

ATV-JAHRESHAUPTVERSAMMLUNG

STUTTGART 1986

Fachvorträge

BMFT-Statusseminar

Aussteller-Forum



UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMALEN ENTWÄSSERUNG VON SCHLÄMMEN IM ZENTRIFUGALFELD DURCH EINBRINGEN MECHANISCHER ENERGIE

Dipl.-Ing. W. Flory, Prof. Dr.-Ing. W. Stahl
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik der Universität
Karlsruhe (TH), D-7500 Karlsruhe

Forschungsziel

Seit Jahren nimmt die Menge der jährlich anfallenden Schlämme zu. Es ergibt sich daraus auch eine zunehmende Problematik bei der Entsorgung. Oft enthalten diese Schlämme nämlich Stoffe, die ein Ablagern auf landwirtschaftlichen Nutzflächen verbieten. Die Schlämme müssen dann, falls nicht anderweitig entsorgt, deponiert werden. Dem steht entgegen, daß Deponieplätze knapper und teurer werden. Außerdem werden oft besondere Forderungen an die Deponierbarkeit, wie z.B. Stichfestigkeit gestellt. Es lag daher nahe, ein neues Verfahren zur verbesserten Schlammbehandlung zu entwickeln, welches das eventuell zu deponierende Schlammvolumen verringert.

Als wesentliche Grundgedanken zur Verbesserung der Situation wurden erkannt:

- Das Schlammvolumen kann verringert werden durch eine Absenkung des Feuchtegehalts, was gleichzeitig die Stichfestigkeit verbessert.
- Die Absenkung des Feuchtegehalts soll möglichst weitgehend auf mechanischem Wege geschehen, da eine eventuell notwendige thermische Trocknung im allgemeinen teurer ist.
- Besonders dann, wenn der Schlamm durch ein thermisches Verfahren zwecks Weiterverwertung zu einem Wertprodukt verarbeitet werden soll, wie z.B. zum Zuschlagstoff für die Baustoffindustrie (1), kann durch möglichst weitgehende mechanische Entfeuchtung Energie gespart werden.

Nun werden zur Klärung von Suspensionen und Entfeuchtung von Schlämmen eine Vielzahl verschiedenartiger Filterapparate und Zentrifugen benutzt. Die Eignung dieser Apparate und Maschinen hängt vor allem von dem jeweils zu behandelnden Stoff ab. Zum Beispiel können Feinstoffe ein Filtermedium durchdringen und Schleimstoffe können eine Filtration ver- oder behindern. Außerdem werden schlamm- bzw. verfahrensspezifische Trockenstoffgehalte erreicht, die noch verbesserungsfähig sind.

Das hier vorgestellte Konzept beruht auf einem neuen Sedimentverdichtungsverfahren, in dem bereits behandelte, sei es filtrierte oder sedimentierte Schlämme auf mechanischem Wege unter Verwendung des Zentrifugalfelds und einer zusätzlichen Scherung nachbehandelt werden. Es gestattet auch, Schlämme mit ausreichend hohem Feststoffgehalt direkt zu behandeln.

Die eigentliche Entfeuchtung eines Sediments unter der Einwirkung eines Kraftfelds kann man betrachten als einen Vorgang, bei dem das Sediment unter dem eigenen Gerüstdruck kompaktiert, das Porenvolumen verringert und dabei die in den Poren befindliche Feuchte auspreßt.

Die erreichbare Entfeuchtung ist hierbei eine stoffabhängige Funktion des Preßdrucks. Die Feuchte im Sediment kann bis zu einem gewissen Maße durch Erhöhen des Preßdrucks verringert werden. Allerdings führt die Verminderung der Porengröße durch die Kompaktierung auch zu einem erhöhten Widerstand für die auszupressende Feuchte, was wegen des dadurch erhöhten Strömungswiderstands zu einer degressiven Zeitabhängigkeit der Entfeuchtung führt.

Der entscheidende Gedanke war daher, zwar einen Schlamm durch Pressung zu komprimieren, jedoch gleichzeitig das Porensystem zur Verbesserung des Abdrainierens durch Scherung zu stören.

Versuche von Riemenschneider (2) haben im Zusammenhang mit der Preßfiltration gezeigt, daß Preßfilterkuchen abhängig vom anliegenden Preßdruck nach degressiven, stoffabhängigen

Funktionen entfeuchten. Besonders aber hat er gezeigt, daß eine zusätzlich eingebrachte Scherung sowohl zu einer niedrigeren Feuchte im Kuchen bei gleichem Preßdruck führt, als auch zu kürzeren Entfeuchtungszeiten, wenn man eine bestimmte Restfeuchte als Bezugsgröße betrachtet.

Industriell angewandt wird die Entfeuchtung durch Pressen und Scheren z.B. erfolgreich in der Scherzone bei Bandfilterpressen. Nachteilig ist hier jedoch, daß häufig der zu verarbeitende Schlamm durch Zugabe von Zuschlagstoffen konditioniert werden muß, um in dieser Maschine entfeuchtet werden zu können. Der anwendbare Druck hat dabei seine Grenzen in der Festigkeit der verwendeten Filterbänder. Die einbringbare Scherung ist bedingt durch die Pressengeometrie und die Kondition des Schlammes.

Es sind aber auch andere Maßnahmen zum Einbringen einer Scherung in einen Schlamm bei gleichzeitigem Pressen denkbar, wie z.B. Rütteln oder Rühren. In dieser Arbeit wird von einer Vollmantelzentrifuge ausgegangen, da die Anwesenheit von Fein- oder Schleimstoffen deren Anwendung nämlich nicht grundsätzlich verhindert.

Der für die Pressung notwendige Druck wird in ihr durch die Einwirkung des Zentrifugalfelds auf die Sedimentmasse erzeugt. Für ein Sediment, dessen Dichte ρ_s der Sedimenthöhe konstant ist, kann man zur Veranschaulichung folgende Gleichung für den Druck p_G angeben, den eine radial weiter innen befindliche Schicht auf eine weiter außen befindliche ausübt:

$$p_G = \rho_s \cdot \omega^2 \cdot (r^2 - r_i^2) / 2.$$

Anhand von Abb. 1 sei dies erläutert:

Der Druck hat am radial innen gelegenen Rand r_i des Sediments den Wert null und steigt quadratisch mit dem Radius r auf sein Maximum an der Trommelwand an. Der Druck läßt sich dabei relativ leicht durch eine Variation der Trommeldrehzahl ω im Rahmen der Trommelfestigkeit auf ein erforder-

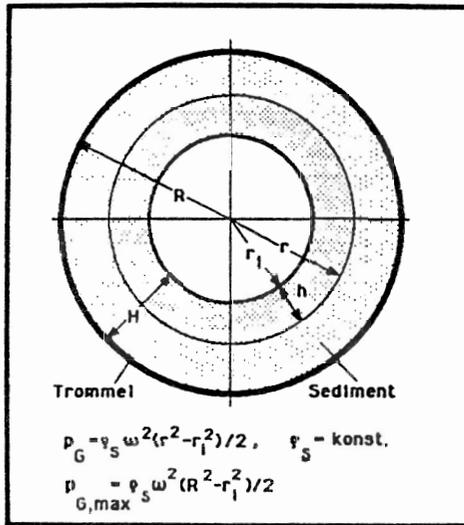


Abb. 1 Druck im Sediment in einer Vollmantelzentrifuge

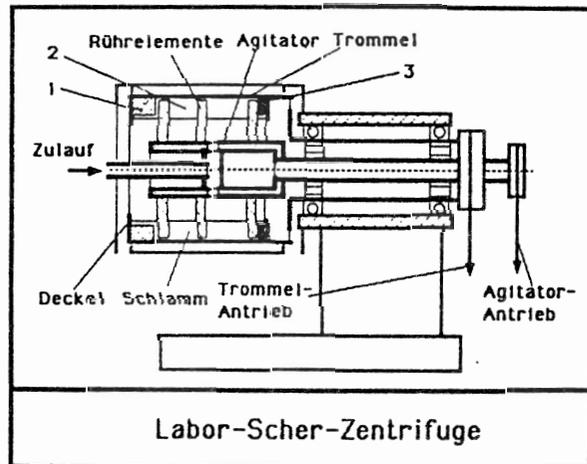


Abb. 2 Schemadarstellung der Laborzentrifuge

liches Maß einstellen. Für eine theoretische Behandlung wirkt sich allerdings erschwerend aus, daß die Sedimentdichte im allgemeinen eine nicht vollständig theoretisch ableitbare Funktion des Drucks ist.

Außerdem ließen sich zu Beginn dieser Arbeit über die Auswirkung der zusätzlichen Scherung auf die Entfeuchtung im Zentrifugalfeld noch keine Aussagen treffen, da keine Grundlagenarbeiten bekannt waren.

Basisversuche

Demzufolge wurden zuerst einmal Vorversuche durchgeführt. Eine kleine Laborzentrifuge erhielt eine zylindrische Trommel, und der zuvor eingebaute Transportschneckenkörper wurde durch einen Schermechanismus ersetzt. Der Schermechanismus bestand aus einem Agitatoreinsatz, der mit zur Trommel unterschiedlicher Drehzahl betrieben werden konnte.

Abb. 2 zeigt ein Schema dieser abgeänderten Laborzentrifuge. Im Rahmen gewisser Grenzen konnte bei dieser Zentrifuge die Trommeldrehzahl und die Agitator-drehzahl variiert werden. Da auch die Agitatorgeometrie von Einfluß schien, wurden verschiedene Agitortypen getestet, wie zum Beispiel:

- Stachelrührer
- Scheibenrührer
- Wendelrührer und
- Paddelrührer mit mehreren Paddelreihen und verstellbaren Paddeln.

Es wurde jeweils das Entfeuchtungsergebnis von ungestört geschleudertem Sediment mit dem von gleichzeitig gerührtem verglichen. Die Maschine wurde diskontinuierlich betrieben. Zur Ermittlung der mittleren Feuchte im Sediment wurden Proben an der Stelle 1 (siehe Abb. 2) entnommen.

Es zeigte sich ein erheblicher Einfluß der Agitatorgeometrie. Im Rahmen der maschinenbedingt begrenzt variablen Versuchsparameter hatte nur der Paddelrührer einen meßbaren Einfluß auf das Entfeuchtungsergebnis. Abb. 3 zeigt ein

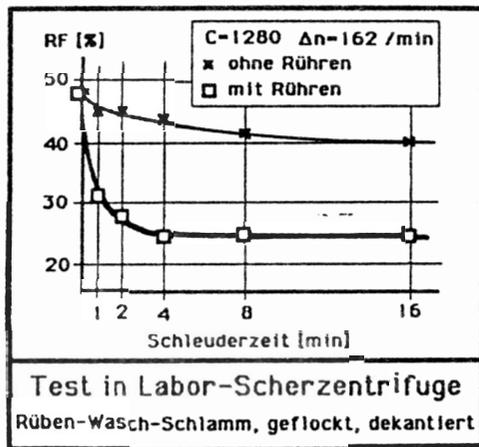


Abb. 3 Restfeuchte im Sediment über der Schleuderzeit

Beispiel für die unterschiedliche gemessene mittlere Feuchte im Vergleich zum ungestörten Sediment. Der dabei getestete Schlamm stammt aus dem Austrag einer industriell betriebenen Dekantierzentrifuge.

Die signifikanten Aussagen des Diagramms sind folgende: Zum einen läßt sich mit zusätzlichem Scheren ein wesentlich niedrigeres Feuchteniveau erzielen, zum anderen erreicht man eine bestimmte Sedimentdichte in wesentlich kürzerer Schleuderzeit. Die unter zusätzlichem Scheren entstandenen Sedimente waren wegen ihrer Festigkeit teilweise nur mit Mühe aus der Zentrifuge zu entnehmen.

Eine allgemeingültige Aussage über die Wirkung des zusätzlichen Scherens auf beliebige Schlämme konnte jedoch verständlicherweise nicht gemacht werden, obwohl unterschiedliche Schlammarten untersucht wurden. Jedoch lieferten die durchgeführten Tests derart vielversprechende Ergebnisse, daß sie zur Grundlage für die Konzeptierung eines Prototyps einer neuartigen Zentrifuge herangezogen wurden.

Grundanforderungen für den zu entwickelnden Prototypen

Um den Prototypen möglichst praxisnahe zu erstellen, wurden folgende allgemeinen Grundanforderungen erarbeitet:

- Bewältigung praxisnaher Durchsätze
- kontinuierlicher Betrieb
- leicht zugänglicher Verfahrensraum, um die bei einer Entwicklungsarbeit zu erwartenden Änderungen mit möglichst geringem Aufwand vornehmen zu können
- Variationsbreite der Einstellparameter größer als bei der Laborzentrifuge, um eventuelle Grenze des Betriebsbereichs finden zu können
- Einspeisung entsprechend zäher, vorentfeuchteter Schlämme möglich.

Konzeptentwicklung

Konzept zur Gesamteinbindung der Zentrifuge in ein Klär- und Entfeuchtungsverfahren

Da eine derart konzipierte Maschine wegen der in ihr im Scherteil erzeugten Turbulenzen für eine Klärung ungeeignet ist, wenn Scher- und Klärteil nicht ausreichend voneinander getrennt sind, wurden Konzepte entwickelt, nach denen man die Maschine wirksam in einem kombinierten Klär-Entfeuchtungsverfahren einsetzen kann. Zwei davon seien hier vorgestellt:

Abb. 4 zeigt eine Zusammenschaltung einer üblichen Dekantierzentrifuge mit der neuartigen Klärzentrifuge. Die zu klärende Suspension gelangt über den Zulauf in die Dekantierzentrifuge und wird hier getrennt in Klärflüssigkeit und Schlamm 1. Der Schlamm 1 wird zu einer weiteren Entfeuchtung der Scher-Zentrifuge zugeführt und verdichtet. Der weitergehend entfeuchtete Schlamm wird über den Austrag, hier als Schlamm 3 bezeichnet, abgeführt. Das bei der Scherzentrifuge entstehende trübe Zentrifugat, als Schlamm 2 be-

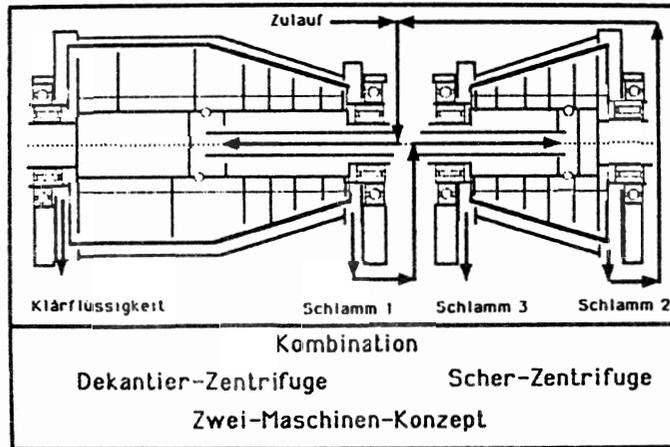


Abb. 4 Konzeptvariante "Zwei-Maschinen-Konzept"

zeichnet, wird zur Dekantierzentrifuge zum Klären zurückgeführt.

Abb. 5 zeigt eine andere Variante. Hier ist der Scherteil in eine Dekantier-Zentrifuge integriert. Die Rückführung des beim Scheren entstehenden Trübeanteils vollzieht sich innerhalb der Zentrifuge selbsttätig. Der Trübeanteil wird im anschließenden Klärteil nachgeklärt. Bei dieser Ausführung kann der Antrieb der Schnecke zum Erzeugen des Schlammtransports vom Antrieb des Scherteils getrennt sein, um eine optimale Einstellung der unterschiedlichen Funktionen zu erreichen. Zum damaligen Kenntnisstand schien es allerdings erforderlich, erst einmal Erfahrungen mit der eigentlichen Scherzentrifuge zu sammeln, bevor eine derartig aufwendige Maschine, wie im zweiten Konzept dargestellt, entwickelt wird. Daher wurde vorgezogen, die Scherzentrifuge als getrenntes Aggregat zu entwickeln.

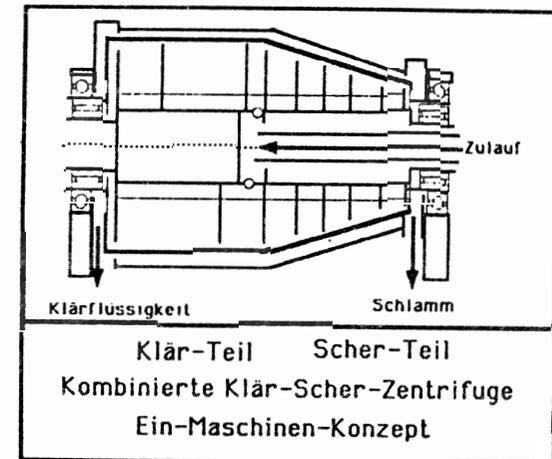


Abb. 5 Konzeptvariante "Einmaschinenkonzept"

Verfahrenskonzept

Unter Anwendung der in den Basisversuchen gewonnenen Erkenntnisse über die Wirksamkeit verschiedener Agitatorgeometrien und die ebenfalls festgestellten Transportphänomene ließ sich folgendes kontinuierliche Verfahren konzipieren.

Kurze Beschreibung des Verfahrens

Anhand von Abb. 6 sei das Verfahren erläutert: Der zu entfeuchtende Schlamm wird am Zulauf der Scherzentrifuge zugeführt und gelangt über Öffnungen im Agitator in den Verfahrensraum. Hier wird er durch die rotierende Trommel auf Umfangsgeschwindigkeit beschleunigt, bildet ein Sediment in der Höhe des eingestellten Niveaus und komprimiert durch den sich einstellenden Druck. Gleichzeitig wird über die eingebauten Rührelemente eine Scherung in das Se-

diment eingebracht, welche die Kompression unterstützt und die Trennung von Feststoff und Flüssigkeit bei geeigneten Schlämmen begünstigt. Die radial weiter innen befindliche entstehende dünnflüssige Trübe kann über den Überlauf als Zentrifugat abströmen und in einen eventuellen Klärprozeß zurückgeführt werden. Das entstehende zähe Sediment wird von dem geeignet gestalteten Agitator zum kleineren Durchmesser der Trommel transportiert und dort abgeschleudert.

Maschinenkonzept

Bei der Umsetzung des Verfahrenskonzeptes entstand das ebenfalls anhand von Abb. 6 erläuterte Maschinenkonzept:

- fliegende Lagerung zur Erleichterung zu erwartender Umbauten
- konische Trommel mit 450 mm \varnothing und 450 mm Länge
- Antrieb des die Scherung bewirkenden Agitators durch eine Welle innerhalb der Hauptwelle
- leicht auswechselbar befestigter Agitator, um Änderungen der Geometrie zu erleichtern
- über ein mitrotierendes Getriebe angetriebener Agitator, um die umlaufende Blindleistung im rotierenden System zu belassen
- Transport des Sediments durch geeignet gestalteten Agitator
- Agitatorantrieb mit Drehmomenten-Meßeinrichtung versehen, um den Energieeintrag messen und optimieren zu können,
- Agitator in der Trommel auf beiden Seiten gelagert, um Schwingungsproblemen vorzubeugen
- Agitator-Differenzdrehzahl in weitem Bereich kontinuierlich regelbar, um günstige Einstellungen beliebig anfahren zu können
- auf Antriebsaggregat zurückgekoppelte Bremsleistung zur Erzeugung der Agitator-Differenzdrehzahl, um den Antrieb zu verbilligen und Energie zu sparen
- kontinuierlich in der Drehzahl regelbares Antriebsaggregat.

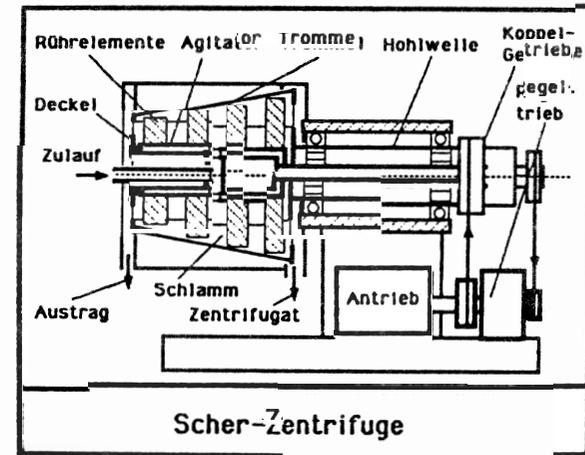


Abb. 6 Schemadarstellung der Scherzentrifuge

Durchführung des Vorhabens

Die Maschine wurde konzeptgemäß konstruiert und zum Teil bei Industriefirmen, zum Teil in unserem Institut gefertigt und zusammengebaut.

Naturgemäß waren in der Anlaufphase die bei Prototypen üblichen Schwierigkeiten allgemeiner Art zu bewältigen, wie z.B. Schwingungsprobleme, starke Unwuchten, Verzug der Trommel, fertigungsbedingte Mängel u.ä. In der derzeitigen Entwicklungsphase wird beabsichtigt, den Transport des in der Trommel befindlichen Schlammes bei verschiedenen Drehzahlen und einem definierten Versuchsprodukt darzustellen, daß gleichzeitig eine effektive Trennung zwischen Feststoff und Feuchte erreicht wird, sowie konkrete Problemschlämme zu behandeln. Abb. 7 zeigt ein Foto der fertigen Zentrifuge.

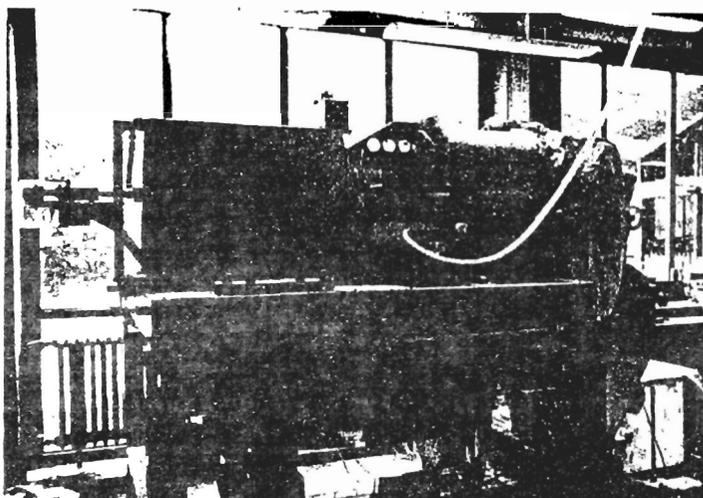


Abb. 7 Die fertiggestellte Zentrifuge

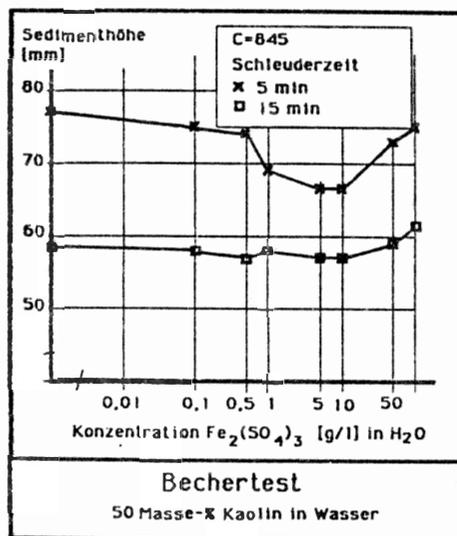


Abb. 8 Sedimenthöhe über der Salzkonzentration in Zentrifugenbechern

Untersuchungen zur Flockung und Sedimentbildung

Parallel zur Entwicklung der Zentrifuge wurden Untersuchungen an einer Becherzentrifuge durchgeführt, bei denen der Einfluß der Flockung der zu trennenden Suspension auf die Dichte des sich bildenden Sediments getestet wird. Zweck der Untersuchungen ist es, tendenzielle Aussagen über das Verhalten von Schlämmen unter dem Einfluß des neuen Verfahrens machen zu können, bevor aufwendige Tests an der Großanlage durchgeführt werden, sowie grundlegende Einsichten über Einflußparameter zu gewinnen.

Wie die Untersuchungen zeigen, bilden geflockte Suspensionen, wenn sie ungestört sedimentieren können, relativ poröse und damit in Vollmanteltrommeln feuchte Sedimente. Von entscheidendem Einfluß auf die Sedimentverdichtung erwiesen sich:

- der pH-Wert
- die Ionen-Konzentration, -Valenz, -Art
- die Dispergiermittel-Konzentration, -Art
- die Flockungsmittel-Konzentration, -Art in der zentrifugierten Suspension

u.a.

Anhand von Abb. 8 sei das am Beispiel der $Fe_2(SO_4)_3$ -Konzentration in einer Kaolinsuspension mit einem Feststoff-Massenanteil von 50 % erläutert. Das Ergebnis hängt nicht nur von der Ionen-Konzentration, sondern offensichtlich auch von der Schleuderzeit ab. Die Zeitabhängigkeit wirkt sich damit noch erschwerend auf das Beurteilen des Stoffverhaltens aus. Das Diagramm zeigt, daß die Absetzhöhe auch hochkonzentrierter Suspensionen durch die Salzkonzentration bei kurzen Schleuderzeiten stark beeinflusst wird.

Abb. 9 zeigt die mittlere Restfeuchte im Sediment über dem pH-Wert im Zentrifugat. Die untere Kurve entstand, wenn man das Sediment nach Unterbrechung des Zentrifugierens rührte und erneut schleuderte.

Man kann daraus folgern, daß das Stören eines Sediments bei

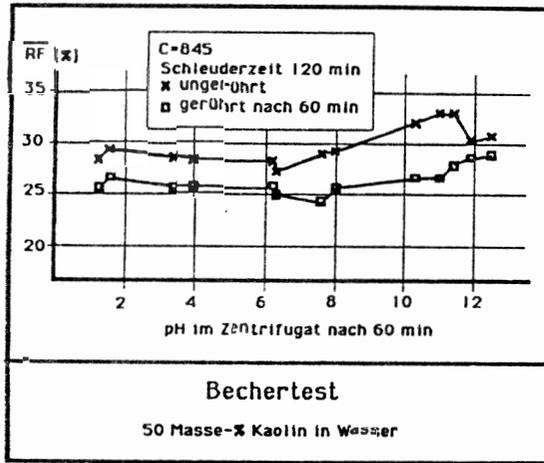


Abb. 9 Restfeuchte im Sediment in einer Becherzentrifuge über den pH-Wert im Zentrifugat

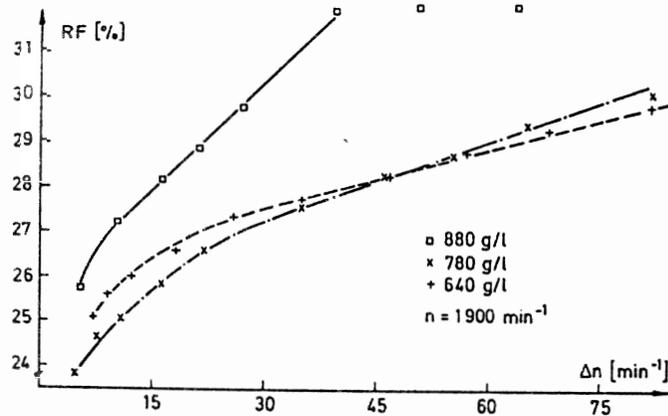


Abb. 10 Restfeuchte RF über der Agitator-Differenzdrehzahl Δn bei unterschiedlichen Feststoffmassenanteilen im Zentrifugenzulauf

gleichzeitigem Zentrifugieren zu einer dichteren Sedimentstruktur, also zu einem weniger feuchten Sediment führt. Inwieweit man allerdings die weniger aufwendigen Bechertests mit den Ergebnissen der kontinuierlichen Zentrifuge korrelieren kann, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Zusätzliche Untersuchungen zum Einfluß organischer Flockungsmittel zeigten ebenfalls eine Abhängigkeit der im Zentrifugalfeld erzielbaren Sedimentdichte von der Art und Konzentration des organischen Flockungsmittels.

Versuchsergebnisse mit der neuen Zentrifuge

Um über einen längeren Zeitraum die Versuchsbedingungen konstant halten zu können, wurde die Maschine mit einem Kaolin-Quarzmisch eingefahren. Abb. 10 zeigt erste Ergebnisse der erreichbaren Feuchte RF im Schlammaustrag über der Agitator-Differenzdrehzahl Δn bei unterschiedlichen Feststoff-Massen-Anteilen im Zulauf. Es zeigt sich eine starke Abhängigkeit von der Zulaufkonzentration. Außerdem ist eine relativ niedrige Feuchte im Sediment erzielbar, erfreulicherweise bei niedrigen Differenzdrehzahlen. Der Abscheidegrad betrug hierbei ca. 68 %.

Abb. 11 zeigt die dabei verbrauchte eingetragene Rührleistung P bezogen auf den durchgesetzten Feststoff über der Restfeuchte RF. Durchgesetzt wurden bei diesen Versuchen 1900 Liter Suspension pro Stunde. Wie man sieht, wird der minimale Energieeintrag im Bereich niedriger Differenzdrehzahlen erreicht. Nach Unterschreiten einer gewissen Feuchte steigt der Energieeintrag jedoch wieder an. Es wurden bereits erste Versuche mit Neckarbaggerschlamm durchgeführt, wobei die erzielten Feuchten im Schlammaustrag ähnlich niedrig lagen bei jedoch ungünstigerem Abscheidegrad. Da jedoch diese Schlämme je nach Baggerstelle ein unterschiedliches Entfeuchtungsverhalten haben, müssen weitere Versuche durchgeführt werden, bevor endgültige Aussagen zu treffen sind.

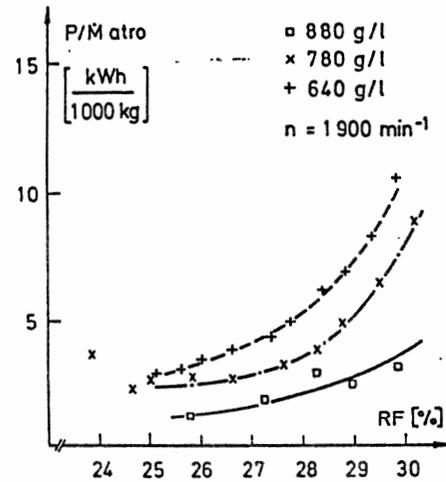


Abb. 11 Auf den Feststoff-Massendurchsatz bezogene Agitatorleistung über der Sedimentrestfeuchte bei verschiedenen Feststoff-Massenkonzentrationen im Zulauf

Literatur

- 1) Beitinger, E., Merklein-Lempp, L., Meyer-Hübner, V.,
 BMFT-Forschungsbericht T 85-012
- 2) Riemenschneider, H.
 Entfeuchten durch Pressen
 Dissertation, Universität Stuttgart, 1983