewirken jedoch durch ein mechanisches Zerstören des Filtratfilms, daß die Filtrationsgeschwindigkeit mit steigendem Druck größer wird als dies allgemein bei der Flüssigkeitsfiltration mit Kuchenbildung der Fall ist. Aufgenommene Meßwerte bestätigen dies eindeutig. Die auftretenden Kräfte werden kurz erläutert. Der Vergleich der Waschprozesse

zeigt, daß der Wasserverbrauch an einem Zentrifugal-  
filter 2,5 bis 3mal geringer ist als an einem Labordruck-  
filter, während die Leistung 3mal höher liegt.

### Nomenklatur

Formel- zeichen	Bedeutung	Maßeinheit
<i>A</i>	Auftrieb eines Teilchens	kp
<i>c</i>	Konzentration des gelösten Stoffes	g l <sup>-1</sup>
<i>F</i>	Teilchenkraft	kp
<i>f</i>	Reibungskoeffizient	—
<i>G</i>	Gewicht des Teilchens	kp
<i>n'</i>	Konstante für die Waschgeschwindigkeit der Konvektion	—
<i>n''</i>	Konstante für die Waschgeschwindigkeit der Diffusion	—
<i>P</i>	Druck	N m
<i>R<sub>i</sub></i>	Innenradius der diskusförmigen Filterfläche	m <sup>-2</sup>
<i>r</i>	veränderlicher Radius (maximal <i>R<sub>2</sub></i> )	m
<i>S</i>	Filteroberfläche	m <sup>2</sup>

Formel- zeichen	Bedeutung	Maßeinheit
<i>w</i>	Umfangsgeschwindigkeit des Filterelements	m s <sup>-1</sup>
<i>τ<sub>n</sub></i>	Waschdauer	s
<i>ω</i>	Winkelgeschwindigkeit	s <sup>-1</sup>
<i>ρ</i>	Dichte	kg m <sup>-3</sup>
<i>Indices</i>		
1	bezogen auf den Innenradius	
2	äußerer Radius der Scheibe	
Δ	Differenz	
äqu	äquivalent	
<i>c</i>	auf die Fliehkraft bezogen	
<i>f</i>	Reibung	
Ku	Kuchen	
<i>m</i>	mittlerer Wert	
<i>o</i>	Anfangswert	
W	Stirnwiderstand	
<i>rr</i>	radialer Widerstand	
<i>v</i>	tangentialer Widerstand	

Eingegangen am 6. Januar 1972

CA 3021

ERHARD KLOSE und WALTER TOUFAR

## Vergleichende Berechnungen der Zähigkeit von Gasgemischen

Mitteilung aus der Bergakademie Freiberg, Sektion Verfahrenstechnik und Silikattechnik, Bereich Reaktionstechnik und Brennstofftechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Rademacher)

Es ist seit langem bekannt, daß die Zähigkeit von Gasgemischen — besonders, wenn es sich um H<sub>2</sub>-haltige Gase handelt — nicht nach der Mischungsgleichung berechnet werden kann. Deshalb bemüht man sich etwa seit dem Jahre 1930, diesem Umstand Rechnung tragend, entsprechende Beziehungen zu finden. Nach ersten Versuchen von *Biel* [1], einen Zusammenhang zwischen der kinematischen Zähigkeit und der Dichte von Gasgemischen herzustellen, gab *Mann* [2] an, daß die nach der reziproken Mischungsregel

$$\frac{1}{\nu_{\text{Gem}}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{r_i}{\nu_i} \quad (1)$$

berechneten Werte von denjenigen, die nach der einfachen Mischungsregel bestimmt werden, stark abweichen (es sind Beispiele für Gase mit H<sub>2</sub>-Anteilen zwischen 30 und 50% angeführt), konnte aber noch keine Angaben über die Bedeutung der Aussage machen. *Zipperer* hat in Zusammenarbeit mit *Müller* [3] und *Herning* [4] mehrere Ansätze veröffentlicht, von denen der eine [4] in seiner allgemeinsten Form sehr bekannt geworden ist:

$$\eta_{\text{Gem}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} r_i \sqrt{M_i T_{kr_i}} \cdot \eta_i}{\sum_{i=1}^{i=n} r_i \sqrt{M_i T_{kr_i}}} \quad (2)$$

*Rammler* und *Breitling* [5] haben zur Rationalisierung der Rechenarbeit Zahlentafeln für die wichtigsten Gasbestandteile aufgestellt.

Bereits von den genannten Autoren konnte gute Übereinstimmung zwischen Meßwerten an speziellen Gasgemischen und den nach den genannten Beziehungen errechneten Werten nachgewiesen werden, doch fehlten

zum damaligen Zeitpunkt zur Gegenüberstellung mit den empirischen Gleichungen solche, die auf einer exakten wissenschaftlichen Grundlage beruhen. Hierzu sind in neuerer Zeit Arbeiten durchgeführt worden, die — von der kinetischen Gastheorie ausgehend — zu sehr komplizierten Ausdrücken gelangen. Während die Methode von *Hirschfelder, Curtiss* und *Bird* [6] so kompliziert ist, daß sie auch bei Verwendung elektronischer Rechenanlagen kaum praktikabel erscheint, hat sich die von *Bromley* und *Wilke* [7] unter etwas vereinfachten Bedingungen aufgestellte Beziehung recht gut eingeführt:

$$\eta_{\text{Gem}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\eta_i}{1 + x_i \sum_{k=1}^{k=n} x_k \Phi_{i,k}} \quad (3)$$

Dabei ist

$$\Phi_{i,k} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\eta_i}{\eta_k} \right)^2 \cdot \left( \frac{M_k}{M_i} \right)^2 \right]}{2 \sqrt{2} \left( 1 + \frac{M_i}{M_k} \right)^2} \quad (4)$$

Diese Gleichung gestattet die Berechnung der Zähigkeit eines Gasgemisches lediglich aus den Molanteilen, Molmassen und Zähigkeitswerten der Einzelgase. *Amdur* und *Mason* [8] verglichen Meßergebnisse an einer He-Ar-Mischung im Temperaturbereich zwischen 1000 und 15000 °K mit nach Gleichung (3) berechneten Werten. Es ergaben sich Abweichungen von maximal 4%.

Die Gleichungen (3) und (4) sind bei mehr als zwei Komponenten zweckmäßigerweise und spätestens ab vier