

FRANZ ADAM\*

## VOLLMANTELSCHNECKENZENTRIFUGEN FÜR DIE FEINSCHLAMM-ENTWÄSSERUNG

TEIL I:

### GRUNDLAGEN DER ENTWÄSSERUNG UND GRUNDRIß DER MASCHINEENTWICKLUNG

Die folgende Arbeit soll einen Überblick über die Entwicklung von Vollmantelschnecken-zentrifugen für die Feinschlamm-entwässerung geben. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, Resultate, die mit Pilotanlagen gewonnen wurden, auf Betriebsanlagen beliebiger Grösse umzurechnen. Dazu werden Kennzahlen für den Durchsatz von Feststoff und Flüssigkeit sowie für die Restfeuchtigkeit des Kuchens eingeführt. Auf neueste Erkenntnisse über die Transportverhältnisse beim Transport der Feststoffe am Zentrifugenkonus und deren Bedeutung für die Anwendung der Zentrifugen zum Voreindicken von Schlämmen wird am Schluss des ersten Teiles der Arbeit hingewiesen.

#### 1. EINLEITUNG

Wasser gehört zu den Elementen, die auf unserer Erde nur in begrenzter Menge vorhanden sind und ohne die weder Menschen noch Tiere leben können.

Für uns folgt daraus die Verpflichtung, den Wasserhaushalt zu überwachen und für eine schadlose Rückführung gebrauchten Wassers in den Wasserkreislauf der Natur zu sorgen.

Dies geschieht im wesentlichen durch die Abwasserreinigung. Hierzu gehören zwei Hauptaufgaben:

- a) Reinigung des Wassers,
- b) Behandlung des Schlammes.

Heute gehört die Reinigung des Wassers, d. h. der Abbau der Schmutzstoffe (BSB, CSB) bereits zu den Standardverfahren der Ingenieurwissenschaften. Ebenfalls nahezu gelöst ist das Problem, den Salzgehalt der Abwässer zu reduzieren.

---

\* Blumenallee 51, D 4054 Nettetal 2, HUMBOLDT-WEDAG AG, Köln, FRG.

Durch die verhältnismäßig einfache, wenn auch teure Reinigung der Abwässer entsteht Schlamm. Das Problem wird damit verlagert, jedoch noch nicht gelöst.

Dieser Schlamm fällt als dünnflüssige Suspension an. Je nach vorhergegangener Behandlungsmethode der Abwässer z. B. als Primär-, Sekundär-, Faul- oder aerob stabilisierter Schlamm.

Zu lösen haben wir damit heute die Aufgabe, die großen Wassermengen abzutrennen, die durch die verschiedenen Abfallstoffe und die in der biologischen Reinigungsstufe entstandene Zellsubstanz gebunden sind. Dieser Wasserballast stellt bekanntlich den maßgebenden Kostenfaktor für die Schlammbehandlung dar, gleichgültig ob kompostiert, getrocknet, verbrannt oder deponiert werden soll.

Für die Abtrennung der Wassermassen — die „Entwässerung des Schlammes“ — müssen Methoden gefunden werden, die eine hohe Betriebsbereitschaft, einen einfachen Aufbau der Anlagen und vertretbare Investitions- und Betriebskosten gewährleisten.

Ziel der Schlammentwässerung ist die Volumenreduzierung durch Entzug des Zwischenraum- und Zwickelwassers, also die Erhöhung der Feststoffkonzentration.

Hierbei ist zu unterscheiden in

- a) natürliche Entwässerungsverfahren in Eindickern und Flotationsanlagen,
- b) statische, maschinelle Entwässerungsverfahren mit Filtern und Sieben verschiedener Bauarten,
- c) dynamische, maschinelle Entwässerungsverfahren mit Zentrifugen.

Die folgende Arbeit soll einen Überblick über die Entwicklung und den Einsatz moderner Schlammentwässerungen geben und anhand einiger Beispiele zeigen, welche Resultate heute erzielt werden können.

## 2. VOLLMANTELZENTRIFUGEN FÜR DIE SCHLAMMENTWÄSSERUNG

### 2.1. ARBEITSWEISE UND AUFBAU DER VOLLMANTELZENTRIFUGEN

Auch wenn man davon ausgehen kann, daß Aufbau und Arbeitsweise dieses Maschinentypes weitgehend bekannt sind, so soll zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen nochmals kurz darauf eingegangen werden.

Im normalen Rechteck-Klärbecken wird an einem Ende der Schlamm zugegeben und am anderen erfolgt der Überlauf des geklärten Schlammwassers (Abb. 1). Die Klärkapazität dieses Apparates ist abhängig vom freien Querschnitt und der Länge, also vom freien Volumen des Beckens. Weiterhin von Bedeutung ist die Differenz zwischen der Sinkgeschwindigkeit der Feststoffpartikel und der horizontalen Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit durch das Becken. Um bei unveränderten Abmessungen die Kapazität des Apparates zu erhöhen, muß die Sinkgeschwindigkeit gesteigert werden.

Dies kann nach dem Stoke'schen Gesetz zum einen durch Vergrößerung der Korngröße unter Zusatz von Flockungsmitteln (Koagulation!), zum anderen dadurch geschehen, daß das Becken an seiner Längsachse in Rotation versetzt wird; das heißt, daß die Kraft des Schwerfeldes durch die Zentrifugalkraft ersetzt wird. Wird jetzt noch eine Förder-

schnecke zum Feststofftransport in das rotierende Becken eingebracht, so haben wir das Prinzip der kontinuierlich arbeitenden Sedimentationszentrifuge.

Nach welchen physikalischen Grundsätzen arbeitet nun diese Zentrifuge? Dazu kurz einige vereinfachte Erläuterungen (Abb. 2).

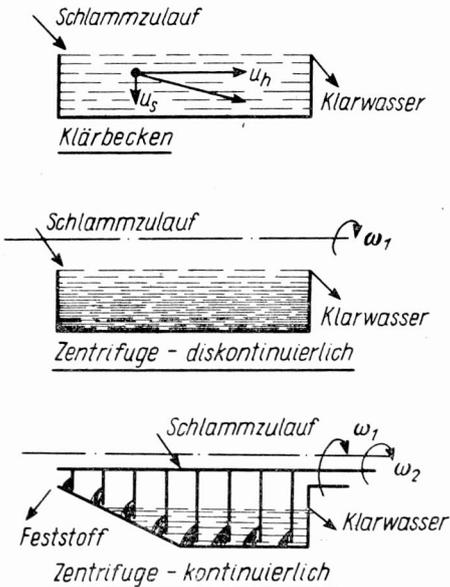


Abb. 1. Entwicklung der Klärzentrifuge  
Rys. 1. Rozwój wirówki klarującej

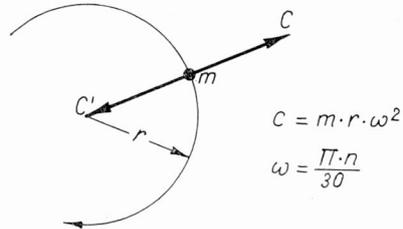


Abb. 2. Die Teilchenbewegung im Beschleunigungsfeld. Beschleunigungsvielfache:

$$Z = \frac{G}{mg} = \frac{r\omega^2}{g} \text{ mit } \pi^2 \approx g$$

$$Z = \frac{rn^2}{900}; \text{ Radius in } m = r; \text{ Upm} = n$$

Rys. 2. Ruch cząstki w polu przyspieszenia

Rotiert eine Masse  $m$  in einem Abstand  $r$  und mit einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  um eine Achse, so wirkt auf diese Masse die Zentrifugalkraft

$$C = m r \omega^2.$$

Setzt man diese Kraft ins Verhältnis zur Kraft des Schwerfeldes, die im Normalzustand auf die Masse einwirkt, und führt anstelle der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  die Drehzahl  $n$  ein, so erhält man den Beschleunigungsfaktor oder Beschleunigungsvielfache

$$Z = \frac{rn^2}{900}$$

Die Sedimentation selbst folgt dem Stoke'schen Gesetz. Während des Absetzvorganges in der Zentrifuge herrscht Gleichgewicht zwischen der Widerstandskraft  $R$  und der Differenz aus Zentrifugalkraft  $C$  und Auftriebskraft  $F$  (Abb. 3).

Für eine laminare Umströmung, von der wir praktisch immer im Zusammenhang mit der Zentrifugation ausgehen können, ergibt sich dann die dargestellte Beziehung. Von maßgeblicher Bedeutung für die Leistung einer Schlammzentrifuge ist der Feststoffanteil im Gesamtvolumen der Trübe (Abb. 4). Die Sedimentationsgeschwindigkeit — und damit

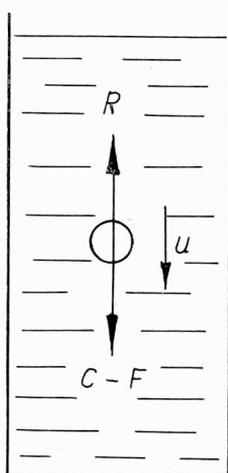


Abb. 3. Die Sedimentation im Schwerfeld. Widerstand für Re-Zahlen < 1 (laminare Strömung)  $R = 3 \pi \eta du$  im Gleichgewicht mit Zentrifugalkraft-Auftrieb  $R = C - F$  daraus Absatzgeschwindigkeit

Rys. 3. Ruch cząstki podczas swobodnego opadania

$$u = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_0)}{8 \eta} \cdot C$$

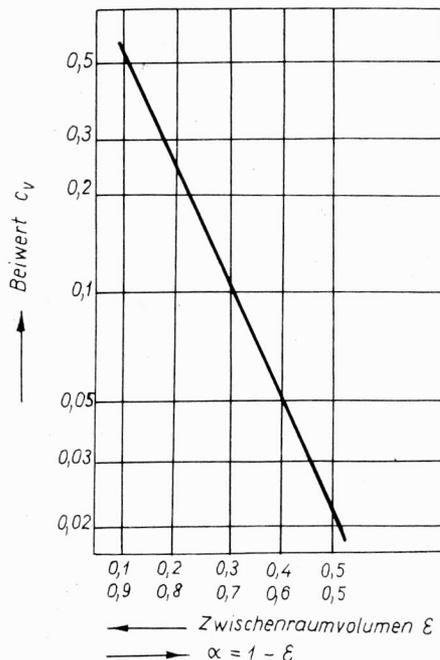


Abb. 4. Leistung einer Schlammzentrifuge als Funktion des Feststoffanteiles in der Trübe Absatzgeschwindigkeit einer Trübe

$$u_T = u \cdot c_v$$

Werte für  $c_v$  nach Steinour, Verschoor und Carmann gemittelt. Gleichung von Steinour und Hawksley:

$$\log \frac{u}{u_T} = \frac{Ka}{1 - Qa} - \log(1 - a)^2$$

$K$  — Einstein'sche Viskositätskonstante = 3,37,  
 $Q$  — Vand'sche Konstante für Kugeln = 39/64

Rys. 4. Sprawność wirówki osadowej w zależności od ciał stałych w nadawie

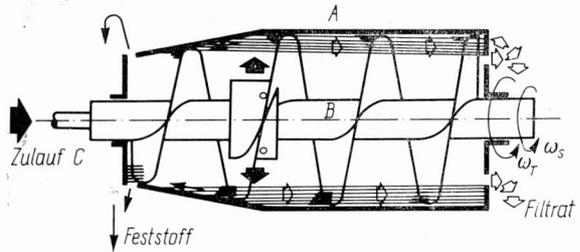
die Trennleistung der Zentrifuge — geht bei steigendem Feststoffanteil in log. Maßstab zurück. In dieser Tatsache ist eine der Ursachen für die großen Schwierigkeiten bei der Entwässerung biologischer Überschussschlämme zu suchen.

In Abb. 5 ist als Skizze der technische Aufbau einer Vollmantelschneckenzentrifuge dargestellt. Es ist eine sogenannte „Gegenstromzentrifuge“, wie sie seit 1933 gebaut wird. Abb. 6 zeigt mehrere Einzelheiten. Der zylindrisch-konische Trommelmantel ist in Wälzlager gelagert. In gleicher Richtung, aber mit einer Drehzahldifferenz gegenüber der Trommel läuft die Förderschnecke für den Feststoff. Die Drehzahldifferenz wird durch

Abb. 5. Das Arbeitsprinzip einer Gegenstrom-Vollmantelzentrifuge

A - Zentrifugentrommel, B - Förderschnecke,  
C - Zulaufrohr,  $\omega_T$  - Trommeldrehzahl,  $\omega_S$  -  
Schneckendrehzahl

Rys. 5. Zasada działania przeciwwrótowej wirówki sedymentacyjnej



ein Umlaufgetriebe erzeugt. Durch das feststehende Einlaufrohr gelangt der Schlamm in die Trommel. Unter Einwirkung der Zentrifugalkraft werden Feststoff und Flüssigkeit während des Durchlaufes durch die Zentrifuge getrennt.

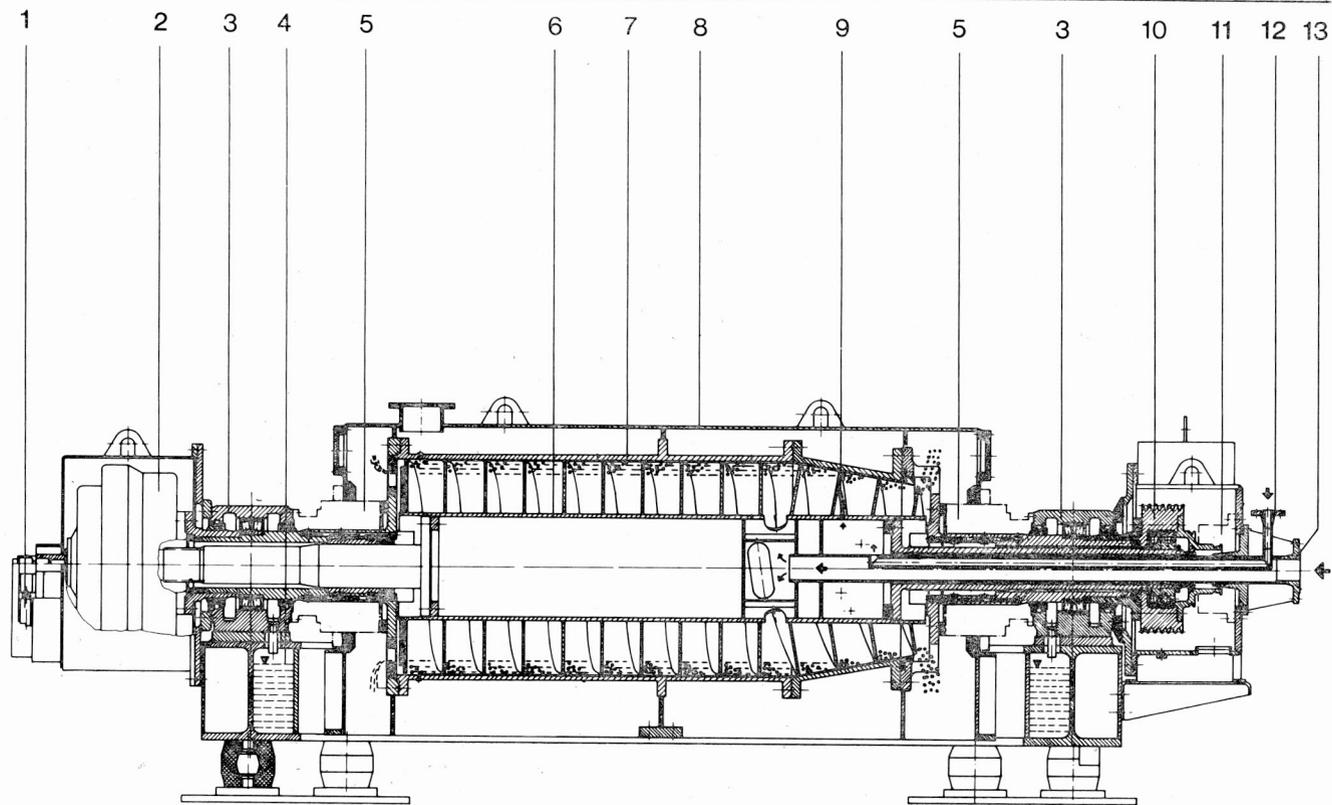
Am Ende des zylindrischen Teiles ist der Trennvorgang beendet. Die Feststofffreie Flüssigkeit wird abgezogen, die entwässerten Feststoffe über den Konus zu den Austragsöffnungen in der Stirnwand transportiert.

## 2.2. DIE WEITERENTWICKLUNG DER VOLLMANTELSCHNECKENZENTRIFUGE

Die Tendenz in der Entwicklung von Vollmantelschneckenzentrifugen für die Entwässerung von Feinschlämmen ging bis etwa 1970 in die Richtung schnell drehender, schlanker Maschinen. Ausgangspunkt dieser Entwicklung war der Begriff der „äquivalenten Klärfläche“, der von AMBLER [1] vor etwa 20 Jahren in die theoretischen Überlegungen zum Entwurf und zur Leistungsberechnung dieses Zentrifugentypes eingeführt wurde. TRAWINSKI [2] verknüpft die „Klärfläche“ der Zentrifugen mit der mechanischen Festigkeitsberechnung der Trommel und weist damit den Weg, den die Entwicklung leistungsfähiger Maschinen gehen mußte: Extrem lange Maschinen mit kleinem Durchmesser und möglichst hoher Beschleunigungsziffer.

Das führte zum Bau und zum Einsatz von Maschinen mit einem Verhältnis von Trommellänge zu Trommeldurchmesser von drei bis vier bei Beschleunigungsziffern von 3000 g und mehr.

Um zu brauchbaren Feststoffleistungen zu kommen, lag die Differenzdrehzahl zwischen Trommel und Schnecke in der Regel bei 20 bis 25 Up M. Bedingt durch hohe Beschleunigungszahlen und einen steilen Konuswinkel (bis zu  $15^\circ$ ) wurden die Rückflußkräfte an der Austragsseite für den Feststoff so groß, daß es häufig zu Maschinenverstopfungen kam. Hohe Drehzahlen und steile Konuswinkel erfordern zudem starke und damit teure Getriebe.



- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 1 Drehmoment-Meßeinrichtung  | 8 Gehäuse               |
| 2 Planetengetriebe           | 9 Waschrohre            |
| 3 Stehlager                  | 10 Antriebsscheibe      |
| 4 Ölbad für Umlaufschmierung | 11 Aufgaberohr-Dichtung |
| 5 Gehäusedichtung            | 12 Waschflüssigkeit     |
| 6 Schnecke                   | 13 Aufgaberohr          |
| 7 Trommelmantel              |                         |

Abb. 6. Gegenstromzentrifuge  
Rys. 6. Wirówka przeciwpładowa

Bereits im Jahre 1969 hatte man versucht, die Diskrepanz in den Leistungsdaten zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Vollmantelüberlaufzentrifugen zu verringern. EPPER [3] berichtete beim IWL-Forum über Versuche im technischen Maßstab. Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß sowohl bei den Trennergebnissen als auch beim Bedarf an Flockungsmitteln zur Konditionierung der Schlämme diskontinuierliche Zentrifugen Vorteile aufwiesen. Um zu besseren Resultaten zu kommen, wurden in der Folge Experimente mit weiter erhöhten Beschleunigungen durchgeführt. Man untersuchte die Wirkung komplizierter Einbauten als "Vorbeschleuniger" für die Einlaufzonen, um die Zerstörung von Flocken und Agglomeraten beim Einlauf in die Trommel zu verringern.

Wesentliche Verbesserungen wurden nicht erzielt. Zudem scheiterte der Bau von Maschinen mit genügend großen Kapazitäten für den Einsatz in Großkläranlagen noch an zwei weiteren Problemen:

Beim Betrieb derartig schnell drehender Maschinen war das Bedienungspersonal in den Anlagen nicht in der Lage, die hohen Ansprüche, die an die Wartung der Zentrifugen gestellt wurden, zu erfüllen. So traten immer wieder mechanische Störungen auf, die in Verbindung mit kurzen Schneckenstandzeiten und hohem Energiebedarf Vollmantelschneckenzentrifugen als zur Schlammbehandlung nicht empfehlenswert erscheinen ließen. Wenn versucht wurde, auch für diesen Einsatz betriebs sichere, also robuste und schwere Zentrifugen zu bauen, so war deren Preis zu hoch.

Zentrifugen waren damit kein Fortschritt gegenüber Filterpressen oder Vakuumfilter.

Gleichzeitig begann aber eine Entwicklung, die die theoretischen Grundlagen der Zentrifugation mit kontinuierlich arbeitenden Überlaufzentrifugen völlig ausser acht ließ. Man löste sich vom Begriff der „äquivalenten Klärfläche“ [4]. Es begannen Experimente mit niedrigen Beschleunigungsziffern, und man fand, daß bei den heute üblichen Flockungsmitteln Beschleunigungsziffern von 400 bis 500 g ausreichen, um bei wesentlich reduzierten Kosten für die Konditionierung ein absolut klares Zentrifugat zu erreichen. Auch konnte eine Maschine mit den gleichen Abmessungen bei niedrigen Drehzahlen mit etwa der doppelten Kapazität betrieben werden, ohne daß sich der Trenneffekt merklich verschlechterte.

Bei den Experimenten mit niedrigen Trommeldrehzahlen lag allerdings der Gehalt an Trockensubstanz im Zentrifugenkuchen wesentlich unter dem von den schnell laufenden Maschinen gewohnten Wert. Es wurde versucht, durch eine Verlängerung der Trockenstrecke einen Ausgleich zu erreichen. Dabei fand man, daß nur geringfügige Verbesserungen zu erzielen waren, gleichzeitig aber die Kapazität der Zentrifuge stark zurückging.

Untersuchungen mit veränderten Differenzdrehzahlen zeigten dagegen einen eindeutigen Zusammenhang mit dem Gehalt an Trockensubstanz im Zentrifugenkuchen. Je geringer die Differenzdrehzahl, desto besser waren die erzielten Ergebnisse. Da aber bei einer Reduzierung der Differenzdrehzahl sehr schnell die Grenze der „Feststoffkapazität“ der Zentrifuge erreicht wurde, mußten die Untersuchungen ausgedehnt werden.

Im Laufe der weiteren Experimente wurde ein Zusammenhang zwischen Restfeuchte des Kuchens und dem Produkt aus Verweilzeit der Feststoffe (nicht der Suspension!) in der Trommel und dem Beschleunigungsverhältnis gefunden: Der Trockenstoffgehalt

des Kuchens steigt mit größer werdender „Beschleunigungszeit“ bis zu einem Grenzwert an, um dann praktisch konstant zu bleiben. (Abb. 7). Dieser Grenzwert kann sowohl durch Erhöhung der Beschleunigungszahl als auch durch die Reduzierung der Differenzdrehzahl erreicht werden.

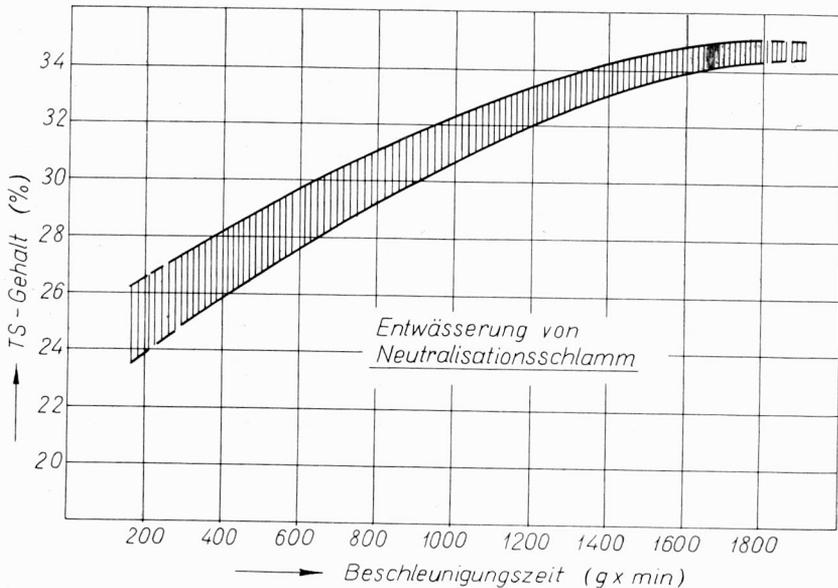


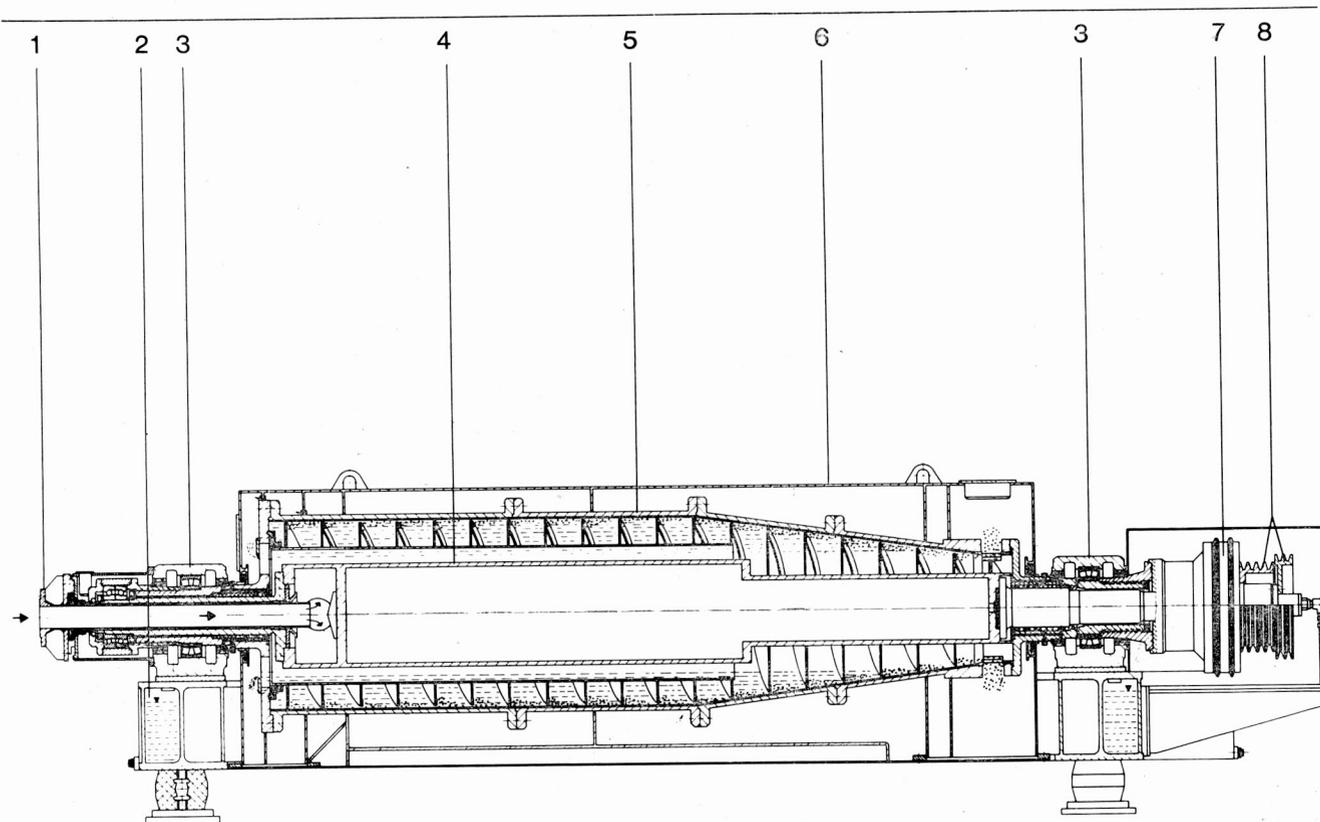
Abb. 7. Trockenstoffgehalt des Kuchens als Funktion der Beschleunigungszeit  
Rys. 7. Zawartość ciał stałych w placku osadowym jako funkcja czasu działania przyspieszenia

Nach diesen neuen, grundsätzlichen Erkenntnissen konnte man an die Entwicklung einer neuen Zentrifuge denken, die speziell für die Entwässerung feiner und feinsten Schlämme geeignet war.

Dabei waren folgende leistungsbestimmende Variable zu beachten:

- a) Durchmesser des inneren Flüssigkeitszylinders,
- b) Länge des inneren Flüssigkeitszylinders,
- c) Ein oberhalb einer Mindestbeschleunigung liegender  $g$ -Wert,
- d) Schneckensteigung,
- e) Differenzdrehzahl,
- f) Aufgabepunkt der Suspension.

Aus dem oben Angeführten folgt, daß um gute Resultate zu erzielen, die Differenzdrehzahl möglichst klein und der Aufgabepunkt für den Schlamm möglichst weit vom Feststoffaustrag entfernt sein muß. Setzt man die Beschleunigungsziffer als unveränderliche Größe, (d. h. gleich der Mindestbeschleunigung), so reduziert sich die Zahl der Faktoren, die sich in ihrer Wirkung überschneiden, auf den Aufgabepunkt für die Suspen-



- 1 Aufgaberohr
- 2 Ölbad für Umlaufschmierung
- 3 Stehlagergehäuse
- 4 Schnecke

- 5 Trommelmantel
- 6 Gehäuse
- 7 Cyclo-Getriebe
- 8 Antriebsscheiben

Abb. 8. Gleichstromzentrifuge mit längerem konischen Teil  
 Rys. 8. Wirówka współprądowa o dłuższej części stożkowej

sion sowie die Schneckensteigung und Differenzdrehzahl. Die daraus sich ergebende Folgerung muß zwangsläufig lauten:

- a) eine sogenannte „Gleichstromzentrifuge“ (z. B. von BIRD) wie sie bereits seit mehr als einem Jahrzehnt bekannt ist, kommt der Ideallösung recht nahe. Lediglich Schneckengeometrie und Konuswinkel sind den neuesten Erkenntnissen anzupassen.
- b) Das Verhältnis  $L/D$  kann auf 2,5 bis 3 beschränkt werden. Maschinen mit  $L/D = 4$  oder mehr sind im allgemeinen für die Entwässerung von Feinschlämmen keine optimale Lösung, da bereits bei Zulaufkonzentrationen von 5 bis 8% die Grenze der Feststoff-Kapazität weit unterhalb der max. Flüssigkeitskapazität liegen wird.
- c) Der elektrische Energiebedarf läßt sich, durch die niedrigen Drehzahlen bedingt, auf 0,6 bis 1 KWh/m<sup>3</sup> Zulauf reduzieren. Aus dem gleichen Grund steigt die Schneckenstandzeit zwischen den Aufarbeitungen auf 10.000 bis 12.000 Betriebsstunden.

Das Ergebnis war eine Schlammzentrifuge, wie sie auf Abb. 8 dargestellt ist und wie sie inzwischen in einigen Hunderten Exemplaren zur Entwässerung der verschiedensten Feinschlämme eingesetzt wird. Abweichend von der Gleichstromzentrifuge hat sie einen wesentlich flacheren, dafür aber längeren konischen Teil und eine Getriebeanordnung, die eine Änderung der Differenzdrehzahl zwischen Trommel und Schnecke auch ohne Anbau eines zweiten Motors gestattet.

Auch ein weiterer konstruktiver Mangel der früheren Ausführung, die Verengung des Schneckenquerschnittes beim Flüssigkeitsabzug, der die Feststoffleistung begrenzte, ist eliminiert.

Kanäle innerhalb des Schneckenrohres übernehmen den Abzug des Zentrifugates.

### 3. LEISTUNGSZAHLEN FÜR SCHLAMMZENTRIFUGEN [5]

#### 3.1. DIE FLÜSSIGKEITSLEISTUNG VON VOLLMANTELZENTRIFUGEN

Für einen Vergleich der Flüssigkeitsleistung einer Zentrifuge mit einer geometrisch ähnlichen Maschine größerer oder kleiner Abmessung hat sich die Verwendung der „spezifischen Maschinenbelastung“ bewährt.

Die Skizze auf Bild 9 zeigt, daß nur der Teil zwischen Schlammereinlauf und Klärphase ( $L$ ) an dem Trennvorgang überhaupt beteiligt ist. Durch die Strömungsvorgänge bedingt, kommt die Suspension selbst niemals in den übrigen Teil der Zentrifuge.

Weiterhin ist bekannt, daß die Flüssigkeitsströmung nur in einer relativ geringen Schichtstärke ( $p$ ) stattfindet. In Kenntnis dieser Tatsachen wird nun definiert: Die spezifische Maschinenbelastung — im Folgenden mit  $M$  bezeichnet, ist der Durchsatz in m<sup>3</sup>/h, bezogen auf die innere, zylindrische Flüssigkeitsfläche in der Zentrifugentrommel zwischen Schlamm-Einlauf und Zentrifugatabzug.

$$M = \frac{Q}{dL\pi}, \quad (\text{m}^3/\text{m}^2\text{h})$$

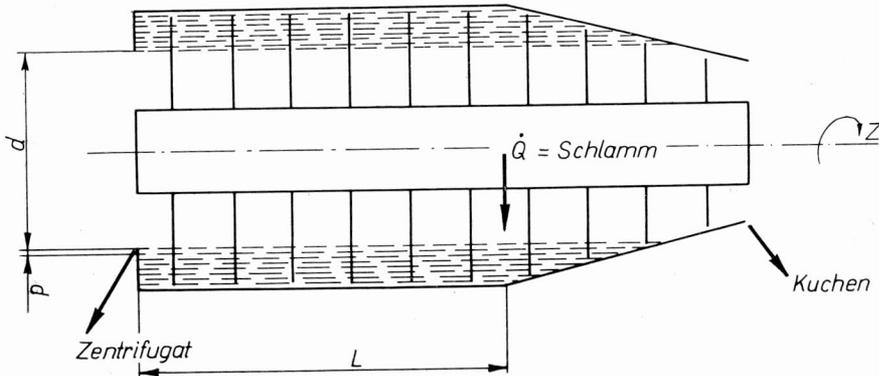


Abb. 9. Trennvorgang und spezifische Maschinenbelastung in einer Gegenstromzentrifuge

$Z$  – Beschleunigungsziffer,  $p$  – strömende Schicht,  $d\pi L$  – wirksame Klärfäche,  
 $M = \dot{Q}/d\pi L$  – spezifische Belastung

Rys. 9. Rozdział faz i obciążenie jednostkowe w wirówce przeciwnajdrowej

mit

$\dot{Q}$  Schlamm-Durchsatz,  $\text{m}^3/\text{h}$ ,

$d$  Wehrscheibendurchmesser,  $\text{m}$ ,

$L$  Trommellänge zwischen Einlauf und Überlauf,  $\text{m}$ .

Gehen wir davon aus, daß die zu vergleichenden Maschinen mit gleichen Beschleunigungsziffern  $Z$  betrieben werden, so müssen für

$$M_1 \leq M_2$$

die Trennergebnisse auf der Flüssigkeitsseite der Zentrifuge, (d. h. Feststoffgehalt im Zentrifugat und Flockungsmittelbedarf) gleich oder besser sein.

### 3.2. DIE FESTSTOFFLEISTUNG VON VOLLMANTELZENTRIFUGEN

Der Fördervorgang des Feststoffes in der Zentrifuge ist mit einer Förderung in einem rotierenden Schneckenrohrförderer vergleichbar. Dabei ist darauf zu achten, daß nicht der engste Querschnitt am Ende des konischen Zentrifugenteils, sondern der zylindrische, mit Suspension gefüllte Teil im Normalfall die kritische Größe ist (Abb. 10).

Im zylindrischen Teil darf zum einen der Füllgrad der Schnecke nur verhältnismäßig klein sein, zum anderen beansprucht der erst teilweise entwässerte Schlamm ein um ein Vielfaches höheres Volumen als der entwässerte Zentrifugenkuchen am Feststoffaustrag.

Die Feststoff-Förderleistung der Zentrifuge wird damit:

$$G = \frac{(D^2 - d^2)}{4} \pi s 60 \Delta n \gamma_0 \eta$$

mit

- $G$  Kapazität in t/h,
- $\gamma_0$  Schüttdichte der Feststoffe in der Flüssigkeit,
- $D$  äußerer Trommeldurchmesser,
- $s$  Schneckensteigung,
- $\Delta_n$  Drehzahldifferenz zwischen Trommel und Schnecke,
- $\eta$  Wirkungsgrad des Fördervorganges (als Ausgleich für Schlupf!).

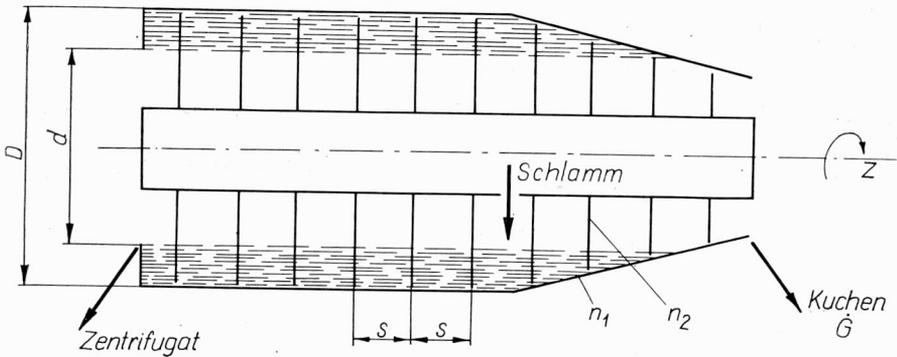


Abb. 10. Feststoffförderleistung der Zentrifuge  
Rys. 10. Wydajność wirówki wyrażona w masie placka

$$\dot{G} = \frac{D^2 - d^2}{4} \pi 60 s \Delta n \gamma_0 \eta$$

Da sowohl  $\gamma_0$  als auch  $\eta$  von der Schlammart abhängig, somit also für einen Vergleich zum Beispiel zwischen einer Versuchsanlage und einer Großanlage identisch sind, können wir sie bei der Betrachtung ebenso wie die konstanten Faktoren ausklammern.

Damit erhält man dann als Kennziffer für die Feststoff-Förderleistung einer Vollmantelzentrifuge“

$$\left[ \frac{G}{(D^2 - d^2) s \Delta n} \right]_1 \leq \left[ \frac{G}{(D^2 - d^2) s \Delta n} \right]_2$$

Durch Variation der Förderdrehzahl  $\Delta n$  kann dieser Wert praktisch beliebig verändert werden. Theoretisch wäre es demnach möglich, auch durch kleine Maschinen große Feststoffvolumina zu entwässern, wenn nur die Klärleistung ausreicht.

Dem steht jedoch der mit steigender Differenzdrehzahl ansteigende Feuchtigkeitsgehalt des Zentrifugenkuchens entgegen.

### 3.3. BESCHLEUNIGUNGSZEIT UND FEUCHTIGKEIT DES KUCHENS

Wie oben erwähnt, sinkt die Restfeuchte mit größer werden der Beschleunigungszeit zunächst verhältnismäßig stark ab, um sich dann einem Grenzwert zu nähern. Die Beschleunigungszeit kann bekanntlich sowohl durch Änderung der Beschleunigungsziffer  $Z$  als auch über die Differenzdrehzahl und Schneckensteigung verändert werden.

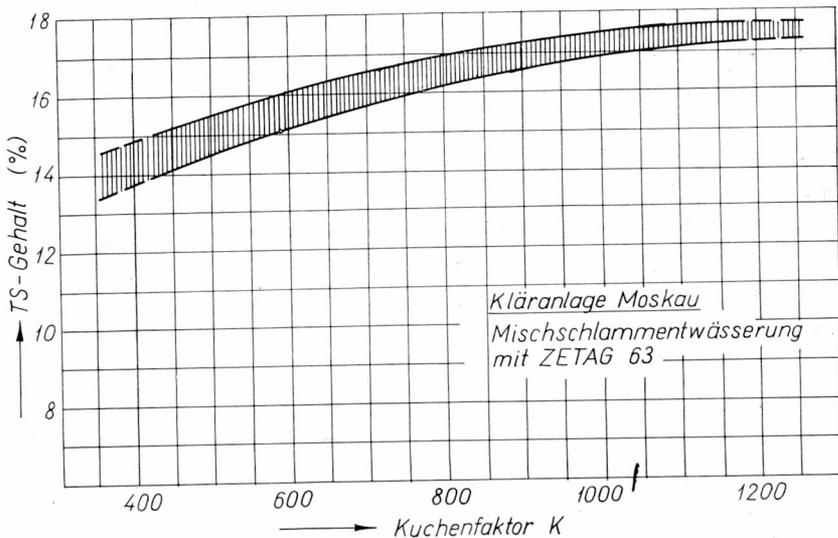


Abb. 11. Feststoffgehalt im Kuchen in Abhängigkeit vom Kuchenfaktor  $K$

Rys. 11. Zależność zawartości suchej masy w placku od czynnika  $K$

Diese Zusammenhänge bieten die Möglichkeit, auch die mit verschiedenen, geometrisch ähnlichen Vollmantelschneckenzentrifugen erreichbaren Trockensubstanzgehalte des Zentrifugenkuchens zu vergleichen.

Dazu wird ein „Kuchenfaktor“ — im Folgenden mit  $K$  bezeichnet — definiert (Abb. 11).

$$K = \frac{L \cdot Z}{s \cdot \Delta n}$$

mit

$L$  — Trommellänge zwischen Schlammeinlauf und Kuchenaustrag.

Um zu gewährleisten, daß zwei zu vergleichende Anlagen gleiche Gehalte an Trockensubstanz in entwässerten Zentrifugenkuchen liefern, muß gelten:

$$K_1 = K_2.$$

Wenn die in diesem Kapitel dargestellten Zusammenhänge beachtet werden, so bietet sich damit die Möglichkeit, mit sehr großer Sicherheit die mit einer Versuchsanlage, auf

die später noch eingegangen wird, gewonnenen Daten auf eine Großanlage umzurechnen. Andererseits geben diese Zusammenhänge auch vor, in welche Richtung die Untersuchungen geführt werden müssen.

#### 4. BETRACHTUNGEN ZUM PROBLEM DES FESTSTOFFAUSTRAGES AUS DER ZENTRIFUGENTROMMEL

Zu den Hauptproblemen beim Einsatz von Vollmantelzentrifugen zur kontinuierlichen Entwässerung von Feinstschlämmen gehört der Austrag der Feststoffe. Besonders die Förderung im konischen Teil gegen die Zentrifugalbeschleunigung ist mit extremen Schwierigkeiten verbunden. Biologische Überschußschlämme, Hydroxidschlämme oder stark lehm- und tonhaltige Schlämme lassen sich wegen ihrer großen spezifischen Oberflächen nur sehr unvollkommen mechanisch entwässern. Auch nach der Zentrifugation liegen die Feststoffe meist noch in pastöser oder gar halbflüssiger Form vor. Der Wirkungsgrad der Förderschnecke zwischen den Punkten 1 und 2 der Skizze wird sehr schlecht. Im Grenzfall geht er gegen Null (Abb. 12).

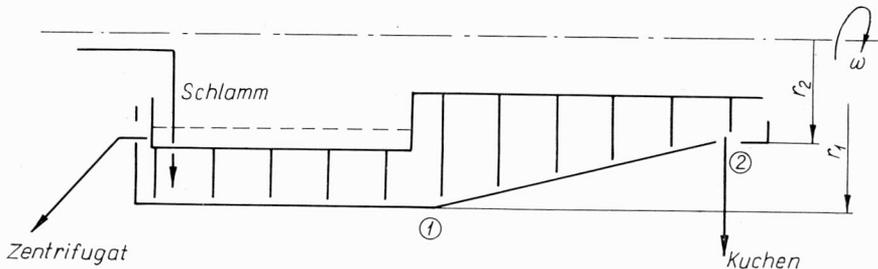


Abb. 12. Schlechter Wirkungsgrad der Förderschnecke zwischen den Punkten 1 und 2  
Rys. 12. Złe działanie ślimaka na odcinku od 1 do 2

Dies bedeutet, daß ein Mehrfaches des als Kuchen ausgetragenen Feststoffes von der Schnecke gefördert werden muß, da ein Teil stets im Kreislauf zwischen den beiden Punkten 1 und 2 der Schnecke umläuft. Ursache dieser Schwierigkeiten ist die Rückflußkraft  $R$ , gegen die flüssige oder halbflüssige Medien nicht oder nur unvollkommen gefördert werden können (Abb. 13).

Aus diesem Grunde hat man — wie im Kapitel über die Entwicklung der Schlammmzentrifugen bereits erwähnt bereits vor Jahren den Konuswinkel für diesen Zentrifugentyp von  $15^\circ$  auf  $8^\circ$  reduziert und damit eine Verringerung der Rückflußkräfte um ca. 45% erreicht.

Gleichzeitig gelang es, wesentlich wirksamere Flockungsmittel herzustellen, die ebenfalls eine Verbesserung im Wirkungsgrad der Förderung am Konus erbrachten.

Die stets steigenden Anforderungen an die Wasserreinigung führte aber dazu, daß der Anteil an biologischen Schlämmen am gesamten Schlammenfall inzwischen so hoch ist,

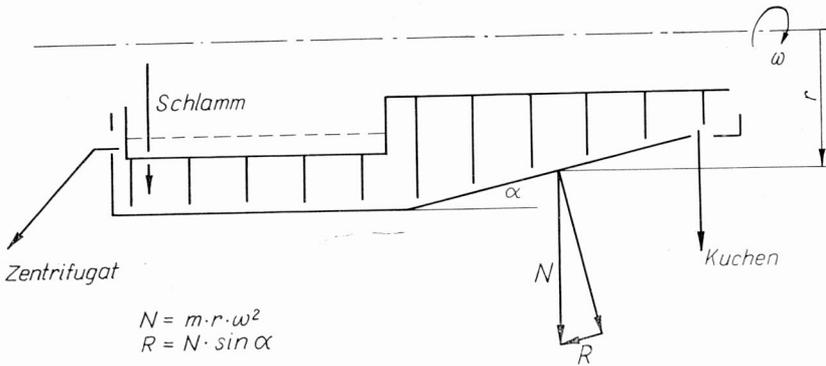


Abb. 13. Rückflußkraft  $R$  bewirkt unvollkommene Förderung des halbflüssigen Schlammkuchens

Rys. 13. Siła  $R$  powoduje częściowo zwrotny przepływ osadu

daß ohne eine weitere Verbesserung der Entwässerungsmaschinen der Verbrauch an Flockungsmittel so hoch wurde, daß der gesamte Aufwand für die Schlamm-entwässerung mit Zentrifugen oder Pressen praktisch nicht mehr zu bezahlen ist.

Auch wenn schon allein der Einsatz der Schlammzentrifugen in Gleichstromausführung eine bedeutende Verbesserung im Wirkungsgrad bei gleichzeitig reduzierten Kosten brachte, so hat man doch eine Parallelentwicklung weiterverfolgt: Durch ein Anstauen des Schlammes vor dem Konus der Zentrifuge sollte mit Hilfe des so entstehenden Druckunterschiedes der Transport auf dem Konus erleichtert werden. Letztendlich war dieser Arbeit Erfolg beschieden, so daß heute eine weitere, wesentliche Verbesserung im Trenneffekt bei gleichzeitiger Betriebskosteneinsparung möglich ist. Durch konstruktive Änderungen an der Förderschnecke wurde es ermöglicht, daß bei den von HUMBOLDT gebauten Schlammzentrifugen die Rückflußkräfte um nochmals 10 bis 25% (je nach Maschinengröße) verringert werden.

Dies bedeutet für die Praxis:

Bei rein biologischen Schlämmen oder Mischschlämmen mit hohen Anteilen an biologischem Überschussschlamm läßt sich der Bedarf an Konditionierungsmitteln auf etwa 50% der bisher üblichen Werte reduzieren, ohne daß die Trennergebnisse negativ beeinflußt werden. Anstelle von 3 bis 4 kg polymerer Flockungsmittel je Tonne Trockensubstanz reichen bei den modifizierten Zentrifugen 1,5 bis 2 kg/t. Dies ist dadurch möglich geworden, daß praktisch das gesamte Flockungsmittel ausgenutzt wird, um die Wasserabgabe der Feststoffteilchen zu erleichtern, nicht aber um den Feststoff in der Zentrifuge transportfähig zu machen.

Mit anderen Worten:

Während die bisher bekannten Zentrifugen lediglich zur Entwässerung der durch Totalflockung getrennten Suspension eingesetzt wurden, so wird durch die konstruktive Änderung die Schlammzentrifuge endlich auch bei der Feinschlamm-entwässerung das, was man normalerweise von einer Zentrifuge erwartet: Ein Apparat, in dem in erster Linie durch

Zentrifugalkraft eine feste von einer flüssigen Phase getrennt und nach Abschluß des Trennvorganges die so gewonnene feste Phase entwässert wird.

Der Flockungsmittelzusatz dient nur noch zur Unterstützung des Trennprozesses. Der Sedimentationsvorgang wird dadurch beschleunigt, was — in Analogie zum Klärbecken — erlaubt, die spezifische Belastung des Apparates zu erhöhen.

Aus dem bisher Dargestellten ergibt sich zwangsläufig, daß es möglich sein muß, die Zentrifuge, wiederum in Analogie zum Klärbecken, auch als Eindicker zu betreiben. Bei normaler Belastung muß ein Betrieb ohne Flockungsmittel möglich sein. Durch Zusatz geringer Mengen Hilfsmittel müßte die mögliche Belastung wesentlich zu steigern sein.

Durch mehrmonatige Untersuchungen in verschiedenen Großklärwerken der BRD, wurden diese Erkenntnisse inzwischen bewiesen und abgesichert. Die bei diesen Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen führten dazu, daß der Bau von Flotationsanlagen, die zur Eindickung von biologischen Überschußschlamm vorgesehen waren, zurückgestellt wurde.

Der Einsatz der modifizierten Schlammzentrifugen zur Eindickung von Sekundärschlamm oder aber der Mischung aus Primär- und Sekundärschlamm mit geringem Flockungsmittelzusatz (0,5 bis 1,0 kg/t Trockensubstanz) auf 8 bis 12% vor den Faulbehältern erspart bei Großanlagen Millionenbeträge für die Investition, ohne die Betriebskosten der Gesamtanlage zu erhöhen!

Sollen Schlammmentwässerung und Verbrennung miteinander gekoppelt werden, so ist bekanntlich ein möglichst hoher Trockensubstanzgehalt des Schlammkuchens Hauptziel des Entwässerungsvorganges, um den Schlamm wirtschaftlich verbrennen zu können. Es wird stets versucht, eine selbstgängige Verbrennung zu erreichen. Im Allgemeinen ist dies nicht möglich; weder mit Zentrifugen, noch mit Bandpressen. Die in den letzten Jahren entwickelten Winkel-Bandpressen, ermöglichten es jedoch, in die Nähe des kritischen Punktes zu kommen. Der Verbrauch an Polyelektrolyten ist bei diesen Maschinen praktisch gleich dem der konventionellen Zentrifugen. Für einen halbwegs betriebssicheren Einsatz ist eine Totalflockung unerlässlich!

Die Investitionskosten einer Pressenanlage gleicher Leistung liegt beträchtlich höher, als die einer Zentrifugenanlage. So wäre es bereits wirtschaftlich, Zentrifugen einzusetzen, auch wenn die Trockensubstanzgehalte des Zentrifugenkuchens um einige Punkte unterhalb der Werte des Pressenkuchens lägen.

Mit den modifizierten Schlammzentrifugen ist es nun heute möglich, bei gleichen Flockungsmittelzusätzen auch praktisch die gleichen Trockensubstanzgehalte im Schlammkuchen zu erreichen. (Die Schwankungen liegen bei  $\pm 1\%$ ). Dies haben umfangreiche Versuchsreihen bei den Berliner Entwässerungswerken gezeigt. Es wurden im großtechnischen Maßstab eine kontinuierlich arbeitende Filterpresse, eine Winkelbandpresse und eine HUMBOLDT-Schlammzentrifuge S 4-1 geprüft, wobei die Zentrifuge zunächst mit konventioneller Schnecke und später mit der modifizierten Version ausgerüstet wurde, um unter gleichen Bedingungen die erzielten Resultate vergleichen zu können. Für die Winkelpresse und die modifizierte Schlammzentrifuge lag der Trockensubstanzgehalt des Schlammkuchens zwischen 30 und 31%.

Die konventionelle Zentrifuge erreichte max. 25%. In ähnlicher Größenordnung lag auch der Wert für die kontinuierliche Filterpresse.

Beachtet man weiterhin, daß die modifizierte Zentrifuge mit ihrer Nennleistung von 40 m<sup>3</sup>/h belastet werden konnte, während die Pressen lediglich mit etwa 50% der angegebenen Nennleistung zu fahren waren, so erübrigt sich jede weitere Diskussion über den Fortschritt, der bei der Weiterentwicklung der Schlammzentrifuge erzielt wurde.

Schließlich liegt die Kapazität der zur Zeit größten Maschinen dieser Bauart bei 80 bis 100 m<sup>3</sup>/h. Damit ist selbst für Kläranlagen von Großstädten der Einsatz weniger Maschinen ausreichend, um die in den Klärwerken anfallenden Schlämme zu behandeln. (Wird fortgesetzt)

Literaturverzeichnis — am Ende des II. Teiles des Berichtes.

## ZASTOSOWANIE WIRÓWEK SEDYMENTACYJNYCH DO ODWADNIANIA DROBNYCH SUSPENSJI

### CZEŚĆ I. PODSTAWY ODWADNIANIA PRZEZ WIROWANIE I ZARYS ROZWOJU WIRÓWEK

W pracy dokonano przeglądu rozwoju wirówek sedymentacyjnych, przystosowanych do odwadniania bardzo drobnych suspensji.

Pokazano, w jaki sposób wyniki uzyskane w skali półprzemysłowej można przenieść na warunki techniczne dowolnej wielkości. Wprowadzono parametry obliczania przepustowości cieczy i substancji stałych w wirówce oraz wilgotności końcowej placka osadowego.

Szczegółowo opisano najnowsze wyniki badań nad zjawiskami zachodzącymi podczas transportu ciał stałych w części stożkowej wirówki i o znaczeniu kształtu stożka (kąt i długość) przy stosowaniu wirówek do wstępnego zagęszczania osadów.

## DEHYDRATION OF FINE SUSPENSIONS BY MEANS OF A SETTLING CENTRIFUGE PART. I. FUNDAMENTALS OF DEHYDRATION BY SETTLING CENTRIFUGES AND OUTLINES OF DEVELOPMENT OF CENTRIFUGES

The development of settling centrifuges fitted for dehydration of fine suspensions has been reviewed. The way, in which the results obtained in pilot scale investigations can be transferred to an arbitrary scale, has been shown. Suitable parameters have been introduced for calculations of the liquid and solid flow capacity in centrifuge as well final moisture content of sludge cake.

The most recent results concerning the phenomena occurring in conical part of the centrifuge during the transport of solids, and the importance of the shape of cone (angle and length) in application of the centrifuge to a preliminary sludge thickening have been described in detail.

## ДЕГИДРАТАЦИЯ МЕЛКИХ СУСПЕНЗИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕДАМЕНТАЦИОННЫХ ЦЕНТРИФУГ

### ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ ДЕГИДРАТАЦИИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ И ОБЗОР РАЗВИТИЯ ЦЕНТРИФУГ

В работе представлен обзор развития седиментационных центрифуг, предназначенных для дегидратации очень мелких суспензий. Показано, каким образом результаты, полученные в масштабах пилотных исследований, можно перенести на производство любой мощности. Приведены параметры для расчета пропускной способности жидкостей и твердых веществ в центрифуге и конечной влажности осадка. Детально описаны новейшие результаты исследования явлений, происходящих во время переноса твердых частиц в конические части центрифуги и значения формы конуса (угол и длина) при применении центрифуг для предворительного уплотнения осадков.