

CONFERENCE DES RECTEURS ET
PRESIDENTS DES UNIVERSITES
DU RHIN SUPERIEUR

KONFERENZ DER REKTOREN UND
PRÄSIDENTEN DER OBERRHEINISCHEN
UNIVERSITÄTEN

32 (828)

Nur zum persönlichen Gebrauch
Vom Verfasser überreicht



Basel



Mulhouse



Freiburg



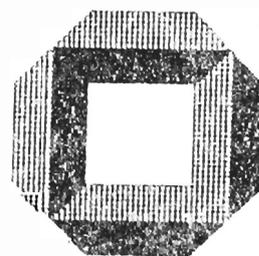
Strasbourg I



Strasbourg II



Strasbourg III



Karlsruhe

PREMIER COLLOQUE SCIENTIFIQUE
DES UNIVERSITES DU RHIN SUPERIEUR
"RECHERCHES SUR L'ENVIRONNEMENT
DANS LA REGION"

ERSTES GEMEINSAMES WISSENSCHAFTLICHES
KOLLOQUIUM DER OBERRHEINISCHEN
UNIVERSITÄTEN
"UMWELTFORSCHUNG IN DER REGION"

STRASBOURG, 27 - 28.6.1986

CONFERENCE DES RECTEURS ET
PRÉSIDENTS DES UNIVERSITÉS
DU RHIN SUPÉRIEUR

KONFERENZ DER REKTOREN UND
PRÄSIDENTEN DER OBERRHEINISCHEN
UNIVERSITÄTEN

8281

Nur zum persönlichen Gebrauch
Vom Verfasser überreicht



Basel



Mulhouse



Freiburg



Strasbourg I



Strasbourg II

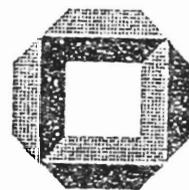
PREMIER COLLOQUE SCIENTIFIQUE
DES UNIVERSITÉS DU RHIN SUPÉRIEUR
"RECHERCHES SUR L'ENVIRONNEMENT
DANS LA RÉGION"

ERSTES GEMEINSAMES WISSENSCHAFTLICHES
KOLLOQUIUM DER OBERRHEINISCHEN
UNIVERSITÄTEN
"UMWELTFORSCHUNG IN DER REGION"

STRASBOURG, 27 - 28.6.1986



Strasbourg III



Karlsruhe

Ein Rechenmodell zur Beschreibung der Förderung pastöser
Stoffe in einer Dekantierzentrifuge

Dipl.-Ing. A. Karolis, Prof. Dr.-Ing. W. Stahl
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik
der Universität Karlsruhe (TH), D-7500 Karlsruhe 1

Bei der Verarbeitung feinstdisperser Suspensionen in Dekantierzentrifugen treten beim Transport des absedimentierten Feststoffs im konischen Teil der Maschine erhebliche Probleme auf. Der Schlamm läßt sich durch die Schnecke des Dekanters nicht oder nur bedingt fördern und so kommt es zu einem Feststoffrückstau, der sich bis in den zylindrischen Teil der Zentrifuge erstreckt und das Klärverhalten des Dekanters beeinträchtigt.

Es wurde ein Rechenmodell entwickelt, mit dem es möglich ist, in Abhängigkeit von der Maschinengeometrie, der BetriebsEinstellung und den rheologischen Eigenschaften des Sediments, Aussagen über die Förderfähigkeit bzw. über den möglichen Rückstau eines pastösen Stoffes in einer Dekantierzentrifuge zu treffen.

Ferner können Hinweise gegeben werden, wie die geometrischen Daten bzw. die Betriebsparameter zu wählen sind, um Ergebnisse aus Pilotversuchen auf Großmaschinen übertragen zu können.

Un modèle mathématique pour la description du mouvement de substances pâteuses dans une centrifugeuse de décantation

Des problèmes importants apparaissent lors du traitement des suspensions finement dispersées au cours du transport des matières solides sédimentées dans la partie conique de l'appareil. La boue a beaucoup de mal à passer par la vis sans fin du décanteur, il se produit une retenue de matières solides qui s'étend jusqu'à la partie conique de la centrifugeuse et qui limite ainsi la fonction de décantation de l'installation.

Un modèle mathématique a été mis au point à l'aide duquel il est possible de fournir des informations concernant la capacité de transport voire la possibilité de retenue de matières pâteuses dans une centrifugeuse à décantation en tenant compte de la géométrie des machines, des arrêts de fonctionnement et des caractéristiques rhéologiques des sédiments.

De plus, des conseils peuvent être donnés concernant le choix des caractéristiques géométriques voire des paramètres de fonctionnement pour permettre le transfert de résultats des essais pilotes sur des machines à grande échelle.

Ein Rechenmodell zur Beschreibung der Förderung pastöser Stoffe in einer Dekantierzentrifuge

Dipl.-Ing. Andreas Karolis und Prof. Dr.-Ing. Werner Stahl, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, D-7500 Karlsruhe 1

Bei der Verarbeitung feinstdisperser Suspensionen in Dekantierzentrifugen können beim Transport des absedimentierten Feststoffs im konischen Teil der Maschine erhebliche Probleme auftreten. Während grobkörnige Feststoffe mit hohem inneren Reibwert im allgemeinen problemlos von der Schnecke des Dekanters aus dem zylindrischen über den konischen Teil des Rotors gefördert und ausgetragen werden, kommt es bei Sedimenten mit pastöser, schlammartiger Konsistenz zu einem Rückstau. Solche Stoffe widersetzen sich der Hochförderung durch die Schnecke, sie fließen konusabwärts in den zylindrischen Teil der Zentrifuge zurück und beeinträchtigen damit das Klärverhalten des Dekanters. Das Sediment kann entgegen seiner Förderrichtung sowohl durch den Spalt zwischen Schneckenblatt und Konuswand als auch spiralig entlang des Schneckenkanals zurückfließen [1].

Für den Fall, daß das Sediment nur in spiralförmiger Richtung entlang des Schneckenkanals zurückfließen kann (bei fester Grundsicht), ist ein Rechenmodell entwickelt worden, mit dem es möglich ist, in Abhängigkeit von der Maschinengeometrie, der Betriebseinstellung und den rheologischen Eigenschaften der Paste Aussagen über die Förderfähigkeit bzw. über den möglichen Rückstau des Schlammes zu treffen. Die aus den Impulsgleichungen und dem rheologischen Reibungsansatz für nicht-Newton'sche Medien [2] hergeleitete Transportgleichung lautet:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{Zulauf}} &= \bar{\rho} \cdot (1-RF) \cdot 2\pi \cdot R \cdot h \cdot (G-b) \cdot n_{\text{Diff}} \cdot \cos^2 \alpha \\ &- (G-b) \cdot \cos \alpha \cdot \frac{n}{n+1} \cdot K^{-1/n} \cdot (4\pi^2 \cdot \bar{\rho} \cdot R \cdot n_H^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta)^{1/n} \\ &\cdot \left(\frac{dh}{dl} - \tan \beta \right)^{1/n} \cdot \left(- \frac{h-z_0}{\cos \delta} \right)^{\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{n+1}{2n+1} \right) + \left(\frac{z_0}{h-z_0} \right) \\ &+ \dot{m}_{\text{Zentrat}} \end{aligned} \quad (1)$$

(\dot{m}_{Zulauf} Feststoffmassenstrom im Zulauf, $\bar{\rho}$ mittlere Sedimentsdichte, RF Restfeuchte, R Radius, h Kuchenhöhe, G Ganghöhe, b Blattstärke, n_{Diff} Differenzdrehzahl, α Schneckensteigungswinkel, n Fließindex, K Fließkonstante, n_H Rotordrehzahl, β Konuswinkel, l Ortskoordinate parallel zur Drehachse der Zentrifuge, δ Verschneidungswinkel, z_0 ungescherter Anteil der Kuchenhöhe, \dot{m}_{Zentrat} Feststoffmassenstrom im Zentrat).

Bei Gl. (1) handelt es sich um eine gewöhnliche Differentialgleichung höherer Ordnung, die analytisch nicht lösbar ist. Bei der numerischen Vorgehensweise zur Berechnung des Rückstaprofils über die gesamte Dekanterlänge wird - ausgehend vom Austragsradius als Startpunkt - iterativ konusabwärts gerechnet. Abb. 1 zeigt ein berechnetes Rückstaprofil für eine Maschine bestimmter Geometrie und Betriebseinstellung.

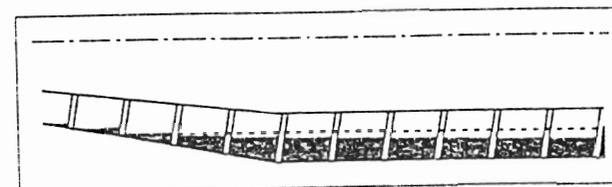
Es werden dabei zwei Begriffe eingeführt, mit denen die Funktionsfähigkeit des Dekanters besser beurteilt werden kann:

a) Nutzungsgrad NG: Er ist ein Maß für das noch zur Verfügung stehende Klärvolumen und wird wie folgt definiert:

$$NG = \left(1 - \frac{VS1}{VNIV} \right) \cdot 100 \% \quad (2)$$

wobei VNIV das Niveaувolumen und VS1 das Schlammvolumen ist, welches des Niveaувolumen verdrängt.

RÜCKSTAUPROFIL: BERECHNUNG
(Der Start erfolgt am Austragsradius)



Maschinentyp : A		Produkt : KÄOLIN	
Zylinderdurchmesser	$D_{\text{Zyl}} = 250 \text{ mm}$	Rotordrehzahl	$n_r = 3000 \text{ 1/min}$
Austragsdurchmesser	$D_{\text{Aus}} = 165 \text{ mm}$	Differenzdrehzahl	$n_{\text{Diff}} = 30 \text{ 1/min}$
Niveaудurchmesser	$D_{\text{Niv}} = 190 \text{ mm}$	Feststoffdurchsatz	$\dot{M}_s = 300 \text{ kg/h}$
Zylinderlänge	$L_{\text{Zyl}} = 340 \text{ mm}$	Restfeuchte	RF1 = 33,0 Gew-%
Konuswinkel	$\beta = 10 \text{ Grad}$		RF2 = 39,2 Gew-%
Ganghöhe	$G = 55 \text{ mm}$		RF3 = 48,0 Gew-%
Blattstärke	$b = 6 \text{ mm}$	Nutzungsgrad	NG = 19,2 %
Niveaувolumen	$V_{\text{Niv}} = 7,7 \text{ dm}^3$	Füllgrad	FG = 4,6

Abb. 1. Berechnetes Rückstaprofil

b) Füllgrad FG: Damit kann beurteilt werden, um welchen Faktor das Schlammvolumen im Dekanter gegenüber dem rückstaufreien Fall größer ist. Er ist ein Maß für die tatsächliche Verweilzeit des Sediments in der Maschine und ist definiert als das Verhältnis aus dem gesamten Schlammvolumen mit Rückstau (VS) bezogen auf das gesamte Schlammvolumen ohne Rückstau (VK):

$$FG = \frac{VS}{VK} \quad (3)$$

In der Abb. 1 ist RF1 die Restfeuchte am Feststoffaustrag, RF2 jene am Übergang Konus-Zylinder und RF3 die Restfeuchte am Zylinderende, wo die Suspension im Falle eines Gleichstromdekanters aufgegeben wird.

In dem oben gezeigten Beispiel zur Berechnung des Rückstaprofils (Abb. 1) kann man ersehen, daß nur 19,2 % des gesamten Niveaувolumens für die Klärung zur Verfügung stehen. Für dieses Beispiel würde sich der Feststoff 4,6 mal länger in der Zentrifuge aufhalten, als wenn diese rückstaufrei funktionieren würde. Setzt man nun die Rotordrehzahl von 3000 min^{-1} auf 2750 min^{-1} herab, so

steigt der Nutzungsgrad von 19,2 % auf 73,4 % an. Den Nutzungsgrad kann man auch verbessern, indem man die Rotordrehzahl konstant hält, dafür aber die Differenzdrehzahl erhöht. Eine Erhöhung der Differenzdrehzahl z.B. von 30 auf 35 min^{-1} würde zu einer Verbesserung des Nutzungsgrades von 19,2 % auf 53,3 % führen. Bei solchen Überlegungen muß man natürlich bedenken, daß dabei andere unerwünschte Effekte auftreten können, so z.B. Störung der Klärung durch Turbulenzen bei Erhöhung der Differenzdrehzahl bzw. verminderte Sedimentationswirkung und höhere Restfeuchten beim Herabsetzen der Rotordrehzahl.

Die oben erwähnten Beispiele sind einzelne Betriebszustände. Trägt man nun den Nutzungsgrad NG in Abhängigkeit von der Schleuderziffer C und dem Feststoffdurchsatz \dot{m}_s auf (Abb. 2), so kann man ersehen, bei welchen Betriebskombinationen der Dekanter noch relativ störungsfrei funktionieren kann.

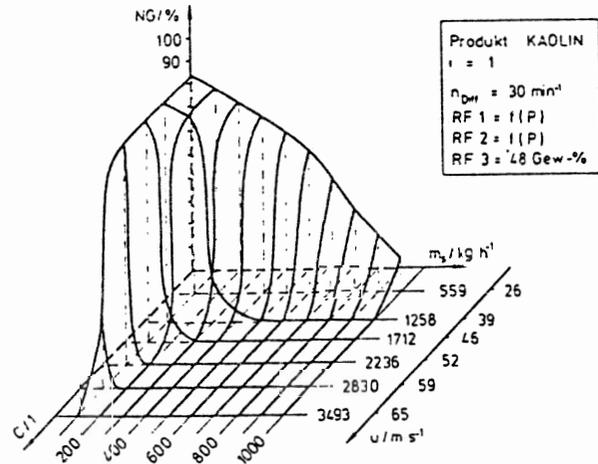


Abb. 2. Betriebskennfeld zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit des Dekanters

Interessant wird es, wenn man das Ergebnis auf einem Pilotversuch auf eine Großmaschine überträgt ("scale-up"). Dabei werden die einzelnen Daten folgendermaßen verändert:

Modellausführung (M)

Großausführung (G)

C_M	=	C_G
$n_{Diff,M}$	=	$n_{Diff,G}$
$\dot{m}_{Zulauf,M}$	=	$\dot{m}_{Zulauf,G} \cdot i^3$
G_M	=	$G_M \cdot i$
b_M	=	$b_M \cdot i$
β_M	=	β_G
$D_{Zyl,M}$	=	$D_{Zyl,M} \cdot i$
$D_{Austrag,M}$	=	$D_{Austrag,M} \cdot i$
$D_{Niv,M}$	=	$D_{Niv,M} \cdot i$

Vergrößert man die Pilotmaschine (Abb. 1) z.B. auf das 4-fache (Stufensprung $i = 4$), so sinkt der Nutzungsgrad für die Großmaschine auf Null. Abb. 3 zeigt, daß der Einsatz eines Großdekanters praktisch nicht sinnvoll ist, wenn beim "scale-up" die Schleuderziffer C konstant gehalten wird. Die Großmaschine würde nur noch in einem sehr engen Bereich rückstaufrei funktionieren.

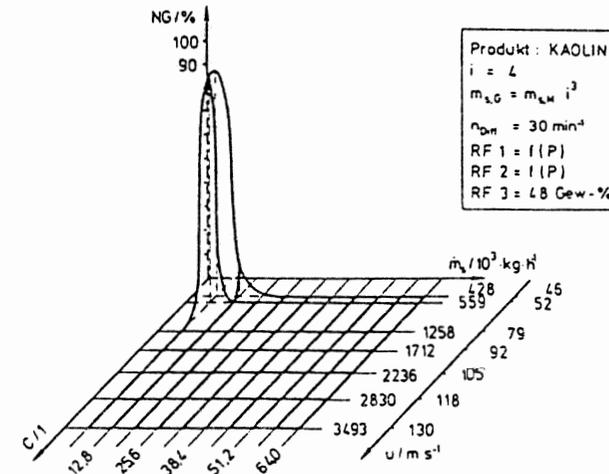


Abb. 3. Betriebskennfeld beim "scale-up"

Vergleicht man Abb. 3 mit Abb. 2, so erkennt man, daß die Großmaschine bezüglich des Rückstaus sich ähnlich verhalten würde, wenn beim "scale-up" nicht die Schleuderschiffzahl C , sondern die Umfangsgeschwindigkeit u der Trommel konstant gehalten würde. Dies kann auch durch Ähnlichkeitsbetrachtung aus Gl. 1 hergeleitet werden. Für die Schleuderschiffzahl gilt demnach: $C_G = C_M/i$. Die Großmaschine wird bei konstanter Umfangsgeschwindigkeit sogar günstiger als die Pilotmaschine funktionieren, wenn man beim "scale-up" den Feststoffdurchsatz \dot{m}_s nicht nach dem Schleppkraftansatz [3] mit i^3 , sondern nach der Theorie der äquivalenten Klärfläche mit i^2 vergrößert.

Wie schon erwähnt, wurden die hier aufgeführten Beispiele unter der Annahme einer festen Grundsicht gerechnet. Für den Fall, daß das Sediment neben der spiralförmigen Rückströmung auch durch den Spalt zwischen Schneckenblatt und Konuswand zurückfließen kann, wird das Rückstauprofil noch ungünstiger. Hinzu kommt, daß bei gleichzeitigem Rückfließen des Schlammes durch den Spalt und in spiralförmiger Richtung - je nach Oberflächenrauigkeit - auch das Gleiten der Paste an den Metalloberflächen berücksichtigt werden muß.

Bei der Herleitung dieses Rechenmodells bzw. bei der Berechnung der Rückstauprofile wurden gewisse Annahmen getroffen, wodurch mit entsprechender Vorsicht auch quantitative Aussagen gemacht werden können. Mit dem Rechenmodell ist man jetzt besser in der Lage, Relativaussagen zu treffen, vor allen dann, wenn man das Versuchsergebnis einer Pilotmaschine auf eine Großmaschine übertragen möchte. Kritisch zu sehen ist der große experimentelle Aufwand zur Bestimmung der rheologischen Daten (τ_0, K, n), die von der Restfeuchte des Sediments abhängen, welche sich über den Transportweg fortlaufend ändert. Da diese Änderung der Schlammrestfeuchte während der Schneckenförderung nicht bekannt ist, wurde sie in erster Näherung als linear angenommen. Man könnte jedoch auch davon ausgehen, daß sich die Restfeuchte im konischen Bereich des Dekanters durch die Abnahme der Zentrifugalbeschleunigung nicht

oder kaum mehr ändert, so daß die Werte für RF_1 und RF_2 für die Rechnung praktisch konstant gehalten werden können.

Das hier beschriebene Rechenmodell wurde auch anhand experimenteller Daten aus einem industriellen Einsatzfall überprüft. Bei diesem Einsatzfall wurden zur Behandlung von Stärkesuspension zwei Dekanter unterschiedlicher Geometrie eingesetzt. Dabei hat man festgestellt, daß die größere Maschine den Feststoff überhaupt nicht austrug. Nach Ermittlung der rheologischen Daten des Produkts konnte dieser experimentelle Befund auch rechnerisch nachgewiesen werden.

Schrifttum

- [1] A. Karolis, W. Stahl: Proc. Symp. Solids/Liquids Separation Practice and the Influence of new Techniques, Univ. of Leeds, England, 2.-5. April 1984
- [2] E. Windhab, W. Gleißle: Advances in Rheology, Vol. 2: Fluids Proc. IX. Int. Congress on Rheology, Mexico, 1984, p. 557-564
- [3] W. Stahl, Th. Langeloh: Ger. Chem. Eng. 7 (1984) 72-84