

setzung dabei ist, dass der Faseranteil im ausgetragenen Feststoff nicht stört.

Eine überlagerte Scherung hatte sowohl bei ungeflockten als auch bei geflockten mineralischen Suspensionen eine z. T. beträchtliche Verbesserung der Kompression zur Folge. Die Kompressionskinetik wurde beschleunigt und die Sedimentporositäten verringerten sich. Bei geflockten Sedimenten wurde durch die Zerstörung voluminöser Flocken das darin gebundene Wasser freigesetzt. Insbesondere bei Zentrifugationszeiten im Minutenbereich, was den Feststoffverweilzeiten in Dekantierzentrifugen entspricht, wurden maximale relative Kompressionsverbesserungen beobachtet. Mit steigendem Anteil an Hefezellen wurde der Effekt geringer und war bei reinen Hefesuspensionen aufgehoben bzw. wirkte sich gegenteilig aus. Dies zeigt, dass ebenso wie bei der Faserzugabe eine starke Abhängigkeit der Wirkung von den Eigenschaften der suspendierten Partikel besteht.

In Dekantierzentrifugen erfolgt die Scherung des Sediments in gewissem Maße schon durch die Schnecke. Variationen der Schneckengeometrie oder der Einsatz zusätzlicher Schereinbauten zwecks Erhöhung des Scherenergieeintrags wurden bereits patentiert [5, 6] und werden teilweise industriell eingesetzt.

Eingegangen am 4. Juli 2003 [K 3260]

### Formelzeichen

$C$	[-]	Vielfaches der Erdbeschleunigung
$c_v$	[-]	Volumenkonzentration
$E$	[m <sup>3</sup> /kg]	spez. Eindickung, Kehrwert der Sedimentdichte
$h$	[m]	Sedimenthöhe
$t_z$	[s]	Zentrifugationszeit

### Literatur

- [1] H. Riemenschneider, Entfeuchten durch Pressen, *Dissertation*, Universität Stuttgart **1983**.
- [2] W. Flory, Zur Entwicklung der Scherzentrifuge – Ein Beitrag zur Schlamm-entfeuchtung, *Dissertation*, Universität Karlsruhe (TH) **1989**.
- [3] W. Stahl, H. Reinach, Verbesserte Schlamm-entfeuchtung aufgrund gezielter Sediment-beeinflussung in Vollmantelzentrifugen, *Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 02WS88340*, Institut MVM, Universität Karlsruhe (TH) **1992**.
- [4] Q. Z. Zhu, Eindickung hochkonzentrierter Suspensionen im Hyperkonzentrator, *Dissertation*, Universität Karlsruhe (TH) **1997**.
- [5] *Patent*: FR 2 546 419 A1, **1984**.
- [6] *Patent*: EP 0 868 217 B1, **1996**.

## Einfluss des Partikelkollektives auf die Filterkuchenbildung und -entfeuchtung

HARALD ANLAUF\* UND JOSÉ ANGEL SORRENTINO

Herrn Prof. Dr.-Ing. WERNER STAHL zum 65. Geburtstag

### 1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit stellt das Ergebnis einer mehrjährigen Forschungskoooperation des Laboratorio Separaciones Mecánicas in Caracas und des Institutes für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik in Karlsruhe dar.

Das Ziel der hauptsächlich in Caracas ausgeführten Arbeiten [1] war die Gewinnung eines verbesserten quantitativen Verständnisses für die Wechselwirkungen zwischen den Eigenschaften von Partikelkollektiven und damit ihren Filtrationseigenschaften. Daraus abgeleitet sollte eine praktisch handhabbare Methode zur Vorhersage von Filtrationsergebnissen bei einer Veränderung der Partikeleigenschaften entwickelt werden. Als Partikeleigenschaften sollen hier die Partikelgrößenverteilung und die Partikelform verstanden werden.

Ausgangssituation war die für den Verfahrensingenieur sehr unbefriedigende Situation, keine verlässlichen Aussagen über die Auswirkungen von Änderungen der Partikeleigenschaften im Zulauf eines Trenngerätes machen zu können. Informationen über die Partikelgröße und gegebenenfalls -form dienen auch heute noch meist nur zur Charakterisierung der zu trennenden Suspension und werden nicht direkt zur Abschätzung von Trennergebnissen verwendet.

Änderungen der Partikeleigenschaften im Zulauf eines Trenngerätes können durch Schwankungen in der Zusammensetzung eines natürlichen Ausgangsproduktes oder durch den Betrieb von vorgeschalteten Prozessschritten verursacht werden. Als Vorstufen kommen hier im Wesentlichen Verfahren zur Herstellung der abzutrennenden Partikel in Frage, wie etwa eine Kristallisation oder Fällung, eine Agglomeration oder Zerkleinerung, und Verfahren zur Aufkonzentrierung einer zunächst sehr verdünnt vorliegenden Suspension.

Neben unmittelbar praktischen Aspekten für den Betrieb des Trennapparates stellt die Quantifizierung des Partikeleinflusses auf das Ergebnis des Trennschrittes einen wichtigen Baustein für die noch in den Anfängen befindliche rechnerische Simulation von komplexen Feststoffverfahrensprozessen dar.

\* Dr.-Ing. H. ANLAUF (E-mail: harald.anlauf@mvm.uni-karlsruhe.de), Universität Karlsruhe (TH), Institut für MVM, D-76128 Karlsruhe, Germany; Prof. Dr.-Ing. J. A. SORRENTINO, Universidad Central de Venezuela, Laboratorio Separaciones Mecánicas, Apartado 17278, Caracas 1015-A, Venezuela.

Abbildung 1.  
Mahlkreislauf mit Klassierung, Eindickung und Filtration.

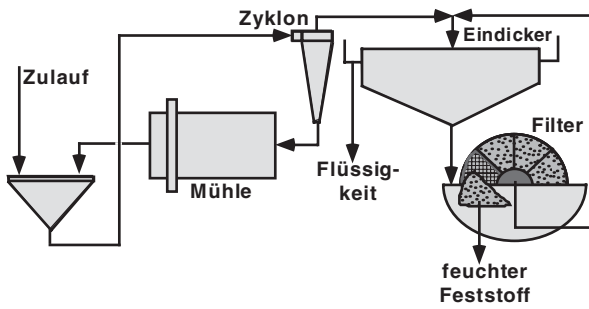


Abb. 1 verdeutlicht diese Zusammenhänge am Beispiel eines Mahlkreislaufes mit nachgeschalteter Aufkonzentrierung und Filtration. Ein vorzerkleinerter partikulärer Feststoff wird als Suspension mit dem Mühlenauslauf vereinigt und mittels Hydrozyklon klassiert. Das noch unzureichend zerleinerte und hochkonzentrierte Grobkorn aus dem Unterlauf des Hydrozyklons wird zur Mühle zurückgeführt.

Der verdünnt vorliegende Überlauf des Zyklons mit dem ausreichend zerleinerten Gut wird nach einer Schwerkrafteindickung einem Filter zugeführt. Das nicht partikelfreie Filtrat wird zur Feststoffrückgewinnung in den Eindicker zurückgeleitet.

Wie in Abb. 1 angedeutet, hat sich die vorliegende Arbeit zunächst auf das Gebiet der Kuchenfiltration mit Gasdifferenzdruck konzentriert und ist somit auf näherungsweise inkompressible Filterkuchen beschränkt. Auch eine Variation der physikochemischen Verhältnisse und daraus resultierende Stabilisierungs- bzw. Destabilisierungseffekte in der Suspension wurden nicht betrachtet.

Zielfunktionen zur Lösung der Problemstellung sind die Filterkuchenbildungs- und die -entfeuchtungskinetik. Für diese Funktionen existieren für unverändert bleibende Feststoffe bereits ausgereifte Methoden zur rechnerischen Beschreibung und waren daher nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Schlüsselgrößen, in denen sich die Partikeleigenschaften verbergen und die demzufolge zentrale Bedeutung für die hier vorliegende Arbeit besaßen, sind die Permeabilität und die Porosität des Filterkuchens sowie seine Kapillardruckverteilung.

Bezüglich des Partikeleinflusses auf die Filterkucheneigenschaften stellte sich im ersten Schritt die Frage nach der Messmethode zur Ermittlung einer für die hier angestrebten Ziele relevanten Partikelgrößenverteilung. Im zweiten Schritt war zu klären, wieviele Parameter für eine Partikelverteilung erforderlich sind, um aussagefähige Ergebnisse für die Filtrationseigenschaften zu erhalten. Mittelwert, Standardabweichung, Symmetrie der Partikelgrößenverteilung und die Partikelform mussten also unabhängig voneinander untersucht werden.

## 2 Mittel und Methoden

Für die Untersuchungen wurden Kalkstein-, Magnesit-, Aluminiumhydrat- und Glaskugelfractionen mit mittleren

Partikeldurchmessern im Bereich von ca.  $x_{50} = 5 - 200 \mu\text{m}$  und breit variierenden geometrischen Standardabweichungen bis ca.  $\sigma_{g,3} = 2,5$  eingesetzt.

Um die Gestalt der Partikelgrößenverteilung gezielt vorgeben zu können, wurden durch aufwändige Klassierung mittels Siebung und Sichtung in einem weiten Partikelgrößenbereich zunächst sehr enge Fraktionen hergestellt. In einem zweiten Schritt wurden diese entsprechend einer Vorgabe von Lage- und Streuungsparameter der gewünschten Verteilung wieder anteilmäßig zusammengemischt.

Für die Partikelgrößenanalyse kamen zur Ermittlung unterschiedlicher Partikeläquivalentdurchmesser Elektrozone, Laserbeugung, Bildanalyse und Kleinwinkelphotometer zur Anwendung.

Die Filterversuche wurden mittels einer Labordruckfilterapparatur vom Typ „Filtratest“ (BOKELA GMBH, Karlsruhe) mit  $20 \text{ cm}^2$  Filterfläche ausgeführt, die den Anforderungen der VDI-Richtlinie 2762 entspricht. In dieser Apparatur können Druckdifferenzen bis zu  $\Delta p = 0,4 \text{ MPa}$  und Kuchenhöhen bis zu  $h_K = 25 \text{ mm}$  realisiert werden.

## 3 Messung der relevanten Partikeleigenschaften

Die Untersuchung verschiedener Partikelgrößenverteilungen erfordert neben einer Berücksichtigung der Partikelform die Definition eines Lageparameters zur Beschreibung einer repräsentativen mittleren Partikelgröße und die Festlegung eines Streuungsparameters zur Beschreibung der Verteilungsbreite.

Als Schlüsselparameter zur Beschreibung einer repräsentativen Partikelgröße erwies sich der als Sauter-Durchmesser  $x_{SV}$  bekannte Durchmesser eines Partikels, dessen volumenspezifische Oberfläche derjenigen des gesamten Partikelkollektives entspricht.

Entscheidend für eine sinnvolle Verwendung dieses Wertes in den entsprechenden Berechnungsmodellen ist die korrekte Bestimmung seines Betrages.

Die verschiedenen Geräte zur Partikelgrößenanalyse ermitteln bei Verwendung unterschiedlicher Mengenerfassung der Partikelfractionen dem jeweiligen physikalischen Messprinzip äquivalente Kugeldurchmesser.

Der vom jeweiligen Messgerät (Index „i“) abhängige Sauter-Durchmesser  $D_{3,2,i}$  wird dann aus den entsprechenden Momenten der Partikelgrößenverteilung ohne Information über die Partikelform gemäß Gl. (1) berechnet<sup>1)</sup>:

$$D_{3,2,i} = \frac{\int_0^\infty x_i^3 q_0(x_i) dx_i}{\int_0^\infty x_i^2 q_0(x_i) dx_i} = \frac{\int_0^\infty x_i q_2(x_i) dx_i}{\int_0^\infty \frac{1}{x_i} q_3(x_i) dx_i} \quad (1)$$

Die Korrelation zwischen dem tatsächlichen Sauter-Durchmesser  $x_{SV}$  und dem Wert  $D_{3,2,i}$  ergibt sich nach

1) Eine Zusammenstellung der Formelzeichen befindet sich am Schluss des Beitrags.

Gl. (2) durch die Einführung eines speziellen Formfaktors  $\psi_{SV,i}$ .

Wie weiter unten noch gezeigt werden wird, kann der jeweils für Partikel und Messmethode gültige Formfaktor  $\psi_{SV,i}$  aus einfachen Durchströmungsexperimenten von Filterkuchen bestimmt werden.

$$x_{SV} = \psi_{SV,i} D_{3,2,i} \quad (2)$$

Für die praktische Anwendung folgt, dass jedes Partikelgrößenmessverfahren zur Bestimmung des Sauter-Durchmessers verwendet werden kann. Dies ist insbesondere für den Einsatz schneller Verfahren, wie der Laserbeugung interessant.

Als Streuungsparameter zur Charakterisierung der Verteilungsbreite der untersuchten Partikelkollektive wurde die geometrisch gewichtete Standardabweichung der Partikelvolumenverteilung  $\sigma_{g,3}$  entsprechend Gl. (3) gewählt:

$$\ln(\sigma_{g,3}) = \sqrt{\int_0^{\infty} \left\{ \ln \frac{x}{\bar{x}_{g,3}} \right\}^2 q_3(x) dx} \quad (3)$$

Diese Größe ist dimensionslos und eignet sich sehr gut zum Vergleich von Verteilungsbreiten unterschiedlicher Fraktionen, weil die Breite relativ zum logarithmisch gewichteten Mittelwert angegeben wird.

#### 4 Einfluss der Partikeleigenschaften auf Kuchenpermeabilität und -porosität

Die sich in einer bestimmten Zeit  $t_1$  bildende Kuchenhöhe  $h_K$  eines homogenen und näherungsweise inkompressiblen Filterkuchens kann bei Vernachlässigung des Filtermediumwiderstandes und bei konstant anliegender Druckdifferenz  $\Delta p$  nach Gl. (4) berechnet werden:

$$h_K = \sqrt{\frac{2p_c \varepsilon \Delta p t_1}{\eta_L (1 - \varepsilon - c_v)}} \quad (4)$$

Das Partikelkollektiv beeinflusst die Struktur des Filterkuchens und damit seine spezifische Permeabilität  $p_c$  und seine Porosität  $\varepsilon$ .

Nach der Analyse verschiedener Konzepte zur Beschreibung der spez. Permeabilität wurde das in Gl. (5) beschriebene Modell von KOZENY-CARMAN für die weitere Arbeit gewählt:

$$p_c = \frac{1}{180} \frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon)^2} x_{SV}^2 = \frac{1}{C_{\varphi}(\varepsilon)} \eta_{SV,i} D_{3,2,i}^2 \quad (5)$$

Der neue Poren-Partikel-Formfaktor  $\eta_{SV,i}$  berücksichtigt nach Gl. (6) auf der Basis des Kozeny-Carman-Modelles neben den Aspekten der Partikelanalyse mit dem bereits in Gl. (2) definierten Formfaktor  $\psi_{SV,i}$  weitere partikelspezifische Einflüsse auf die Porenstruktur des Filterkuchens, die sich bei einer Abweichung vom Idealmodell parallel angeordneter zylindrischer Kapillaren ergeben:

$$\eta_{SV,i} = \frac{\psi_{SV,i}}{\lambda \beta} \quad (6)$$

Der Faktor  $\lambda$  erfasst die Tatsache, dass infolge des Partikelkontaktes im Filterkuchen nicht die gesamte Partikeloberfläche als Porenoberfläche zur Verfügung steht.

Der Faktor  $\beta$  korrigiert die als Tortuosität bezeichnete Abweichung des wirklichen Durchströmungsweges im Filterkuchen im Vergleich zur geraden zylindrischen Kapillare.

Diese differenzierte Betrachtungsweise ist aus Gründen der praktischen Anwendung sinnvoll, weil sich auch bei unverändert bleibendem Partikelsystem die Filterkuchenstruktur durch unterschiedliche Bedingungen bei der Filterkuchenbildung verändern kann.

Um nun die zu erwartende spez. Permeabilität von Filterkuchen in Abhängigkeit von den Partikeleigenschaften bestimmen zu können, werden die in Gl. (5) enthaltenen Filterkuchen- und Partikeleigenschaften gemäß Gl. (7) getrennt:

$$p_c C_{\varphi}(\varepsilon) = \eta_{SV,i}^2 D_{3,2,i}^2 \quad (7)$$

Die Ergebnisse einiger gezielt ausgewählter Filterexperimente werden dann entsprechend Abb. 2 mit den Resultaten der jeweiligen Partikelgrößenanalyse korreliert.

Im logarithmischen Netz ergibt sich für jedes Partikelsystem eine Gerade mit der Steigung 2, welche jeweils um den Faktor  $\eta_{SV,i}$  parallel zur Kozeny/Carman-Geraden verschoben ist. Die Glaskugelfraktionen liegen erwartungsgemäß sehr nahe an der Kozeny/Carman-Geraden.

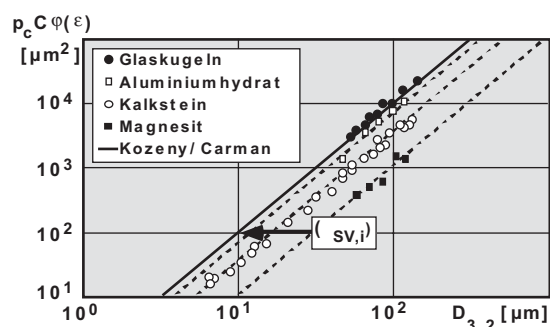
Die Zulässigkeit des Konzeptes zur Bestimmung des Formfaktors wurde unabhängig durch Partikelanalyse von Glaskugeln mit einem Kleinwinkelphotometer bestätigt. Er kann aus der photometrischen Messung der spezifischen Partikeloberfläche berechnet werden und entspricht den mit Gl. (7) ausgewerteten Ergebnissen.

Zur praktischen Nutzung der Zusammenhänge in Abb. 2 muss noch der Partikeleinfluss auf die Porosität  $\varepsilon$  explizit bekannt sein.

Die zu erwartende Porosität eines Filterkuchens kann auf der Basis eines von YU und STANDISH vorgeschlagenen Modelles mit sehr guter Genauigkeit, aber relativ hohem experimentellen Aufwand bestimmt werden. Die Ergebnisse gelten jeweils nur für eine konstant gehaltene Kuchenbildungsprozedur.

Grundgedanke ist hier, dass sich die Porosität einer Packung durch Überlagerung und Gewichtung des Beitrages jeder Partikelfraktion ergibt. Die Gewichtungs-

Abbildung 2. Korrelation von Filterkuchen- und Partikeleigenschaften.



funktion berücksichtigt dabei die Existenz von Wechselwirkungen zwischen den Partikeln. Diese Wechselwirkungen führen dazu, dass Partikel unterschiedlicher Größe nicht entsprechend ihres Volumenverhältnisses, sondern entsprechend eines sog. „Packungsverhältnisses“ zur Porosität beitragen.

Im ersten Schritt ist hierzu nach Gl. (8) die Porosität  $\epsilon_i$  monodisperser Packungen in Abhängigkeit von der Partikelgröße  $x_v$  und den Anpassungsparametern  $a$  und  $b$  zu bestimmen.

$$\frac{\epsilon_i - \epsilon_0}{1 - \epsilon_0} = \exp\{-ax_v^b\} \tag{8}$$

Zu größeren Partikeldurchmessern hin läuft die Porositätsfunktion gegen einen unteren Grenzwert  $\epsilon_0$ , der erreicht wird, wenn die interpartikulären Haftkräfte infolge dominierenden Partikelgewichtes vernachlässigbar werden.

In einem zweiten Schritt, der relativ viel experimentellen Aufwand erfordert, muss nach Gl. (9) ein Packungsparameter  $p$  ermittelt werden, der das Packungsverhältnis  $r_{ij}$  unterschiedlich großer Partikel  $x_i$  und  $x_j$  mit ihrem Volumengrößenverhältnis  $R_{ij}$  korreliert.

$$r_{ij} = (R_{ij})^p = \left[ \frac{x_i}{x_j} \right]^p \tag{9}$$

Zur Bestimmung von  $p$  müssen mehrere binäre Partikelfractionen in jeweils unterschiedlichen Mischungsverhältnissen untersucht werden.

Wenn für ein Partikelsystem und eine Filterkuchenbildungsprozedur die Parameter  $a$ ,  $b$ ,  $\epsilon_0$  und  $p$  bekannt sind, kann die Kuchenporosität für jede denkbare Partikelgrößenverteilung mit hoher Genauigkeit berechnet werden.

Bisherige Erfahrungen weisen eine Vorhersagegenauigkeit in den Grenzen von ca.  $\pm 5\%$  voraus, wie in

Abbildung 3. Vergleich berechneter und gemessener Filterkuchenporositäten.

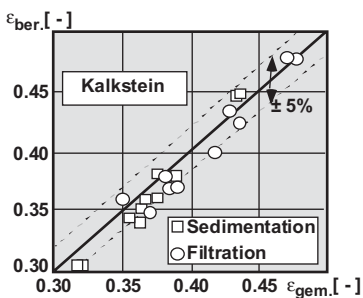


Abbildung 4. Abhängigkeit der Porosität von der Breite der Partikelgrößenverteilung.

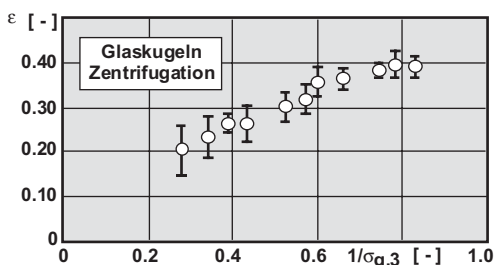


Abb. 3 am Beispiel von Kalksteinverteilungen zu erkennen ist. Die Filterkuchen wurden hier durch Sedimentation im Erdfeld oder bei anliegendem Gasdifferenzdruck gebildet.

Ein unter pragmatischen Gesichtspunkten weniger aufwändiges Verfahren zur Abschätzung der Filterkuchenporosität besteht in der Auftragung von Porositätsmesswerten verschiedener Filterkuchen über dem Kehrwert der geometrischen Standardabweichung  $\sigma_{g,3}$  ihrer Partikelgrößenverteilung.

Abb. 4 verdeutlicht dies am Beispiel von Ergebnissen aus Zentrifugenversuchen. Nach oben strebt die Kurve gegen einen Grenzwert für Monokorn. Nach unten hin sinkt die Porosität entsprechend der immer größeren Verteilungsbreite des Partikelkollektivs fortlaufend ab.

Nun sind alle notwendigen Informationen verfügbar, um das Ergebnis der Filterkuchenbildung unter der Voraussetzung einer bestimmten Prozedur der Kuchenbildung für eine beliebig veränderbare Partikelgrößenverteilung simulieren zu können.

### 5 Einfluss der Partikeleigenschaften auf die Kapillardruckverteilung

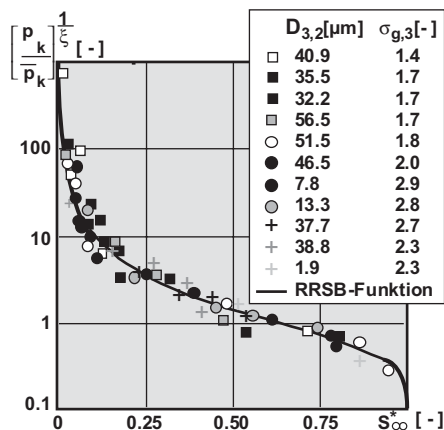
Der Abnahme des Sättigungsgrades  $S$  im Filterkuchen mit der Entfeuchtungszeit  $t_2$  kann nach Gl. (10) beschrieben werden:

$$\frac{S - S_\infty(\Delta p)}{1 - S_\infty(\Delta p)} = \left[ 1 + a \left\{ \frac{2p_c(\Delta p - \bar{p}_K)}{\epsilon \eta_L h_K^2 (1 - S_\infty(\Delta p))} t_2 \right\} \right]^b \tag{10}$$

Neben der Kuchenhöhe  $h_K$  und der Porosität  $\epsilon$  kommen hier als zusätzlich durch das Partikelkollektiv beeinflusste Größen der von der Druckdifferenz abhängige Gleichgewichtssättigungsgrad  $S_\infty(\Delta p)$  und ein mittlerer Kapillardruck  $\bar{p}_K$  hinzu.

Der Zusammenhang zwischen Kapillardruck und Gleichgewichtssättigung wird durch die Kapillardruckverteilung hergestellt und kann in allgemeiner Form gemäß Gl. (11) und Abb. 5 mit Hilfe der Rosin-Rammler-Sperling-Bennett- (RRSB-)Verteilungsfunktion deutlich besser als mit der üblicherweise verwendeten Potenzfunktion approximiert werden.

Abbildung 5. Generalisierte Darstellung der Kapillardruckverteilung.



$$S_{\infty}^* = \frac{S_{\infty}(\Delta p) - S_r}{1 - S_r} = 1 - \exp \left[ - \left\{ \frac{p_K}{\bar{p}_K} \right\}^{\xi} \right] \quad (11)$$

Die drei anzupassenden Parameter sind die mechanische Entfeuchtungsgrenze  $S_r$ , der Porengrößenverteilungsindex  $\xi$  und der mittlere Kapillardruck  $\bar{p}_K$ . Der mittlere Kapillardruck repräsentiert denjenigen Druck, bei dem noch 63 % der mechanisch verdrängbaren Flüssigkeit im Filterkuchen vorhanden sind.

Für die Vorhersage von Entfeuchtungsergebnissen ist nun auch hier die Abschätzung des Partikelgrößeneinflusses auf die drei maßgeblichen Parameter notwendig.

Für den Wert  $S_r$  wurde entsprechend Gl. (12) der folgende empirische Zusammenhang zum Sauter-Durchmesser gefunden:

$$S_r = \frac{1}{(1 + x_{sv})^b} \quad (12)$$

Der Porengrößenverteilungsindex kann mit der geometrischen Standardabweichung der Partikelverteilung nach Gl. (13) korreliert werden:

$$\xi = \text{aln}(\sigma_{g,3}) \quad (13)$$

Für den charakteristischen mittleren Kapillardruck scheint sich gemäß Gl. (14) eine Darstellung in der folgenden Form als geeignet zu erweisen:

$$\bar{p}_K = \frac{\left[ \frac{6 \cdot 1 - \varepsilon}{x_{sv} \cdot \varepsilon} \right]^b}{(1 - 0,5\xi + 0,5\xi^2)} \quad (14)$$

## 6 Schlussfolgerung

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein zusammenhängendes und praxisorientiertes Konzept für die Vorhersage und Simulation von Filterkuchenbildung und -entfeuchtung bei einer sich verändernden Zusammensetzung der aus einer Suspension abzutrennenden Partikel präsentiert.

Es werden Modellgleichungen formuliert, welche die Eigenschaften des Partikelkollektives mit denjenigen des Filterkuchens korrelieren.

Für die Berechnung werden ausgewählte experimentelle Daten von Proben eines Feststoffes mit unterschiedlicher Partikelgrößenverteilung benötigt. Hierzu muss ein Ausgangsmaterial in einem ersten Schritt fraktioniert werden.

Im Anschluss an eine Partikelgrößenanalyse der Proben sind Filtrationsexperimente nach einer immer gleichen und möglichst an der technischen Anwendung orientierten Vorschrift auszuführen.

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen müssen insbesondere die für die Entfeuchtung gefundenen Zusammenhänge noch weiter validiert werden, und es ist eine systematische Arbeitsvorschrift für den allgemeinen Gebrauch der Methode zu formulieren.

Eingegangen am 18. Juni 2003 [K 3248]

## Formelzeichen

$a, b$	[-]	Anpassungsgrößen
$c_v$	[-]	Feststoffvolumenkonzentration
$C$	[-]	Kozeny-Carman-Faktor
$D_{3,2,i}$	[ $\mu\text{m}$ ]	Sauter-Durchmesser aus Messung
$h_K$	[mm]	Filterkuchenhöhe
$p_c$	[ $\text{m}^{-2}$ ]	spez. Kuchenpermeabilität
$p$	[-]	Partikelpackungsparameter
$\bar{p}_K$	[Pa]	mittlerer Kapillardruck
$q_0, q_2, q_3$	[ $\mu\text{m}^{-1}$ ]	Anzahl-, Flächen-, Volumendichte- verteilung
$r_{i,j}$	[-]	Partikelpackungsverhältnis
$R_{i,j}$	[-]	Partikelvolumenverhältnis
$S$	[-]	Sättigungsgrad
$S_8$	[-]	Gleichgewichtssättigung
$S_r$	[-]	mechanische Entfeuchtungsgrenze
$t_1, t_2$	[s]	Kuchenbildungs-, -entfeuchtungs- zeit
$x$	[ $\mu\text{m}$ ]	Partikeldurchmesser
$x_v$	[ $\mu\text{m}$ ]	Partikelvolumenäquivalent- durchmesser
$x_{SV}$	[ $\mu\text{m}$ ]	wirklicher Sauter-Durchmesser
$\bar{x}_{g,3}$	[ $\mu\text{m}$ ]	geometrischer Mittelwert der Volumenverteilung
$\beta$	[-]	Verwindungsfaktor
$\Delta p$	[Pa]	Druckdifferenz
$\varepsilon$	[-]	Porosität
$\eta_L$	[Pa s]	dyn. Flüssigkeitsviskosität
$\lambda$	[-]	Minderungsfaktor der Poren- oberfläche
$\xi$	[-]	Porengrößenverteilungsindex
$\sigma_{g,3}$	[-]	geometrische Standardabweichung der Volumenverteilung
$\varphi(\varepsilon)$	[-]	Porositätsfunktion
$\psi_{SV,i}$	[-]	Formfaktor

## Literatur

- [1] J. A. Sorrentino, Advances in Correlating Filter Cake Properties with Particle Collective Characteristics, *Dissertation*, Universität Karlsruhe (TH) 2002, Shaker-Verlag, Aachen 2003.