

Themenbereich (C):

MASCHINELLE AUSRÜSTUNG DER SCHLAMM- BEHANDLUNG

1. Einleitung

Unter Schlammbehandlung werden alle Vor- und Aufbereitungsschritte verstanden die erforderlich sind um den anfallenden Klärschlamm möglichst schadlos verwerten oder ablagern zu können. Im Rahmen dieses Referates werden schwerpunktmäßig die Schlammförderung mit Pumpen, die Schlammstabilisierung, die Eindickung und Entwässerung sowie die Trocknung behandelt.

Die Bereiche der Hygienisierung, der Verbrennung, der Kompostierung, der landwirtschaftlichen bzw. landschaftsbaulichen Verwertung und Deponierung wurden bewusst sehr kurz gehalten bzw. komplett ausgeklammert.

Im vorliegenden Papier sollen Maschinen und Anlagen vorgestellt, ihre Funktionsweise erläutert und wesentliche Gebrauchseigenschaften angesprochen werden.

2. Schlammförderung mit Pumpen

Beim Fördern von Schlämmen ist grundsätzlich zwischen solchen mit geringem Feststoffgehalt (ca. 2%) und Schlämmen mit hohem Feststoffanteil zu unterscheiden. Schlämme mit geringem Feststoffgehalt (z.B. Rücklaufschlamm) folgen mit ausreichender Genauigkeit den hydraulischen Gesetzmäßigkeiten für Reinwasser.

Klärschlämme mit höherer Feststoffkonzentration, in denen die organische Substanz vorherrscht (z. B. Belebt- und Faulschlämme) sind Flüssigkeiten, deren Viskosität nicht konstant ist, sondern sich in Abhängigkeit von den auf die Flüssigkeit ausgeübten Kräften verändert (Strukturviskose – Flüssigkeit). Diese Änderung in der Zähigkeit des Schlammes ist darauf zurückzuführen, dass bei seiner Förderung die Schubspannung in der Leitung nicht linear mit dem Schergefälle zunimmt. Für die Fließeigenschaften von Klärschlamm sind neben dem Feststoffgehalt auch der Glührückstand und die Struktur des Schlammes entscheidend. Dies führt dazu, dass bei Vergrößerung der Fließgeschwindigkeit in einer Rohrleitung die Rohrreibungsverluste nicht in gleichem Maß zunehmen wie die Geschwindigkeit. In der Praxis treten daher, absolut gesehen, größere Verlust als bei Wasser auf, die mit steigender Strömungsgeschwindigkeit aber nicht so stark anwachsen.

Ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Strömungsverluste bei der Rohrströmung von Schlamm wurde von ANNEN (1963) vorgeschlagen. Voraussetzung für die Anwendung, ist die Durchführung von Messungen der rheologischen Eigenschaften, an dem zu fördernden Schlamm.

Die Resultate einer Messung an einer Klärschlammdruckleitung findet man bei HANITSCH (1981). Daraus wird ersichtlich, dass es schwierig ist die rheologischen Eigenschaften eines Klärschlammes nur über seinen Feststoffgehalt zu definieren.

Es ist nicht möglich, die Strömungsverluste einer laminaren Rohrströmungen mit Schlamm hohen Feststoffgehaltes durch Multiplikation des Ergebnisses einer Reinwasserrechnung mit einem Faktor, zu ermitteln. Bei turbulenter Strömung ist eine Abschätzung der Verluste durch einen Aufschlag von 15% – 50% möglich. Die Größe des Zuschlages hängt von den Schlammeigenschaften (z. B. zunehmender Feststoffgehalt – größerer Zuschlag) sowie von der Strömungsgeschwindigkeit (z.B. steigende Strömungsgeschwindigkeit – sinkender Zuschlag) ab ZÄSCHKE (1984).

Obige Ausführungen sollen aufzeigen, dass die einer Pumpenauslegung und Pumpenauswahl vorangehende Druckverlustberechnung einige Probleme aufwirft. Die Behandlung des Themas ist wegen seiner Größe in diesem Vortrag nicht möglich. Dem interessierten Leser sollte die angeführte Literatur jedoch eine Hilfestellung sein.

2.1 Pumpenarten

Zur Schlammförderung werden verschiedenste Pumpen eingesetzt. Häufig findet man auf Kläranlagen Kreiselpumpen und Exzentrerschneckenpumpen. Im Vergleich zu Kreiselpumpen ist mit Exzentrerschneckenpumpen eine große Förderhöhe mit vergleichsweise geringer Fördermenge erreichbar. (z.B. Beschickung von Faulräumen oder Eindick- und Entwässerungsmaschinen). Mit Kreiselpumpen werden vergleichsweise geringere Förderhöhen aber große Fördermengen realisiert (z.B. Faulraumumwälzung, Rezirkulationen).

2.1.1 Kreiselpumpen

Bei diesen Pumpen sind Volumenstrom und Förderhöhe voneinander abhängig. Bei kleiner werdendem Druck erhöht sich die Fördermenge. Sie werden mit unterschiedlichen Laufrädern angeboten (Einkanalarad, Mehrkanalarad, Freistromrad). Falls sich das eingesetzte Laufrad nicht bewährt hat, kann man ohne Umbau der Pumpe auf einen anderen Laufradtyp überwechseln.

Schlammkreiselpumpen erfordern Laufräder mit geringer Schaufelzahl. Am besten bewährt haben sich Laufräder mit 1 oder 2 Kanälen. Grundsätzlich sollte eine störungsfreie Schlammförderung den Vorrang vor einem hohen Wirkungsgrad haben.

Im Hinblick auf eine lange Lebensdauer der Pumpen sollten die Drehzahlen nicht zu hoch (< 1500/min) gewählt werden, selbst wenn die nächst größere Type eingesetzt werden müsste.

Die Abdichtung des Laufrades zum Antrieb erfolgt entweder mit Stopfbüchsen, diese sind in der Regel billig und einfach auf der Anlage herzustellen auch eine Neuverpackung ist einfach möglich. Mittels Stopfbüchsen gedichtete Pumpen müssen immer sogenanntes Leckwasser aufweisen (Ableitung dieses Leckwassers erforderlich). Das Leckwasser kann das Fördermedium selbst oder Nutzwasser (über eine Druckwasserleitung angeschlossen) sein. Der direkte Anschluss an eine Trinkwasserleitung ist nicht zulässig (Verschmutzungsgefahr).

Eine elegante Methode stellen die sogenannten Gleitringdichtungen dar es gibt hier eine Fülle von Ausführungen. Generell ist anzumerken, dass speziell keramische Gleitringdichtungen empfindlich beim Einbau und teuer sind aber im laufenden Betrieb praktisch keinem Verschleiß unterliegen.

Normale Kreiselpumpen benötigen vor Inbetriebnahme Vollfüllung und sind deswegen unter dem Schlammspiegel aufzustellen. Hat die Förderung eingesetzt, kann eine gewisse Saughöhe überwunden werden. Bei gasenden oder warmen Schlämmen ist jedoch die Haltedruckhöhe (der NPSH-Wert) zu beachten der eine ständige statische Mindestzulaufhöhe erforderlich machen kann.

Zur Schlammförderung werden einstufige Kreiselpumpen (Förderhöhen bis zu 6 bar) eingesetzt. Mehrstufige Ausführungen sind wegen der erhöhten Verstopfungsgefahr bisher nicht im Einsatz. Dagegen ist eine Reihenschaltung von 2 einzelnen Pumpen zur Vergrößerung der Förderhöhe durchaus möglich und üblich. Bei der als 2. Stufe einsetzten Pumpe sollte darauf geachtet werden, dass die Stopfbuchse dem annähernd verdoppelten Druck mit ausreichender Sicherheit Stand hält.

Kreiselpumpen mit Freistromlaufrädern eignen sich gut zur Förderung von Schlämmen mit groben und/oder faserigen Beimengungen. Sie erreichen 1-stufig ebenfalls Förderhöhen bis zu 6 bar bei Drehzahlen um 1500 U/min, allerdings arbeiten sie mit einem geringeren Wirkungsgrad als Pumpen mit 1- oder 2-Kanallaufrädern.

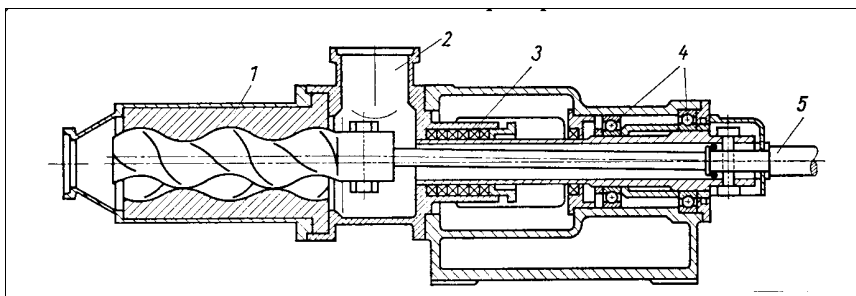
Kreiselpumpen sind nicht selbstsperrend und müssen, um Rückströmungen zu vermeiden, mit entsprechenden Armaturen ausgerüstet werden. Sie können (und müssen manchmal) gegen geschlossene Schieber angefahren werden. Zu beachten ist auch die Verschleißgefahr bei sandigen Schlamminhaltstoffen. Ein kurzer Trockenlauf ist, bei entsprechender Dichtungsausführung, kein Problem. Sammelt sich Gas im Spiralgehäuse oder lagern sich Verzopfungen am Laufrad an so geht der Fördervolumenstrom meist drastisch zurück.

Bei Kreiselpumpen ist (im Gegensatz zu Verdrängerpumpen) die Förderrichtung unabhängig von der Drehrichtung des Laufrades, d.h. es stellt sich bei beiden Drehrichtungen ein Förderstrom ein. Vor der Inbetriebnahme ist daher die richtige Drehrichtung zu kontrollieren, das ist jene für die die Pumpe konstruiert wurde und bei der sich ein guter Wirkungsgrad einstellt. Zu diesem Zweck ist auf dem Pumpengehäuse in der Regel ein Richtungspfeil eingegossen. Leider ist aber die Bedeutung dieses Pfeils nicht bei allen Pumpenfabrikaten gleich. So bedeutet der Pfeil einmal die Richtung des sogenannten „Start-Rucks“ (entgegengesetzt der Drehrichtung des Laufrades) und einmal die tatsächliche Drehrichtung des Laufrades. Die Pumpenspezifikation gibt in der Regel Auskunft über die Bedeutung des Pfeils.

Zur Veränderung des Volumenstromes werden heute praktisch ausschließlich die Drehzahlregelung sowie die Aussetzregelung (ein – aus Betrieb der Pumpe) eingesetzt.

2.1.2 Exzentrerschneckenpumpe

Exzentrerschneckenpumpen arbeiten nach dem Verdrängungsprinzip. Es wird eine Schnecke, der sogenannte Rotor, in einem entsprechend negativ ausgeformten Gehäuse, dem Stator, gedreht. Dadurch entstehen Kammern in denen wie bei einer Kolbenpumpe das Fördermedium gefördert wird. Folgende Abbildung zeigt den Aufbau



1 Stator

2 Druckrohr

Abbildung 1: Exzentrerschneckenpumpe.

Die Veränderung der Fördermenge von Exzentrerschneckenpumpen ist einfach durch eine Drehzahlveränderung zu erreichen.

Diese Art von Pumpen ist besonders auf Grobstoffe (Sand, Steine,..) empfindlich. Es empfiehlt sich daher vor der ersten Inbetriebnahme peinlichst alle Grobstoffe aus den Rohrleitungen zu entfernen. Auch sind diese Pumpen jedenfalls gegen Trockenlauf zu schützen, da sonst der Stator zerstört wird. Da diese Pumpen nach dem Verdrängungsprinzip arbeiten sind sie selbstsperrend und dürfen nicht gegen geschlossene Schieber gefahren werden. Exzentrerschneckenpumpen kommen auf Kläranlagen häufig zur Beschickung des Faulturmes oder von Schlammmentwässerungsmaschinen zum Einsatz. Es gibt je nach Einsatzgebiet unterschiedliche Materialien für den Stator. Wenn häufig Schäden auftreten, kann eventuell durch ein anderes Statormaterial der Verschleiß reduziert werden. Die Drehzahl sollte 300 U/min nicht übersteigen.

Zur Erhöhung der Standzeit des Rotors werden Spannvorrichtungen angeboten. Dazu muss das Statorgehäuse mit Schlitzern versehen werden. Anschließend wird die Spannvorrichtung um das Gehäuse montiert und mit Spannschrauben zusammengedrückt. Dabei ist die Stromaufnahme des Antriebes zu beachten um Überlast zu vermeiden. Bei Nachlassen des Förderdruckes kann durch Nachspannen der Schrauben das Spiel zwischen Stator und Rotor wieder verringert werden. Nach Angaben von Betreibern kann die Lebensdauer von Statoren solchermaßen vervielfacht werden.

Die Situierung von Exzentrerschneckenpumpen sollte so erfolgen, dass vor dem Stator genügend Platz zum Abziehen zur Verfügung steht. Ist dies nicht der Fall, muss für einen Wechsel des Stators das gesamte Pumpenaggregat demontiert und verschoben werden.

3. Schlammstabilisierung

Die Schlammstabilisierung kann aerob oder anaerob erfolgen. Das Spektrum der maschinellen Ausrüstung ist hier sehr weit gefächert, eine kleine Auswahl wird im folgenden angesprochen.

3.1 Getrennte aerobe Schlammstabilisierung - Belüftungseinrichtungen

3.1.1 Druckbelüftung

Zum Einsatz kommen hier neben den üblichen Teller-, Rohr-, und Plattenbelüftern häufig auch Sonderbauformen die die Luftblasen durch Einwirken mechanische Kräfte zerteilen (FREY 1990). Häufig werden Tauch- und Wendelbelüfter eingesetzt.

Tauchbelüfter sind eine Sonderkonstruktion der Injektorbelüftung. Pumpe, eventuell Gebläse und radial vorgesezte Injektoren sind hierbei zu einer Einheit zusammengefaßt. Zufolge der meist kleinen Antriebsaggregate ergibt sich nur eine geringe Wirtschaftlichkeit. Diese Einheiten können jederzeit in ein Becken eingesetzt und auch wieder demontiert werden.

Bei **Wendelbelüftern** erfolgt ein Teil des Sauerstoffüberganges bereits im Aggregat. Durch die am Wellenende sitzende Wendel wird eine Strömung erzeugt und durch den entstehenden Unterdruck Luft angesaugt. Die Luft wird beim Austritt aus dem Hüllrohr durch die Wendel zerteilt.

Ein häufig anzutreffendes Betriebsproblem ist die Schaumentwicklung während der Belüftung. Auch ist zu beobachten, dass die Schaumentwicklung umso stärker wird, je höher die Temperatur ist. Es ist keine Seltenheit, dass die Regelung der Belüftungseinrichtungen nicht nach dem Sauerstoffgehalt oder der Laufzeit, sondern über Schaumsonden vorgenommen wird, um ein Austreten von Schaum aus dem Becken zu vermeiden.

3.1.2 Oberflächenbelüfter

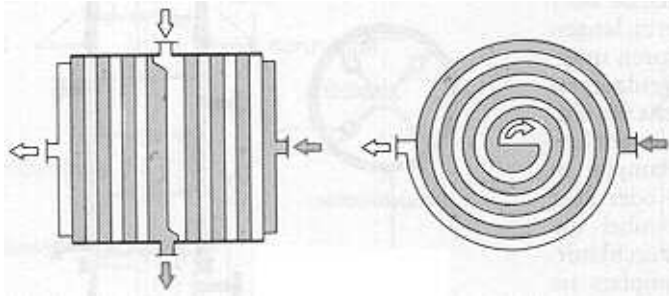
Prinzipiell sind beide Systeme Kreisel- und Walzenbelüfter geeignet. Ein Problem stellt sicher der schwankende „Wasserspiegel“ in den Stabilisierungsbecken dar. Eine gebräuchliche Ausführung sind schwimmende Kreisel.

3.2 Beheizte anaerobe Schlammstabilisierung – Schlammfäulung

Die maschinelle Ausrüstung der beheizten aeroben Schlammfäulung umfasst viele Bereiche. Sie reicht von der eigentlichen Faulraumausrüstung (Mischer; Wärmetauscher; Pumpen, ..) über die Gasanlage (Schaumfalle, Entschwefler, Sicherheitseinrichtungen, ...) bis zur Gasverwertung (Heizkessel, Gasfackel; Blockheizkraftwerk, ...). Hier reicht der zur Verfügung stehende Raum nicht aus alle Bereiche, auch nur kurz, aufzubereiten. Es sollen aber trotzdem einige ausgewählte Punkte angesprochen werden.

3.2.1 Wärmetauscher

Das gebräuchlichste Heizsystem sind **außenliegende Wärmetauscher**, die mit dem Schlammumwälzsystem verbunden sind. Ausgeführt werden praktisch ausschließlich Doppelrohrwärmetauscher (günstig zu reinigen). Das Heizmedium befindet sich im äußeren Ringspalt und der Schlamm fließt durch das innenliegende durchgehende Rohr. Der Spalt zwischen den beiden Rohren sollte nicht zu groß bemessen werden, da sonst die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Wärmeübergangszahl abnimmt.



Die vereinzelt eingesetzten Spiralwärmetauscher zeigen im laufenden Betrieb einen raschen Anstieg der Druckverluste auf der Schlammseite (Verkrustungen) und müssen häufig gereinigt werden.

Abbildung 2: Spiralwärmetauscher

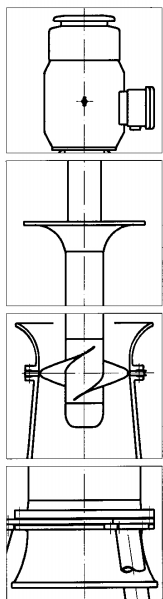
Die vereinzelt eingesetzten Spiralwärmetauscher zeigen im laufenden Betrieb einen raschen Anstieg der Druckverluste auf der Schlammseite (Verkrustungen) und müssen häufig gereinigt werden.

Die vereinzelt eingesetzten Spiralwärmetauscher zeigen im laufenden Betrieb einen raschen Anstieg der Druckverluste auf der Schlammseite (Verkrustungen) und müssen häufig gereinigt werden.

3.2.2 Mischeinrichtungen

Zur Einmischung des frischen Faulschlammes und Vergleichmäßigung (Trockensubstanz, Temperatur, ..) des Faulbehälterinhaltes ist es wichtig den Behälter zu mischen. Zur Unterstützung der Mischwirkung, die durch die Gasbildung hervorgerufen wird, werden verschiedene Mischtechniken eingesetzt.

3.2.2.1 Schraubenschaufler



Dieses Aggregat besteht aus einem Steigrohr und einer Axialpumpe mit geringer Förderhöhe und großem Förderstrom. Die Pumpe sitzt oben im Rohr und kann den Schlamm in beide Richtungen fördern. Durch das zentrale Steigrohr wird eine Zwangsumwälzung des Faulschlammes erreicht.

Abbildung 3: Schraubenschaufler

Bei Durchflussrichtung von **oben nach unten** sollen schwimmenden Schlammrückstände in den untersten Teil des Faulschlammbehälters gedrückt und eine gegebenenfalls aufkommende Schaumbildung vermieden bzw. bereits bestehender Schaum mit dem Faulschlamm vermischt werden.

Bei Durchflussrichtung von **unten nach oben** (wird normalerweise gefahren) soll das Fördergut aus dem unteren Teil des Faulschlammbehälters nach oben gedrückt und über die rotierende Umlenkscheibe auf der Schlammspiegeloberfläche versprüht werden wodurch, falls vorhanden, eine Schwimmschlammdecke aufgeweicht und/oder aufgebrochen werden kann.

Diese Aggregate verursachen dynamische Auflagerkräfte, es sollte daher eine massive Lagerung erfolgen. Der Einbau in großflächige Stahlkuppen auf dem Faulbehälter hat sich nicht bewährt bzw. ist aufwendig (die Stahlkuppen müssen extrem versteift ausgeführt werden).

3.2.2.2 *Rührwerke*

Vermehrt werden derzeit auch sogenannte Aufstrommischer diskutiert. Diese Mischaggregate haben an einer Welle ein oder auch mehrere Rührblätter die im Reaktor eine Strömung erzeugen. Dazu sind gegebenenfalls auch Einbauten an den Behälterwänden erforderlich, um ein Mitdrehen des Schlammes zu verhindern. Nach Herstellerangaben soll Verzopfungen an den Rührwerksblättern durch Drehrichtungsumkehr begegnet werden. Über die Funktion und Bewährung im Betrieb liegen derzeit keine Erfahrungsberichte vor.

3.2.2.3 *Gaseinpressung*

Eine gebräuchliche Methode zur Umwälzung ist die Gaseinpressung. Die Anlage besteht aus einer Gasentnahmestelle am Faulbehälterkopf, einem Gasverdichter (hohe Sicherheitsanforderungen) den verbindenden Leitungen und Armaturen sowie den Gaslanzen. Die Gaslanzen bestehen aus flexiblen Schläuchen und beschwerten Stahlseilen die am Umfang in den Faulbehälter eingehängt sind. Über die Schläuche wird verdichtetes Faulgas in den Behälter eingeblasen und so eine Mischung erreicht. Diese Methode eignet sich besonders für Faulbehälter mit flacher Sohle.

3.2.2.4 *Pumpen*

In der Regel werden zur Faulraumumwälzung Kreiselpumpen eingesetzt. Die Verwendung der Heizkreispumpen für die Behältermischung wird eher nur bei kleineren Anlagen eingesetzt.

3.2.3 Sicherheitseinrichtungen

Im Faulgas steckt ein Gefahrenpotential (Explosionsgefahr bei einem Faulgas–Luftgemisch zwischen 5 und 20 vol%), dem entsprechend werden verschiedenste Sicherheitseinrichtungen zur Vermeidung von Unfällen eingesetzt. Dazu gehören unter anderem Über- und Unterdrucksicherung, Gasfackel, Sicherheitsventile, Kiestöpfe, Blitzschutzeinrichtungen, Flammrückschlagsicherungen, Flammüberwachungseinrichtungen, Gaswarngeräte, etc..

3.2.3.1 *Über- und Unterdrucksicherungen; Flüssigkeitsverschlüsse*

Die Über- und Unterdrucksicherung besteht aus in den Faulbehälter eingebauten oder auf diesen aufgebauten Behältnissen die durch eine Wasservorlage den Überdruck als auch den Unterdruck begrenzen. Sie muss so ausgebildet sein, dass ihr Leerblasen bzw. Leersaugen mit Sicherheit vermieden wird. Die Folge wäre unbemerktes Ausströmen von Gas, z.B. aus dem Gasbehälter.

Der Flüssigkeitsstand sollte einfach kontrolliert und gegebenenfalls ergänzt werden können und die Flüssigkeit darf im Winter nicht einfrieren

3.2.4 Gastransport – Gasaufbereitung

Im Zuge der Gasentnahme bis zum Gasspeicher und der Gasnutzung strömt das Gas durch diverse Behälter und Armaturen, die Sicherheitsaufgaben zu erfüllen haben, und/oder das Gas für den Transport und die Nutzung aufbereiten.

3.2.4.1 *Schaumfallen*

Schaumfallen sind kleinere Behältnisse mit einem Prallblech, die verhindern sollen, dass bei eventuellem Schäumen der Faulbehälter, Schaum (und damit auch Schmutzpartikel) in das Gassystem gelangen. Sie werden nicht überall eingesetzt.

3.2.4.2 *Kiesfilter*

Die Kiesfilter dienen zur Grobabscheidung von mitgerissenen Feststoffen und zur Entfernung der Feuchtigkeit, die bei der Abkühlung des Klärgases anfällt. Die Kiesfilter werden in der Regel im Bereich des Aufgangsturmes des Faulbehälters, in einem eigenem Ex-Schutzraum, situiert.

Die Kiesschüttung liegt auf einem Lochblech. Das Kondensat läuft in eine Vorlage unter diesem Lochblech ab, von wo es abgelassen werden muss. Es ist darauf hinzuweisen, dass automatische (selbsttätige) Kondensatabläufe über Wasservorlagen aus Sicherheitsgründen nicht zugelassen sind.

3.2.4.3 *Entschwefelung*

Faulgas enthält neben Methan und Kohlendioxid auch Schwefelwasserstoff (H_2S). Die Konzentration des Schwefelwasserstoffes ist von der Menge der Sulfatverbindungen abhängig, diese werden unter anaeroben Bedingungen zu Schwefelwasserstoff umgewandelt. Der Schwefelwasserstoff ist für die niedrigen pH-Werte im Kondensat des Faulgases verantwortlich und wirkt extrem korrosiv.

Bei der Verbrennung von Faulgas entsteht SO_2 , dadurch kommt es bei der Kondensation der Verbrennungsprodukte zur Bildung von Schwefelsäure. Diese führt dann zu Korrosion in den Abgasanlagen.

Bei der Nutzung in Gasmotoren führt H_2S zur Versäuerung von Schmierölen. Es verliert sehr rasch seine Schmierwirkung und dadurch kann es zu Motorschäden kommen. Es gibt spezielle Schmiermittel für mit Faulgas betriebene Motoren.

Bei der Nutzung des Faulgases in Gasmotoren wird von den Motorenherstellern meist ein Schwefelwasserstoffgehalt kleiner als 0,15 Vol.% verlangt. Im Faulgas kann aber in der Größenordnung von etwa 1 Vol.% H_2S enthalten sein. Es ist daher in solchen Fällen erforderlich, eine Entschwefelung vorzusehen.

Zumeist wird die sogenannte Trockengasentschwefelung eingesetzt. Die Anlagen bestehen aus zwei Behältern, die mit einem Adsorptionsmittel (Raseneisenerz) gefüllt sind. Diese Masse nimmt beim Durchströmen des Faulgases den Schwefelwasserstoff auf und lagert ihn an

der Oberfläche an (ähnlich wie beim Aktivkohleverfahren). Der Betrieb erfolgt nun so, dass die beiden Behälter abwechselnd mit Faulgas bzw. mit Luft durchströmt werden. Beim Durchströmen von Luft wird der angelagerte Schwefelwasserstoff umgewandelt und es entsteht elementarer Schwefel (erkennbar durch einen gelben Belag an der Füllmasse). In entsprechenden Zeitabständen (abhängig vom Schwefelwasserstoffgehalt des Faulgases) wird eine geringe Menge des Raseneisenerzes, auf der Seite des Entschweflers, wo das Faulgas einströmt, aus dem Behälter entnommen und oben eine entsprechende Menge frischen Raseneisenerzes wieder zugegeben. Das beladene Raseneisenerz wird zur Aufbereitung an die Herstellerfirma zurückgegeben.

Beim Regenerieren (Durchblasen von Luft) entsteht Wärme. Das heißt, es ist zu prüfen, ob wirklich bei jedem Regenerationszyklus Luft durchströmt, damit nicht plötzlich eine übermäßige Erwärmung auftritt (Selbstentzündung!).

Auf Anlagen, auf denen zur Phosphorfällung Eisensalze zugegeben werden, ist im Faulgas nur mehr wenig Schwefelwasserstoff enthalten. Das bei der Fällung entstandene Eisenhydroxid reagiert in der Faulung mit dem Schwefel und führt ihn in eine unlösliche Form (Eisensulfid) über.

3.2.5 Gasnutzung

Bei der beheizten Schlammfaulung muss eine Wärmegewinnung für die Faulraumheizung aus dem Faulgas über Heizkessel erfolgen. Bei großen Anlagen kann mit einem Gasmotor mechanische Energie zum Antrieb von Generatoren erzeugt und mit der Abwärme geheizt werden. Die früher oft ausgeführte Konfiguration Gasmotor/Gebläseantrieb („direkt gekuppelt“) wird bei Neuanlagen praktisch nicht mehr eingesetzt.

Auf einigen Anlagen in Österreich werden gezielt organische Stoffe zur Entsorgung (z.B. Fett) übernommen und der Faulung kontrolliert zugegeben, wodurch die Gasausbeute positiv beeinflusst wird. Die Auslastung und die Beschickungsrate des Faulbehälters ist bei der Zugabe von externen faulfähigen Stoffen zu berücksichtigen (Gefahr der nicht vollständigen Stabilisierung und des Schäumens).

3.2.5.1 *Heizkessel*

Der Heizkessel hat seinen besten Wirkungsgrad bei einer Wassertemperatur von 80 - 90 °C. Außerdem liegt diese Temperatur über dem Taupunkt von SO₂, das sich bei Unterschreiten des Taupunktes als Niederschlag mit der im Rauchgas enthaltenen Feuchtigkeit zu H₂SO₄ verbindet, wodurch erhebliche Korrosionsschäden entstehen können. Andererseits soll die Wassertemperatur im Schlammwärmetauscher des Faulbehälter-Heizkreislaufes zwischen 60 und 70 °C liegen, weil sich bei höherer Temperatur der Schlamm unter Umständen an den Rohren des Wärmetauschers festlegt, und dadurch der Wärmeübergang wesentlich vermindert wird.

Um diese verschiedenen Temperaturen im Heizwasserkreislauf zu ermöglichen, ist eine sogenannte Rücklaufbeimischung vorzusehen, durch welche je nach Wärmebedarf ein kleinerer

oder größerer Teil des heißen Wassers noch vor dem Wärmetauscher direkt wieder in den Kessel zurückgeleitet wird.

3.2.5.2 Gasmotor

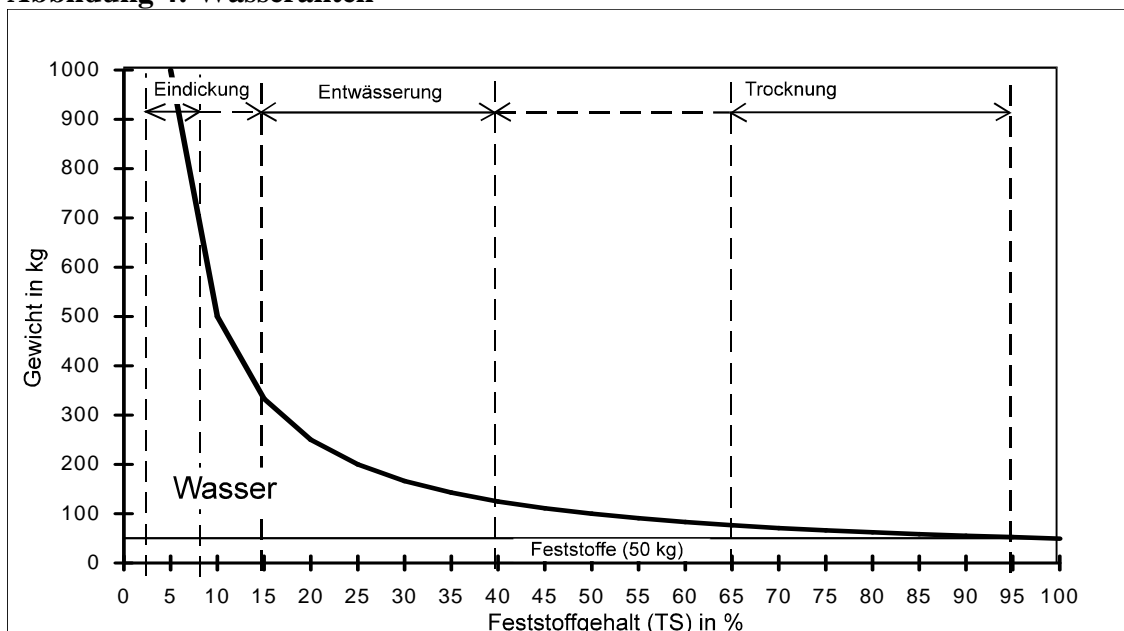
Gasmotoren werden in der Regel mit einem angebauten Generator zur Stromerzeugung genutzt und mit einer weitgehenden Abwärmenutzung ausgerüstet (BHKW). Es sind 50 - 60 % der eingesetzten Energie als Wärmeenergie nutzbar. Etwa 30 % fallen als mechanische bzw. elektrische Energie an. Bei direkter Kupplung mit einem Gebläse ist eine Abwärmenutzung ebenfalls sinnvoll und üblich.

Die Angaben, ab welcher Größe die Faulgasnutzung mittels Blockheizkraftwerk wirtschaftlich ist, schwanken zwischen 15.000 und 100.000 EW! Ob die Nutzung des Faulgases mittels Gasmotoren wirtschaftlich sinnvoll ist, hängt wesentlich von der Anlagengröße, dem Anlagenkonzept und dem spezifischen Gasanfall ab.

4. Wasserabtrennung

Der bei der Abwasserreinigung entstehende Klärschlamm ist in der Regel extrem wasserreich/feststoffarm. Für alle nachfolgenden Operationen der Schlammbehandlung ist daher eine Aufkonzentration der Feststoffe mit entsprechender Volumenverminderung sinnvoll. Ohne sie wären die weiteren Verfahrensschritte nicht mit wirtschaftlichem Aufwand möglich.

Abbildung 4: Wasseranteil



Die Volumenminderung des Klärschlammes ermöglicht eine Optimierung der Bau- und Betriebskosten. Die der Eindickung nachfolgenden Transport-, Umwälz- und Heizaggregate sowie Konditionierungsstationen und Behälter können wesentlich kleiner ausgelegt werden.

Je nach Anteil des entnommenen Wassers spricht man von Eindicken, Entwässern und Trocknen. Der folgenden Abbildung 1 ist zu entnehmen, welcher Feststoffgehalt mit Eindickung, Entwässerung und Trocknung zu erreichen ist, sowie inwieweit das Gewicht und damit näherungsweise das Volumen reduziert werden kann.

Nach ihren Eigenschaften – besonders hinsichtlich ihres Wasserbindungsvermögens – werden die Schlämme üblicherweise in drei Gruppen eingeteilt:

gut eindickbare/entwässerbare Schlämme

Hierzu gehören Schlämme mit größeren Anteilen an mineralischen Stoffen, wie Schleifsande, Gießereisande, Rückstände aus Erzaufbereitung usw.

mittelmäßig eindickbare/entwässerbare Schlämme

Normaler Vorklär- oder Faulschlamm ohne industrielle Anteile mit gelartigen Substanzen

schlecht eindickbare/entwässerbare Schlämme

Belebter Schlamm aus biologischen Anlagen, Tropfkörperschlamm, Fällschlamm, Hydroxidschlämme aus Galvaniken oder Beizereien

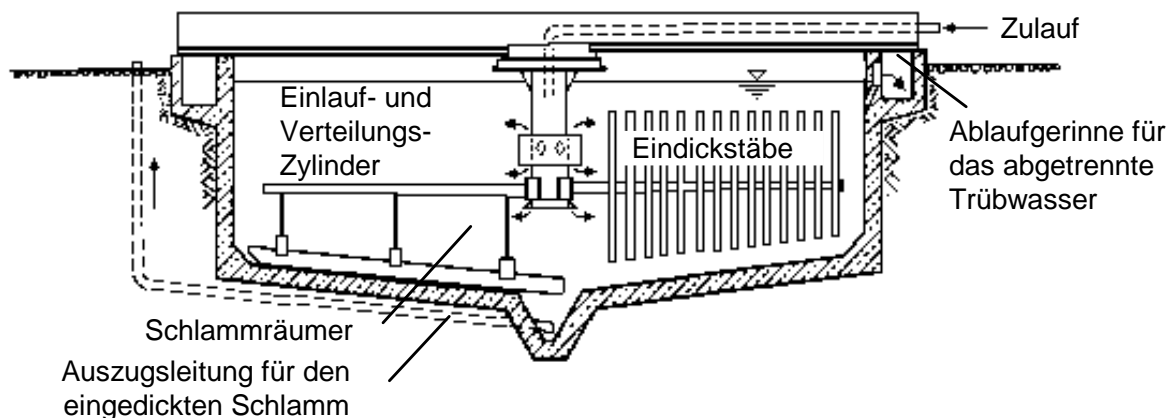
4.1 Eindicken

Unter Eindickung wird die Wasserabtrennung bis zu einem Feststoffgehalt von ca. 10 % verstanden. Man unterscheidet nach den wirkenden Kräften (Schwerkraft; Zentrifugalkraft) und nach der Betriebsweise (kontinuierlich oder chargenweise).

4.1.1 Statische Eindicker

Bei der Schwerkrafteindickung wird für die Abtrennung des Schlammwassers nur das natürliche Schwerfeld der Erde verwendet und keine zusätzliche Energie eingesetzt. Die Eindickung erfolgt durch Absetzen und Zusammendrücken der Feststoffe in der Schlammschicht. In den Eindickern ist oft ein langsam laufendes Krählwerk mit vertikalen Stäben (Abstand 60 bis 100 cm) montiert. Diese sollen Abflußkanäle schaffen durch die das Porenwasser nach oben abströmen kann, wodurch eine Verbesserung des Eindickvorgangs erzielt wird.

Eindicker können sowohl chargenweise (Standbetrieb) oder kontinuierlich (Durchlaufbetrieb) betrieben werden. Die Aufenthaltszeit des Schlamms im Eindicker soll 12 bis 48 Stunden betragen. Es ist aber darauf zu achten, dass es nicht durch zu lange Aufenthaltszeiten zum Anfaulen des Schlamms kommt, was sowohl zu Geruchsbelästigungen als auch durch die Gasbildung zu schlechterer Eindickung des Schlamms führt. Für eine gute Eindickung ist auch das Einhalten einer ausreichend hohen Schlammschicht von etwa 150 cm erforderlich. Außerdem soll die Beschickung des Eindickers mit Pumpen erfolgen, die die Schlammflocken nicht zerstören. Durch die Schlammeindickung kann ein Feststoffgehalt von 1 bis 5% erreicht werden

Abbildung 5: Durchlaufeindicker mit Räumereinrichtung

Die Bemessung eines Eindickers erfolgt nach der Oberflächen-Feststoffbelastung B_A [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$]. Für Schlämme mit schlechten Absetzeigenschaften – z. B. Überschussschlämme – sollte eine Flächenbelastung von 20 bis 50 [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$] (in Abhängigkeit vom Schlammindex) angesetzt werden. Eine Erhöhung der Flächenbelastung ist auch bei Zugabe von Flockungshilfsmitteln nicht generell möglich. Ist mit mittleren Absetzeigenschaften – Vorklär- oder Faulschlamm – zu rechnen, so sollte eine Feststoffbelastung von 40 bis 80 [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$] gewählt werden. Schlämme mit guten Absetzeigenschaften – z. B. mineralische Schlämme – können mit einer Flächenbelastung von bis zu 100 [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$] bemessen werden.

4.1.2 Maschinelle Eindickung

Überschussschlamm lässt sich statisch vergleichsweise schlecht eindicken. Dabei kann es in manchen Fällen notwendig sein, die Eindickung des Überschussschlammes möglichst rasch durchzuführen, weswegen statische Eindicker nicht in Frage kommen. So muss bei der biologischen Phosphorentfernung verhindert werden, dass durch lange Aufenthaltszeiten bei der Schlammbehandlung Phosphor rückgelöst und über das Schlammwasser in die Kläranlage zurückgeleitet wird. Auch bei zu kleinen Faulräumen kann der Einsatz einer maschinellen Eindickung sinnvoll sein. Durch den höheren Feststoffgehalt gegenüber der statischen Eindickung wird eine geringere Schlammmenge in den Faulbehälter gepumpt und dadurch die Faulzeit verlängert. Diese rasche Eindickung mit höheren Feststoffgehalten kann durch verschiedene Eindickmaschinen erreicht werden.

Bei den Maschinen unter Ausnutzung des natürlichen Schwerfeldes werden die Wasserbindungskräfte durch die Zugabe von Flockungshilfsmittel aufgehoben. Es ist in jedem Fall eine auf die Schlammigenschaften angepasste Einmischstrecke für das Flockungshilfsmittel und ein Flockungsreaktor vorzuschalten. In diesem Reaktionsbehälter wird der Schlamm durch ein Rührwerk umgewälzt und so eine vollständige Flockung erreicht. Diese optimale Ausnutzung des Flockungshilfsmittels ist für die Leistungsfähigkeit der nachfolgenden Eindickmaschine von entscheidender Bedeutung. Typische Bauformen sind Siebreaktoren, Schneckenpressen und Bändeindicker.

Bei "normalen" Überschussschlammeigenschaften ist bei den Eindickmaschinen unter Ausnutzung des natürlichen Schwerefeldes mit folgenden mittleren Leistungsparametern zu rechnen:

Austrag-Feststoffgehalt TR	%	4 – 10
spez. Flockungshilfsmittel – Menge bezogen auf 100% Wirksubstanz	kg/t TS	4 – 8
spez. Energieverbrauch Maschine	kWh/m ³	0,1 – 0,4

Bei ungünstiger Betriebsweise und nicht optimaler Eindickung und Konditionierung liegen die Ergebnisse für den Feststoffgehalt im Austrag im unteren Bereich (4 – 6 % TR).

Generell ist der Energie- und Wartungsaufwand bei maschineller Eindickung höher als bei statischer Eindickung. Die Restverschmutzung im Filtrat ist in der Regel gering.

4.1.2.1 Siebreaktor

Die angebotenen Siebreaktoren bestehen aus einem zylindrischen Trommelbehälter der außen in der Regel mit einem Siebgewebe bespannt ist. Die Trommel kann horizontal oder mit einem geringen variablen Neigungswinkel aufgestellt sein. Der geflockte Schlamm gelangt im freien Überlauf in die sich langsam drehende Trommel. Mit Hilfe einer eingebauten Wendel wird der Schlamm durch die Trommel transportiert. Durch das langsame Drehen der Trommel wird der Schlamm ständig umgeschichtet, wodurch die Wasserabgabe verbessert wird. Am Trommelende wird der eingedickte Schlamm abgeworfen. Das freigesetzte Filtratwasser läuft durch das Filtergewebe in eine Auffangwanne und in die abführende Rohrleitung. Das Siebgewebe mit einer schlammspezifischen Maschenweite muss in der Regel von außen mit Spritzwasser kontinuierlich von Feinstpartikeln gereinigt werden.

Die Steuermöglichkeiten im Betrieb der Siebreaktoren ergeben sich mit

- der Trommeldrehzahl,
- der Mischenergie im Flockungsreaktor,
- der Flockungshilfsmittelmenge,
- dem Schlammumsatz pro Zeiteinheit.

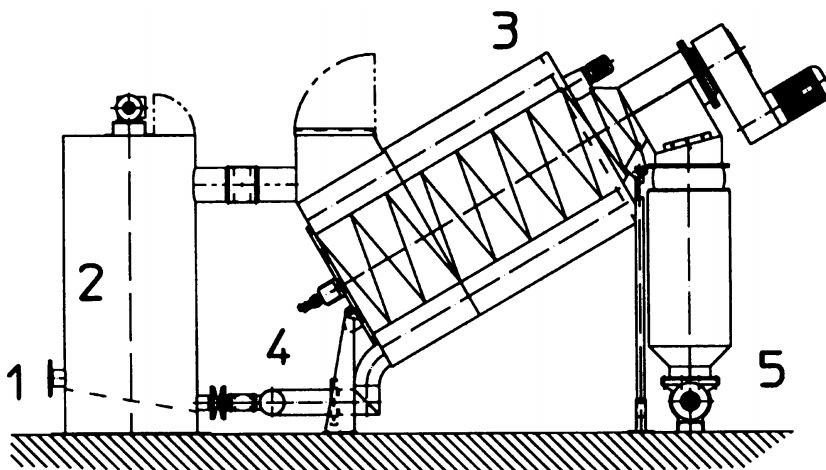
Zum Erhöhen der Durchsatzleistung der Siebtrommel wird teilweise ein Bandfilter vorgeschaltet. Hier soll ein umlaufendes Seihband eine erhöhte Wasserabtrennung vor der nachfolgenden Siebtrommel erreichen. In diesem Fall lässt sich auch die Bandgeschwindigkeit anpassen. Die variablen Parameter werden unter Berücksichtigung der Eindickziele für die jeweiligen Klärschlammarten und -eigenschaften im Betrieb optimiert.

Siebreaktoren werden von den verschiedenen Herstellern in den unterschiedlichen Größen angeboten:

	von	bis
Nenndurchsatz in m ³ /h	3	100
Feststoffdurchsatz in kg/h	15	1 500
Trommeldurchmesser in mm	600	1 200
Trommellänge in mm	1 500	3 500
Trommeldrehzahl in U/min	2	30

4.1.2.2 Schneckenpresse

Der konditionierte Schlamm gelangt kontinuierlich im freien Überlauf in die Schneckenpresse. Die anschließende Filtrationseinheit besteht aus einer feststehenden zylindrischen Spaltsieb-Trommel mit einer innenliegenden Schneckenwendel für den Schlammtransport. Durch die geneigte Aufstellung (ca. 30°) der Maschine findet in Abhängigkeit der variablen schlammspezifischen langsamen Schneckendrehzahl eine kontinuierliche Anhebung und Umwälzung des Schlammes zur verbesserten Wasserabgabe statt. Zum Vermeiden von Ablagerungen auf der Siebinnenfläche sind auf der Schneckenwendel Bürsten installiert. Zusätzlich sind außen rotierende Spritzdüsen zum Reinigen der Spaltsieb-Trommel vorhanden. Das freigesetzte Filtratwasser läuft durch das Spaltsieb über eine Auffangwanne ab. Am Ende der Schneckenpresse wird der eingedickte Schlamm abgeworfen.



1 Dünnschlammzulauf 2 Flockungsreaktor 3 Schneckenpresse mit Spritzdüsen-system 4 Filtratablauf 5 Dickschlammpumpe mit Vorlagebehälter

Abbildung 6: Prinzip-Skizze einer Schneckenpresse
(Skizze ROTAMAT Fa. Huber)

Die Steuermöglichkeiten im Betrieb der Schneckenpresse ergeben sich mit

- der Drehzahl Förderschnecke,
- der Mischenergie im Flockungsreaktor,
- der Flockungshilfsmittelmenge,
- dem Schlammdurchsatz pro Zeiteinheit.

Die Schneckenpressen werden in unterschiedlichen Größen angeboten:

	von	bis
Nenndurchsatz in m ³ /h	8	50
Feststoffdurchsatz in kg/h	40	750
Siebtrommel-Durchmesser in mm	300	700
Sieblänge in mm	1 200	1 750
Drehzahl Förderschnecken U/min	1	12

4.1.2.3 *Bandeindicker*

Bandeindicker sind kontinuierlich arbeitende Maschinen, bei denen der konditionierte Schlamm gleichmäßig auf einem umlaufenden Bandfilter oder Seihband verteilt und durch die Wirkung der Schwerkraft eingedickt wird. Alle Bandeindicker arbeiten nach diesem Prinzip, wobei in modifizierten Bauweisen versucht wird, diesen Vorgang z. B. durch Pressen oder auch durch Unterdruck zu unterstützen. Bandeindicker können in Kombination mit Eindicktrommeln und Entwässerungspresen betrieben werden.

Der im Flockungsreaktor geflockte Schlamm wird gleichmäßig auf dem Bandfilter verteilt. Das Filtrat läuft auf der waagerechten Seihzone durch das kontinuierlich umlaufende Sieb ab. Feststoffe werden zurückgehalten. Durch verschiedene Vorrichtungen wird der Schlamm umgeschichtet und umgelagert. Damit wird erreicht, dass das freigesetzte Wasser ablaufen kann und sich nicht auf der Oberfläche oder im Inneren der Feststoffschicht sammelt und nicht abfließt.

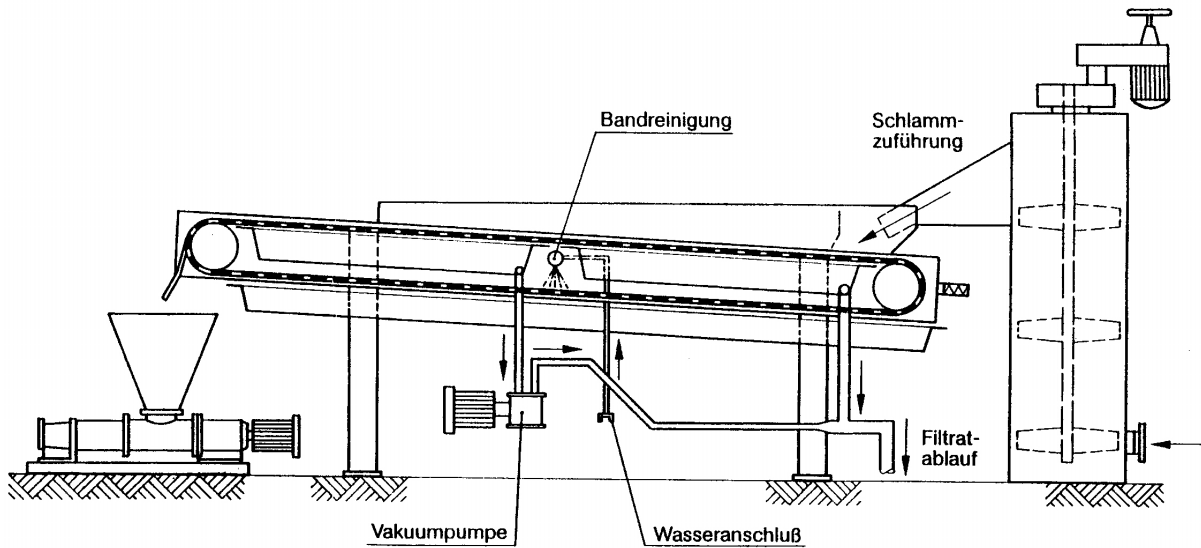
Im Verlauf der Bandrückführung sind Waschvorrichtungen angeordnet. Sie werden mit Wasserdrücken von bis zu 9 bar betrieben und reinigen das Bandfilter vor der erneuten Beschickung. Der eingedickte Schlamm wird schließlich über einen Abstreifer zur Weiterbehandlung ausgetragen.

Die Bandeindicker können durch verschiedene, stufenlos verstellbare Parameter gesteuert und so wechselnden Schlammeigenschaften angepasst werden. Die Steuermöglichkeiten im Betrieb der Bandfilter ergeben sich mit

- der Bandgeschwindigkeit,
- der Mischenergie im Flockungsreaktor,
- der Dicke der Schlammschicht gesteuert über die Wehrhöhe der Stauschaber im Auslauf des Bandfilters,
- der Verweilzeit in der Eindickzone über den Schlammdurchsatz pro Zeiteinheit,

- der Flockungshilfsmittelmenge.

Abbildung 7: Bandedicker



Die Bandfilter werden in folgenden Größen angeboten:

	von	bis
Nenndurchsatz in m ³ /h	10	150
Feststoffdurchsatz in kg/h	50	2 250
Seihbandbreite in mm	800	2 700
Seihband-Geschwindigkeit m/min	7	30

4.1.2.4 Zentrifuge

Zunehmend kommen für die maschinelle Eindickung auch Zentrifugen zur Anwendung. Bei diesen ist in der Regel zwar der Energieaufwand höher, es kann jedoch auf Flockungshilfsmittel verzichtet bzw. mit geringerer Flockungsmittelmenge gefahren werden.

Der einzudickende Schlamm wird durch ein Einlaufrohr in die umlaufende Zentrifugentrommel eingeleitet. Die Zentrifugalkraft bewirkt das Absetzen der Feststoffflocken an der inneren Trommelwandung, während sich die flüssige Phase (Zentrat) als innenliegender Ring darüber ausbildet. Die Höhe der Teichtiefe (Tiefe der flüssigen und festen Phase) wird durch Wehrscheiben definiert. Die etwas schneller bzw. langsamer als die Trommel umlaufende Transport- und Austragsschnecke hat die Aufgabe, die auf der Trommelwandung abgesetzten Feststoffe über den Konus zum Austrag zu transportieren. Das Zentrifugat verlässt die Trommel über das Überlaufwehr.

Bei den verschiedenen Zentrifugen-Herstellern werden die Prinzipien der Gegenstrom- bzw. Gleichstromzentrifuge eingesetzt. Diese unterscheiden sich durch die Zugabestellen des

Schlammes innerhalb der Zentrifugen und in der Transportrichtung der beiden Phasen Dick- und Zentrat. Im Betrieb zeigt sich in der Regel kein signifikanter Unterschied der Leistungsfähigkeit.

Die Steuermöglichkeiten im Betrieb der Zentrifugen ergeben sich mit

- der Trommeldrehzahl,
- der Differenzdrehzahl zwischen Schnecke und Trommel,
- der Teichtiefe,
- dem Schlammumsatz pro Zeiteinheit.

Zentrifugen werden von den verschiedenen Herstellern in unterschiedlichen Größen angeboten:

	von	bis
Nennumsatz in m ³ /h	5	200
Feststoffumsatz in kg/h	20	3 000
Trommeldurchmesser in mm	250	1 400
Trommellänge einschließlich Konus in mm	600	4 200
Trommeldrehzahl in U/min	700	3 000

Bei "normalen" Überschussschlammeeigenschaften ist bei den Eindick-Zentrifugen (ohne Zugabe von Flockungshilfsmitteln) mit folgenden mittleren Leistungsparametern zu rechnen:

- Austrag-Feststoffgehalt TR 5–7 %
- spez. Energieverbrauch Zentrifuge 0,8–1,2 kWh/m³

Die Wirtschaftlichkeit von Zentrifugen kann dadurch erhöht werden, dass die Eindickung und Entwässerung mit demselben Aggregat durchgeführt werden. Hierfür sind in der Regel einzelne Betriebsparameter umzustellen, und die Flockungshilfsmittel Dosierung in Betrieb zu nehmen. Diese Anpassung der Drehzahlen und/oder der Stauscheiben (Teichtiefe) erfolgt bei einigen Maschinen bereits automatisch.

4.1.2.5 Flotationseinrichtungen

Beim Flotationsverfahren werden feine Bläschen erzeugt, die sich an den Feststoffpartikeln in einer Flüssigkeit anlagern und damit die Partikel in der Flüssigkeit zum Auftreiben an die Flüssigkeitsoberfläche bringen. Der Flotationsvorgang zur Feststoffabscheidung läuft deutlich schneller ab als das Sedimentationsverfahren nach dem Schwerkraftprinzip. In der Abwassertechnik kommt vereinzelt die Entspannungsflotation zum Einsatz.

Bei der Entspannungsflotation wird ein Wasserstrom, der bei höherem Druck mit Luft gesättigt wurde, entspannt. Bei der Entspannung entstehen spontan sehr kleine Blasen. Diese heften sich an die Schlammflocken und treiben diese an die Oberfläche.

Entspannungsflotationen können mit Rund- oder Rechteckbecken ausgebildet werden. Auf kommunalen Kläranlagen in Österreich liegen praktisch keine großtechnischen Erfahrungen mit diesem System vor.

4.2 Entwässern

Die Abtrennung von Wasser bis zu einem Feststoffgehalt von ca. 45% TS wird als Entwässerung bezeichnet. Heute kommt fast ausschließlich die maschinelle Entwässerung zum Einsatz. Die natürliche Entwässerung (Schlammbeete) wird wegen verschiedenster Probleme nicht mehr angewandt.

Bei der maschinellen Entwässerung sind in der Regel Druckkräfte und Schleuderkräfte wirksam, zusätzlich müssen Konditionierungsmittel zugegeben werden um das Wasserabgabevermögen zu verbessern.

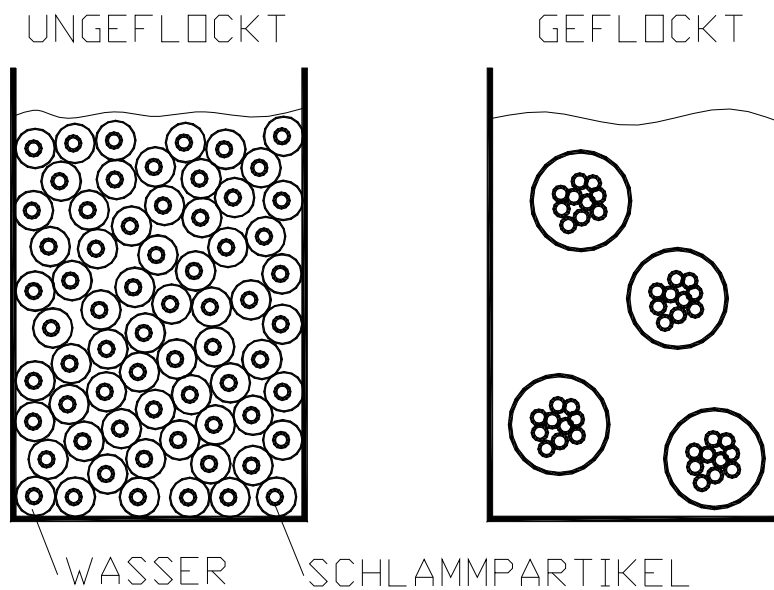
Die Entwässerbarkeit von anaerob stabilisierten Schlämmen ist in der Regel besser als jene von aerob stabilisierten Schlämmen. Auch ist eine weitgehende Stabilisierung und damit großer Glührückstand vorteilhaft für die Wasserabtrennung.

4.2.1 Schlammkonditionierung

Für die maschinelle Entwässerung muss der Schlamm entsprechend aufbereitet (konditioniert) werden, da sonst keine ausreichende Wasserabgabe erfolgt. Diese Konditionierung kann mit anorganischen (vor allem Kalk) oder organischen (Polyelektrolyte) Stoffen erfolgen.

- **Anorganische Konditionierungsmittel:** Als gebräuchlichste Chemikalien haben sich Eisen- oder Aluminiumsalze sowie Kombinationen von Metallsalzen und Kalk bewährt. Diese Konditionierungsmittel werden üblicherweise für die Entwässerung auf Kammerfilterpressen eingesetzt. In einigen Fällen bewirkt die Zugabe von Kalk oder Steinmehl vor Zentrifugen eine für die Entwässerung vorteilhafte Verschiebung der Teilchengrößenverteilung.
- **Organische Konditionierungsmittel:** Polyelektrolyte sind entsprechend ihrer Ionenladung anionisch, kationisch (am häufigsten eingesetzt) oder nicht geladen. Die Polymere werden je nach Produkt mit unterschiedlichen polymeren Wirksubstanzgehalten angeboten. Die tatsächliche Effizienz dieser Mittel ist abhängig von ihren spezifischen Eigenschaften und dem jeweilig zu entwässernden Schlamm. Vor dem Einmischen der Polyelektrolyte in den Klärschlamm werden sie durch Wasserzugabe aufbereitet. Bisher wurden diese Konditionierungsmittel überwiegend bei Entwässerungsmaschinen mit Druckbereichen unterhalb von 2,5bar (Zentrifuge und Bandfilterpresse) eingesetzt. In den letzten Jahren wurden Polymere vermehrt auch bei Druckdifferenzen > 2,5 bar (Kammerfilterpressen) mit Erfolg eingesetzt.

Über Kombinationen aus organischen und anorganischen Konditionierungsmitteln gibt es sehr wenige Erfahrungen, es wird empfohlen jedenfalls Vorversuche im Labor durchzuführen!

Abbildung 8: Vorgang der Flockung

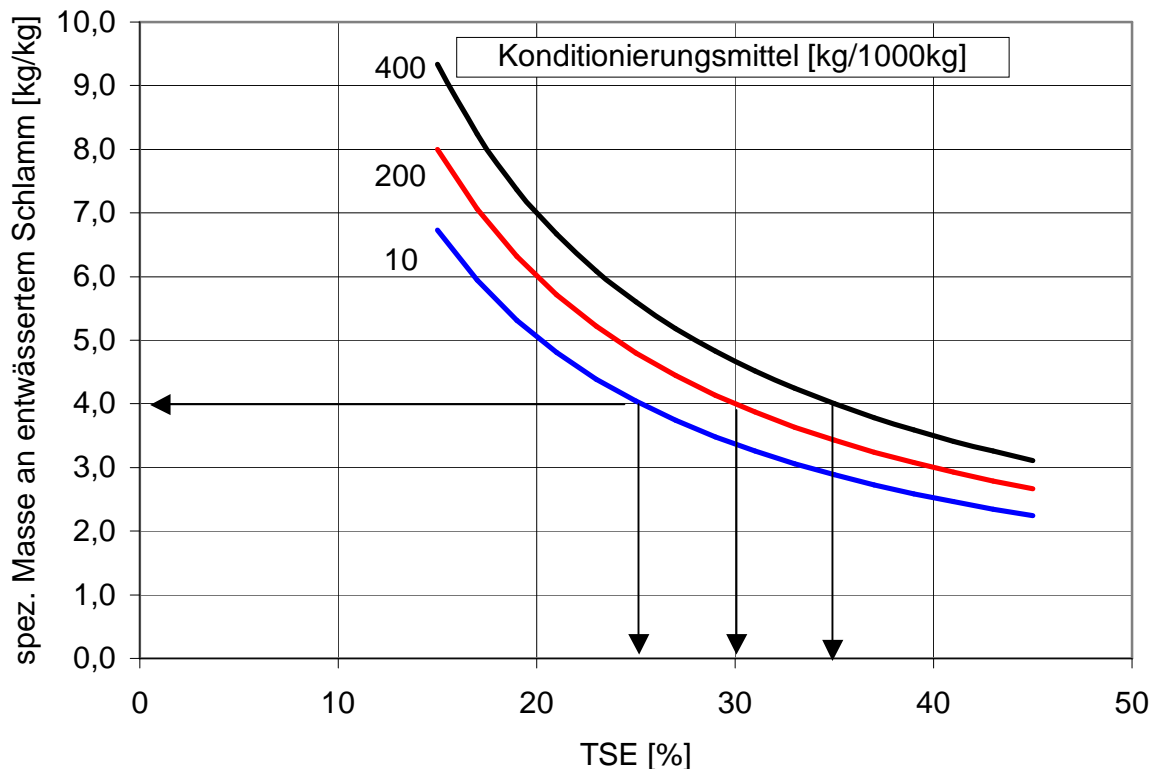
das weitere Zusammenlagern der Teilchen zu größeren Einheiten. Die gebildeten Flocken können schneller sedimentieren und sind besser filtrierbar.

Fein suspendierte Teilchen oder Kolloide sind in einem wässrigen Medium meist negativ geladen und stoßen sich auf Grund der gleichen elektrostatischen Ladung gegenseitig ab. Deshalb wird die Sedimentation der Teilchen erschwert. Mit der Zufuhr einer entsprechenden Menge positiver Ionen (z. B. kationischer Polyelektrolyten) erfolgt eine Entladung an den Oberflächen. Das ermöglicht dann

Dabei spielen die Art der Feststoffteilchen, die Temperatur, der pH-Wert und der Salzgehalt des Wassers eine bedeutende Rolle; ATV (1992). Die Art des Konditionierungsmittels, die gewählte Verdünnung, die Zugabestelle und die Einmischenergie beeinflussen das spätere Entwässerungsergebnis wesentlich und sollten daher Ansatzpunkte für eine Optimierung von Konditionierung und Entwässerung sein.

Welcher Entwässerungsgrad erreicht wird, hängt vor allem von der Herkunft des Schlammes ab. Wie bei der Eindickung wird auch bei der Entwässerung bei aerob stabilisiertem Schlamm ein niedrigerer Feststoffgehalt erreicht werden als bei Faulschlamm.

Die Zugabe von Konditionierungsmitteln führt zu einer Steigerung der weiterzubehandelnden Feststofffracht. Durch den in der Regel höheren Trockensubstanzgehalt muss die Masse an entwässertem Schlamm aber nicht zwingend größer werden. In der Abbildung 9 ist der Zusammenhang zwischen der Masse an entwässertem Schlamm (in kg pro kg Feststoffe) in Abhängigkeit von der erreichten Trockensubstanz dargestellt. Als zusätzlicher Parameter sind verschiedene Konditionierungsmittelmengen eingetragen. Man erkennt, dass bei der Entwässerung eines Schlammes auf ca. 25% TS bei Einsatz von 10 kg Konditionierungsmittel pro 1000 kg Schlamm-trockenmasse die gleiche Masse an zu entsorgendem entwässertem Schlamm anfällt wie bei der Entwässerung auf 30% TS und Einsatz von 200 kg/1000kg bzw. 35% TS und Einsatz von 400 kg/1000kg.

Abbildung 9: Masse an entwässertem Schlamm - erreichte Trockensubstanz

Welches Konditionierungsmittel eingesetzt wird, hängt sowohl von der Entwässerungsmaschine als auch vom jeweiligen Schlamm ab. Die heute am häufigsten verwendeten Entwässerungsmaschinen sind Siebbandpressen und Kammerfilterpressen.

4.2.2 Kammerfilterpresse

Eine Kammerfilterpresse besteht aus:

- Einem **Trägergerüst**, in dem die Platten verschiebbar aufgehängt sind. Häufig sind daran auch diverse Vorrichtungen zum Entfernen des Filterkuchens und zum Waschen der Filtertücher montiert.
- Den **Filterplatten** mit beidseitigen Vertiefungen. Die Platten haben eine Mittenbohrung für die Schlammzufuhr sowie ein Rillen- und Bohrungssystem zum Ableiten des Filtrates. Sie sind mit Filtertüchern bespannt.
- Den einseitig vertieften **Endstücken** die mittels eines (bzw. vier bei großen Maschinen) **Hydraulikzylinders** die Filterplatten zusammenpressen

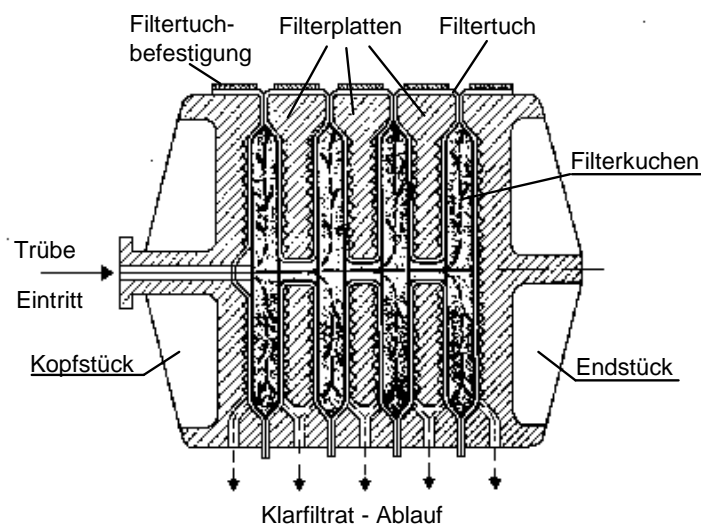
Die Abdichtung der Filterkammern erfolgt zwischen den äußeren Dichtflächen in der Regel durch das Filtertuch. Die Entwässerung erfolgt durch Druckfiltration. Die Schlammkonditionierung erfolgt im allgemeinen durch Zugabe von 200 bis 400 kg/(t TS) Kalk und 50 bis 70 kg/(t TS) Eisenchlorid. Seit einiger Zeit werden Kammerfilterpressen auch mit organischer

Konditionierung betrieben, der Flockungsmittelbedarf liegt hier bei 4 bis 7 kg/(t TS). Das Ablösen des Filterkuchens ist bei Polyelektrolytkonditionierung manchmal erschwert.

Filterpressen arbeiten chargenweise, dazu wird der mit den Konditionierungsmitteln versehene Schlamm mit einer Beschickungspumpe über Füllkanäle in die Filterkammern gepreßt. Das Wasser tritt durch die Filtertücher und wird über Rillen und Kanäle abgeleitet. Dabei baut sich auf dem Filtertuch in den Vertiefungen der Platten der Filterkuchen auf. Der Preßdruck beträgt 8 bis 20 bar und wird während des Preßvorgangs konstant gehalten. Wenn die Pumpe nichts mehr fördert ist der Preßvorgang beendet. Die Preßzeiten liegen bei 1 bis 3 Stunden. Vor dem Öffnen der Presse werden die Füllkanäle mit Druckluft ausgeblasen. Beim Öffnen fallen die Filterkuchen von selbst aus der Presse. Nach einigen Pressvorgängen (50-150 Chargen) müssen die Filtertücher gewaschen werden. Reicht das Waschen mit Wasser nicht mehr aus, ist eine Reinigung mit 3 bis 5 % Salzsäure erforderlich.

Mit Kammerfilterpresse werden bei üblicher Kalk – Eisen – Konditionierung Trockensubstanzen von über 40% und bei Polymerkonditionierung von ca. 30% erzielt (vgl. Abbildung 9)

Abbildung 10: Kammerfilterpresse



Kammerfilterpressen werden mit Plattenabmessungen von 0,3 x 0,3 m bis ca. 2,4 x 2,4 m gebaut. Das Filterkuchenvolumen beträgt dann je nach Anzahl der Filterplatten bis 30 m³.

Das Ablösen des Filterkuchens von den Platten erfolgt oftmals nicht selbsttätig. Die Entleerung der Presse muss daher vom Betriebspersonal überwacht werden. Dieser Umstand ist ein Nachteil gegenüber kontinuierlich arbeitenden Anlagen. Es wurden daher Zusatzeinrichtungen entwickelt, die die Ablösung auch ohne Personalaufwand sicherstellen. Es werden Abstreif-, Spreiz- und Rüttelvorrichtungen angeboten um den Schlammkuchen abzulösen. Wie stark die Filtertücher dadurch belastet werden und daher die Standzeit sinkt bzw. ob die Plattenelemente der mechanischen Beanspruchung standhalten muss die Praxis zeigen.

4.2.3 Membrankammerfilterpresse

Der Aufbau und Betrieb einer Membrankammerfilterpresse ist sehr ähnlich dem einer Kammerfilterpresse. Der Unterschied liegt im Aufbau der Filterplatten. Diese sind mit einer beweglichen Membran ausgestattet. Die auf dem Plattengrundkörper befestigten Membranen werden nach Ende des Beschickungsvorganges von der Rückseite mit einem Nachpreßmedium beaufschlagt. Dadurch wird der Filterkuchen ausgepreßt. Die Beaufschlagung der Membranen kann mit Gas oder Flüssigkeit (bis 30 bar) erfolgen. Die erreichbare Trockensubstanz liegt in der gleichen Größenordnung wie bei der konventionellen Kammerfilterpresse.

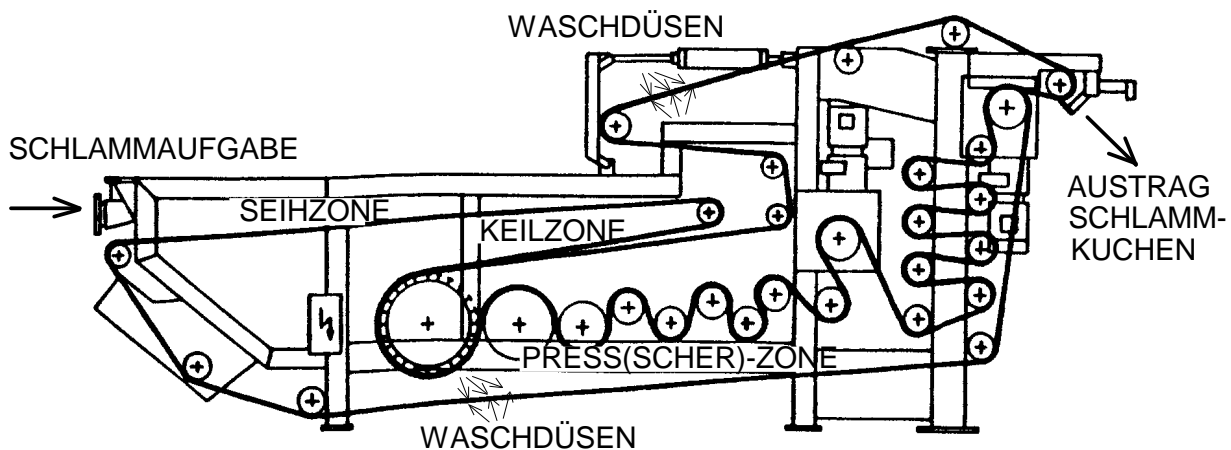
Der Filtrationsdruck bei Membrankammerfilterpressen wird in der Regel tiefer angesetzt als bei konventionellen Kammerfilterpressen. Dadurch können kürzere Chargenzeiten erzielt werden.

4.2.4 Siebbandpresse

Die Siebband- oder Bandfilterpresse bewirkt die Entwässerung durch Druckfiltration. Die Schlammkonditionierung erfolgt mit organischen Flockungsmitteln, der Flockungsmittelbedarf liegt bei 3 bis 6 kg/(t TS). Das Konditionierungsmittel wird unmittelbar vor der Schlammaufgabe zugegeben und mit dem Schlamm vermischt.

Eine Siebbandpresse besteht aus einem Trägergerüst mit Umlenkwalzen verschiedenen Durchmessers und zwei Endlos-Seihbändern.

Abbildung 11: Siebbandpresse



Der zu entwässernde Schlamm wird kontinuierlich auf ein Band aufgegeben. In der Seih- oder Vorentwässerungszone fließt das Wasser durch die Schwerkraft durch das Band nach unten, dort wird es auf einer Tasse gesammelt und aus der Maschine abgeleitet. Dabei muss soviel Wasser abfließen, dass der Schlamm nicht seitlich vom Band läuft. Nun wird der Schlamm auf das zweite Band abgeworfen und in die Keilzone transportiert. Der Schlamm befindet sich nun zwischen den beiden Bändern wodurch ein Druck auf den Schlammkuchen ausgeübt wird. Das seitliche Austreten von Schlamm wird durch Dichtungslippen verhindert. In den folgenden Preßzonen wird der Druck weiter erhöht und der Schlamm durch ständige Umlen-

kungen gewalzt und umgelagert, so dass immer neue Austrittsmöglichkeiten für das Wasser entstehen. An der Austragstelle laufen die beiden Bänder wieder auseinander und der Filterkuchen fällt ab, bzw. wird durch Schaber abgelöst. Beim Rücklauf werden die Filterbänder mit Druckwasser abgespült. Wegen des großen Wasserbedarfs wird dazu oft das Filtrat oder Kläranlagenablauf verwendet.

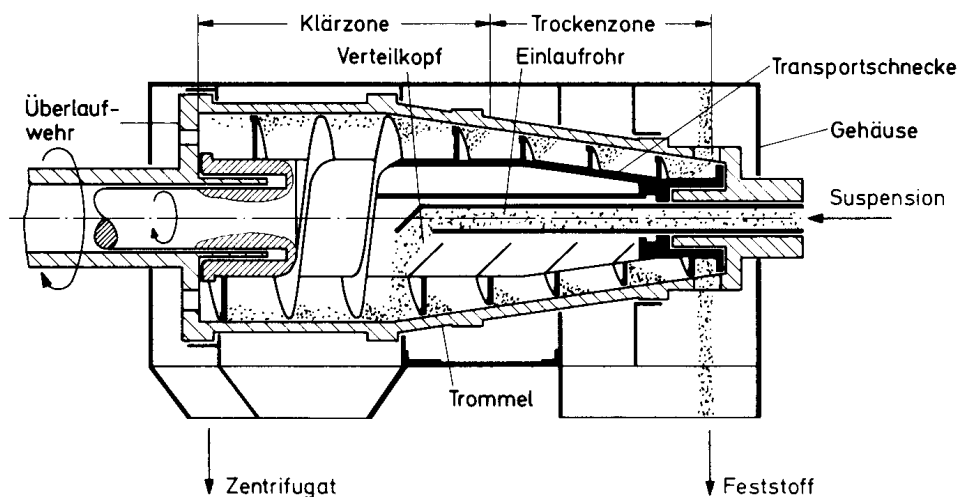
Steuern kann man bei einer Siebbandpresse die aufgegebene Schlammmenge, die Bandgeschwindigkeit und die Höhe des Drucks. Von großem Einfluß ist die Flockungsmittelzugabe. Welches Flockungsmittel in welcher Menge die günstigsten Ergebnisse bringt, kann oft erst im Betrieb festgestellt werden. Es muss jedenfalls in der Seihzone eine ausreichend standfeste Filterkuchenschicht erreicht werden, die nicht seitlich vom Band abläuft. Die Eingangstrochensubstanz wird nach unten durch das seitliche Austreten und nach oben durch das Einmischen des Flockungshilfsmittels eingegrenzt. Mit der Siebbandpresse können Feststoffgehalte von etwa 15 bis 30 % erzielt werden, mit neuentwickelten Pressen mit höheren Drücken zum Teil auch mehr.

Die Maschinen werden mit Bandbreiten von 1 m bis 3 m hergestellt. Damit können Schlamm-Durchsatzleistungen von 2 bis 30 m³/h und Trockenmasse-Ströme von 100 bis 1500 kg/h verarbeitet werden.

4.2.5 Zentrifuge

Bei der Zentrifuge erfolgt die Schlammentwässerung dem Prinzip nach wie bei der Eindickung, nur dass durch die Drehbewegung ein Vielfaches der Erdanziehungskraft erreicht wird. Das Arbeitsprinzip wurde schon bei der Eindickung mittels Zentrifugen besprochen.

Abbildung 12: Vollmantelschneckenzenrifuge (Gegenstromausführung)



Mit dem Einsatz der organischen Flockungshilfsmittel, den Polyelektrolyten, gelingt es eine Trennung des Wassers vom Schlamm herbeizuführen (und nicht nur eine Klassierung). Für die Klärschlammmentwässerung haben sich kontinuierlich arbeitende Vollmantelschneckenzenrifugen (Dekanter) durchgesetzt.

Die Steuermöglichkeiten im Betrieb der Dekanter ergeben sich mit der Trommeldrehzahl, der Differenzdrehzahl zwischen Schnecke und Trommel, der Teichtiefe, dem Schlammumsatz pro Zeiteinheit und der Flockungshilfsmitteldosierung nach Art und Menge. Die variablen Parameter werden unter Berücksichtigung der Entwässerungsziele den jeweiligen Klärschlammarten und -eigenschaften angepaßt.

Die Schlammkonditionierung erfolgt mit Polyelektrolyten, es werden etwa 6 bis 12 kg/t TS benötigt. Mit Zentrifugen werden Feststoffgehalte in der gleichen Größenordnung wie bei Siebbandpressen erreicht (20 bis 30 %, und auch mehr). Die Baugrößen sind ähnlich wie bei der Schlammeindickung.

Die Einsatzmöglichkeit der Zentrifugen im Klärbetrieb ist vielfältig. Sie eignen sich zur Eindickung und Entwässerung aller Schlammarten. Durch Variationen der geometrischen Bauart und Ausrüstung mit verschiedenen Nebenaggregaten ist ihre Anwendung sehr flexibel. Eingesetzt werden sie meist auf großen Anlagen im kontinuierlichen Betrieb.

Häufig wird der kräftige Elektroantrieb (Anfahren der Zentrifuge) als Nachteil für die Betriebskosten gesehen. Eine Ermittlung der Kosten für Investition und Betrieb wird für die Entscheidungsfindung welches Schlammmentwässerungssystem installiert werden soll nützliche Argumente liefern WEINBERGER (1998).

4.3 Trocknen

Die Trocknung von Klärschlamm gewährleistet eine weitgehende Gewichts- und Volumenreduktion sowie die Erzeugung eines heizwertreichen Brennstoffes (Voraussetzung für energetisch günstige Verbrennung). Darüber hinaus kann – je nach gewähltem Trocknungsverfahren und Trocknungsgrad – auch ein lager- und transportfähiges Gut erzeugt werden.

Klärschlamm-trocknungsanlagen dienen dem weitergehenden Wasserentzug aus einem in der Regel zuvor mechanisch entwässerten Klärschlamm. Dabei unterscheidet man die Voll- und die Teiltrocknung. Die Grenze zwischen Voll- und Teiltrocknung liegt bei etwa 85% Trockensubstanz.

Bei einem Feststoffgehalt zwischen 40 – 50 % TR tritt die sogenannte Leimphase auf. Der Klärschlamm ändert hier seine rheologischen Eigenschaften. Hier ergeben sich bei vielen Trocknern beträchtliche Förderprobleme mit dem dann pastösen, klebrigen Klärschlamm. Oberhalb der Leimphase hat der Klärschlamm je nach Trocknungsaggregat in vielen Fällen eine krümelige Struktur.

Um dennoch den Klärschlamm auf geringere Restfeuchten zu trocknen, ohne diesen Bereich durchfahren zu müssen, wird in der Regel vor Eintritt in den Trockner durch Rückmischung von bereits vollgetrocknetem Gut zu dem entwässerten Schlamm in speziellen Mischeinrichtungen ein Feststoffgehalt oberhalb der Leimphase eingestellt. Mittels einer Feststoffbilanz über die Mischeinrichtung und den Vorgaben der Schlamm-trockensubstanzen kann man die erforderliche Rezirkulationsmenge an getrocknetem Gut berechnen.

Beispiel:

Entwässertes Gut nach Entwässerung $TS_1 = 25\% \text{ TS}$

Mischgut für Trockenbetrieb erforderlich mindestens $TS_2 = 60\% \text{ TS}$

Getrocknetes Gut $TS_R = 95\% \text{ TR}$

Es ergibt sich eine erforderlicher Rückmischschlammmenge m_R (kg getrockneter Schlamm inklusive Wasser) die genauso groß ist wie die zugeführte entwässerte Schlammmenge m_1 (kg entwässerter Schlamm inklusive Wasser):

$$\frac{m_R}{m_1} = \frac{(TS_2 - TS_1)}{(TS_R - TS_2)} = \frac{(60 - 25)}{(95 - 60)} = 1$$

betrachtet man nur die Schlamm Trockensubstanzen ($m \cdot TS$) so lässt sich berechnen, dass 3,8 mal soviel Schlammmasse zurückgemischt werden muss wie frische Schlammmasse zuge-

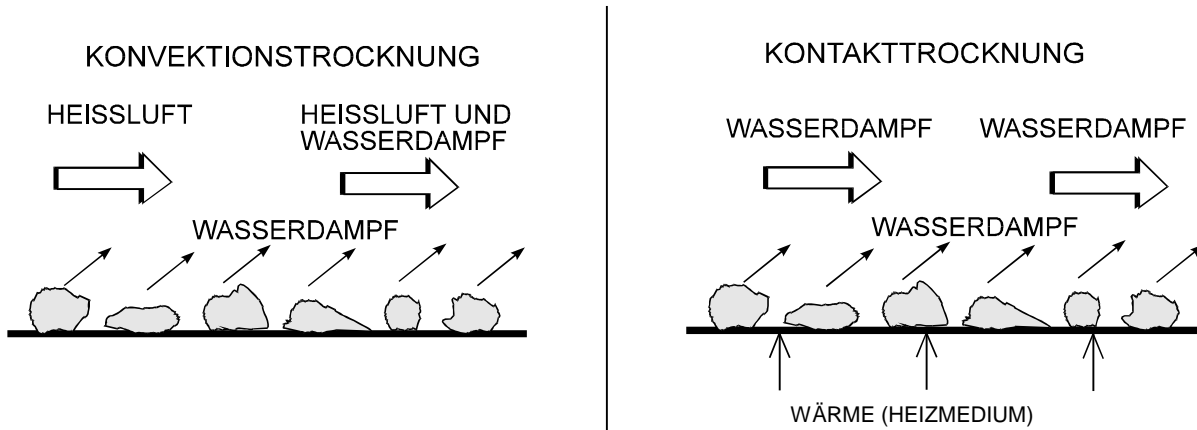
führt wird: $\frac{m_R \cdot TS_R}{m_1 \cdot TS_1} = \frac{(TS_2 - TS_1)}{(TS_R - TS_2)} \cdot \frac{TS_R}{TS_1} = 1 \cdot \frac{95}{25} = 3,8$

Die auf den ersten Blick nachteilig erscheinende Rückführung bietet jedoch auch erhebliche Vorteile:

- Durch Rückmischung unterschiedlicher Trockengutmengen können Schwankungen des Entwässerungsergebnisses aufgefangen werden.
- Bei Rückmischung in speziellen Mischaggregaten lässt sich ein Granulat mit hoher Abriebfestigkeit, großer äußerer Oberfläche und engem Kornspektrum erzeugen.
- Der bei der Volltrocknung unvermeidbar entstehende Staub, der in der Regel sicherheitstechnisch bedenklich ist, kann durch Rückmischung optimal wieder ins Gut eingebunden werden.

Die Klärschlamm Trocknungsverfahren werden häufig nach der Art der Wärmeübertragung unterschieden.

- Bei der **Konvektionstrocknung** (direkte Trocknung) kommt der zu trocknende Klärschlamm unmittelbar mit dem Wärmeträger (z.B. Rauchgas) in Berührung. Dabei wird Wärme aus dem Trocknungsgas an das Gut übertragen. Wasser wird aus dem Gut verdampft und von dem Trocknungsgas aufgenommen und abgeführt.
- Bei der **Kontaktstrocknung** (indirekte Trocknung) erfolgt die Wärmeübertragung aus dem Wärmeträger über eine beheizte Kontaktfläche. Das verdampfte Wasser wird gemeinsam mit durch Undichtigkeiten in das System eintretender Leckluft bzw. durch eine gezielt zugeführte kleine Trägerluftmenge abgeführt.
- Bei der **Strahlungstrocknung** erfolgt die Wärmeübertragung ohne Wärmeträger mit Hilfe von elektromagnetischen Strahlen bzw. Infrarotstrahlen.

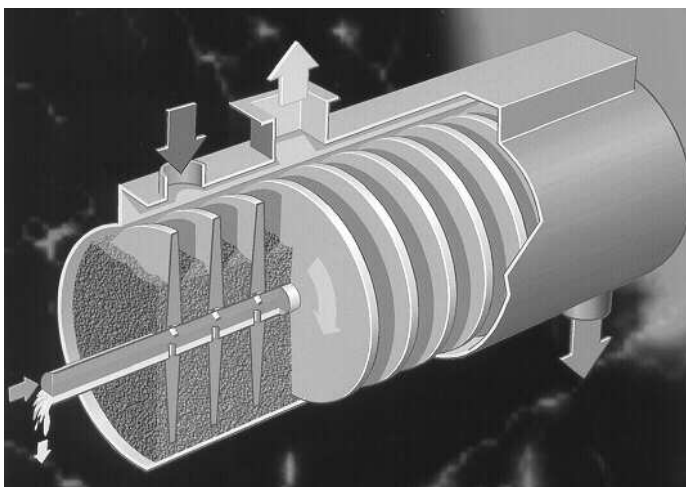
Abbildung 13: Trocknungsarten

Bisher wurden im kommunalen Bereich fast ausschließlich Konvektions- bzw. Kontaktstrocknungsanlagen realisiert.

Bei der Trocknung entstehen Brüden, die ein Gemisch aus Wasserdampf, Luft und aus dem Schlamm ausgetriebenen Gasen (bei der direkten Trocknung auch der Heißgase) darstellen. Auf ihre Behandlung wird später eingegangen.

4.3.1 Kontaktstrockner

- **Scheibentrockner**

**Abbildung 14: Scheibentrockner**

Das Trocknungsaggregat besteht aus einem Stator und einem innenliegenden Rotor. Der Rotor besteht aus einer Hohlwelle mit aufgeschweißten, hohlen Scheiben. Diese werden vom Heizmedium (z.B. Satttdampf bis ca. 10 bar) durchströmt und geben die Wärme an den entwässerten Klärschlamm ab. Als Verfahrensvariante kann noch zusätzlich der Stator beheizt werden. Scheibentrockner können sehr kompakt gebaut werden.

Auf den Rotorscheiben Transportpaddel angebracht, durch die der Klärschlamm axial im Trockner gefördert wird. Der freiwerdende Brüden wird über den Brüdenom aus dem Trockner ausgetragen.

Aufgrund der langsamen Drehung des Rotors (Umfangsgeschwindigkeit ca. 1 m/s) wird der Klärschlamm gut durchmischt und ständig eine neue Grenzfläche für die Trocknung erzeugt.

Das Betriebsverhalten von Scheibentrocknern ist sehr träge (große Schlammengen), sie sollten möglichst kontinuierlich betrieben werden.

Folgende spezifische Verdampferleistungen werden erreicht

- Volltrocknungsanlagen von ca. 7 bis 10 kg H₂O/(m² · h) und
- Teiltrocknungsanlagen von größer als 11 kg H₂O/(m² · h).

Der Trocknungsgrad des Produktes wird in der Regel über die eingetragene Schlammmenge und das Verhältnis an rückgemischtem Trockengut eingestellt. Die Stromaufnahme kann als Regelparameter für die Menge des rückgemischten Schlammes genutzt werden. Bei zu geringer Rückmischschlammmenge erfolgt eine Annäherung an die Leimphase und aufgrund des erhöhten Widerstandes steigt die Stromaufnahme.

- **Dünnschichttrockner**

Dünnschichttrockner bestehen aus einem horizontalen Stator mit doppelwandigem Zylinder und einem innenliegenden Rotor. Über den Doppelmantel des Zylinders wird dem Trockner die Wärmeenergie in Form von Sattedampf oder Thermoöl zugeführt.

Der innenliegende Rotor mit seinen aufgeschweißten Verteil- und Transportelementen hat die Aufgabe, den entwässerten Klärschlamm in einer 5 bis 15 mm dicken Schicht auf den inneren Umfang des Stators aufzubauen und abzustreifen. Auf diese Weise wird eine ständige Kontaktgrenzflächenenerneuerung gewährleistet.

Die Ausbildung des Rotors sorgt für einen spiralförmigen Transport des Trockengutes entlang der Heizflächen bis hin zur Austragsseite.

Aufgrund der ständigen Oberflächenerneuerung und geringen Schlammengen im Trockner kann die kritische Leimphase problemlos durchfahren werden, ohne dass der Klärschlamm an den Heizflächen verklebt.

Der Rotor wird mit Drehzahlen von 7 bis 75 U/min angetrieben. Bei Trocknungsgraden von bis zu ca. 65 % TR ist mit einer spezifischen Verdampfungsleistung von 25 bis 35 kg (H₂O)/(m² · h) zu rechnen. Das An- und Abfahren dauert nicht lange (ca. 1 Stunde), da sich nur relativ geringe Klärschlammengen im Trockner befinden.

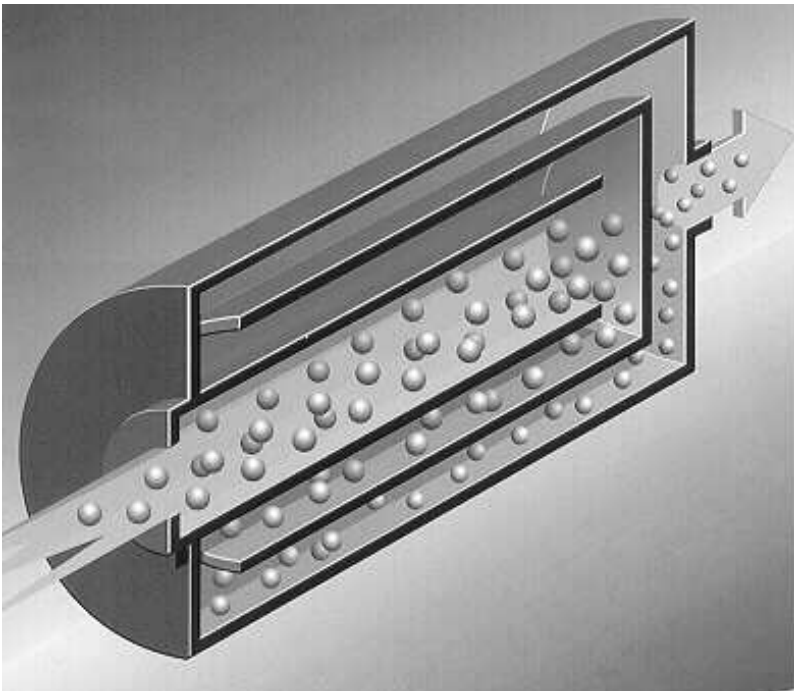
Grundsätzlich ist mit einem Dünnschichttrockner sowohl eine Teil- als auch eine Volltrocknung möglich.

Maßgeblich für den Trocknungsgrad bei Dünnschichttrocknern ist der Trockenrückstand des zugeführten Schlammes und die eingetragene Schlammmenge. Die Umdrehungszahl der Paddel beeinflusst die Produktstruktur und wird in der Regel während des Betriebes nicht geändert.

4.3.2 Konvektionstrockner

- **Trommeltrockner**

Die Trocknung findet in einer ständig rotierenden ein- bis dreizügigen Trommel statt. Der Transport durch die Trommel geschieht je nach Typ mit dem Heißgasstrom, durch Leitbleche in der Trommel oder durch eine geneigte Trommelstellung.

Abbildung 15: Trommeltrocknungsanlage

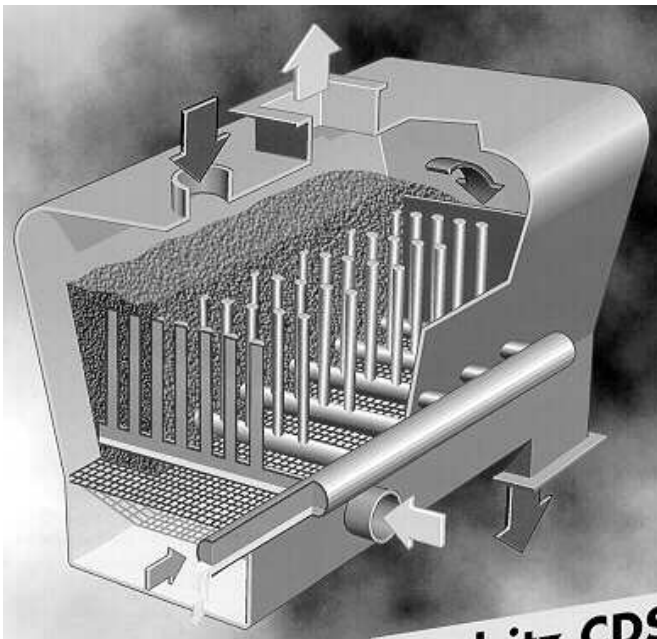
Über einen Feststoffabscheider wird das Prozeßgas vom getrockneten Klärschlamm getrennt.

Der Wärmeeintrag in den Trockner kann auf zwei Arten geschehen: entweder wird ein Heißgasstrom mittels Wärmetauscher auf ca. 400 bis 450 °C erhitzt und dann im Kreislauf geführt oder das Brennerabgas direkt in den Trockner eingetragen (direkte Trocknung).

Trommeltrocknungsanlagen werden ausschließlich zur

Volltrocknung eingesetzt. Da ein Durchfahren der Leimphase im Trockner nicht möglich ist, muss eine Rückmischung von getrocknetem Gut erfolgen.

- **Wirbelschichttrockner**



Wirbelschichttrockner sind eine Kombination aus Kontakt- und Konvektionstrockner. Der Wirbelschichttrockner ist der einzige Apparat, bei dem der Trockner – abgesehen vom externen Gebläse – keinerlei bewegte Teile aufweist.

**Abbildung 16:
Wirbelschichttrocknungsanlage**

Über einen Düsenboden wird Gas in den Trockner eingeblasen, dadurch werden die Partikel in Schwebelage gehalten und intensiv durchmischt. Gleichzeitig wird mit dem Gasstrom auch der Wasserdampf abtransportiert. Durch

konstruktive Maßnahmen (z.B. Prallbleche) wird verhindert, dass grobe Schlammartikel mit dem Gasstrom aus dem Trockner ausgetragen werden. Der Feinanteil muss mittels Filter entfernt werden. Der Wärmeeintrag in den Trockner erfolgt über Rohrschlangen im Fließbett. Das Gas wird im Kreislauf gefahren, so dass nur geringe Abgasmengen anfallen.

Die Leimphase ist in der Regel für Wirbelschichttrockner kein Problem, trotzdem wird häufig eine Rückmischung von getrocknetem Gut vorgesehen. Wirbelschichttrocknungsanlagen werden zur Volltrocknung eingesetzt.

Wirbelschichttrockner lassen sich gut über die Temperatur im Fließbett steuern. Auch ist ein gesteuertes An- und Abfahren schnell und einfach möglich.

Solche Anlagen haben einen geringen Energieverbrauch und können sehr kompakt gebaut werden.

- **CENTRIDRY-Verfahren**

Beim CENTRIDRY-Verfahren wird Entwässerung und Trocknung in einem Aggregat durchgeführt.

Der Dünnschlamm wird durch eine im Inneren des Trockners installierte Zentrifuge zunächst entwässert. Das dabei anfallende Zentrat wird direkt aus dem Prozeß ausgeschleust. Der entwässerte Klärschlamm wird am Feststoffabwurf durch ein Prallblech fein zerteilt und einem Heißgasstrom ausgesetzt. Das Heißgas wird entgegen der axialen Förderrichtung der Zentrifuge eingeleitet und verlässt gemeinsam mit dem getrockneten Klärschlamm den Trockner.

Die erforderliche Wärmemenge wird über Brenngase zugeführt. Der ausgetragene Brüden wird über einen Zyklon mit Zentralschleuse geführt, in dem der getrocknete Klärschlamm vom Gasstrom getrennt wird. Die Brüden werden im weiteren von einem Gebläse angesaugt und der Brüdenbehandlung zugeführt.

Das Verfahren ist empfindlich auf Schwankungen des Trockenrückstandes im Naßschlamm. Die Beschickung muss daher über einen Ausgleichsbehälter in dem der Schlamm Homogenisiert wird erfolgen.

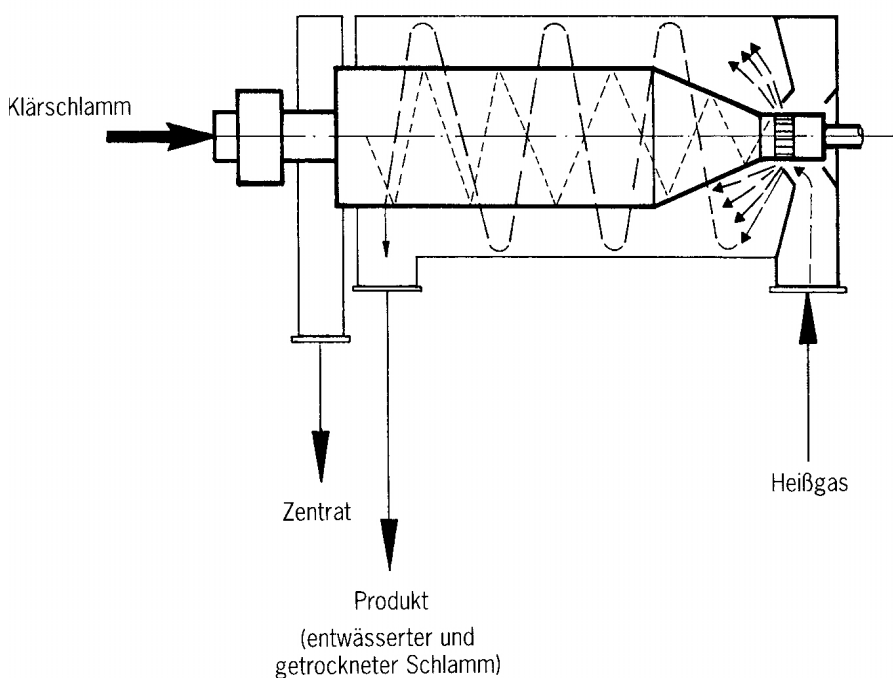


Abbildung 17:
CENTRIDRY-
Trocknungs-
anlage

Zur Steuerung werden Druck, Temperatur, Durchfluß, Füllstand und Drehzahl der Zentrifuge herangezogen. Da sich zu keinem Zeitpunkt große Schlammengen im System befinden, ist ein schnelles An- und Abfahren der Anlage problemlos möglich.

- **Bandrockner**

Zur Trocknung wird der entwässerte Klärschlamm maschinell zerkleinert (pelletiert) und gleichmäßig auf ein gelochtes Förderband aufgegeben. Das Förderband wird durch die Trocknerkammern transportiert und dabei von unten mit Trocknungsgas beaufschlagt.

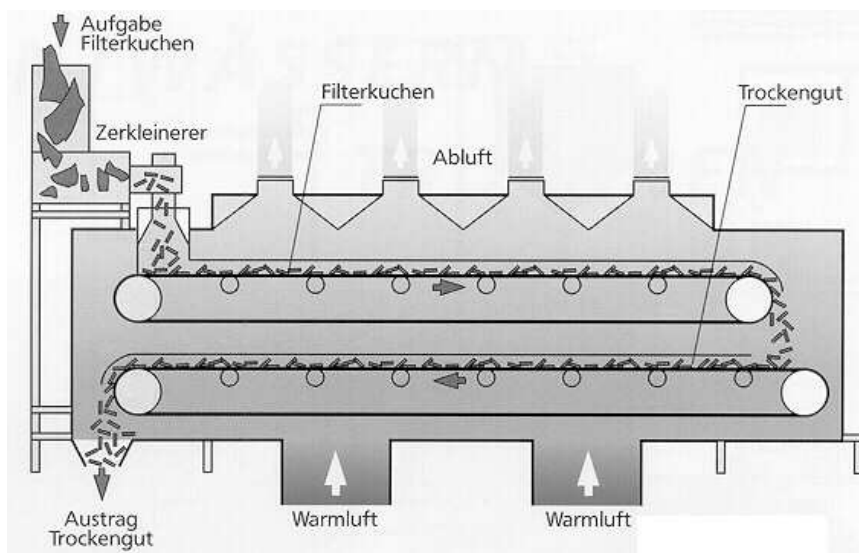
Bandrockner sind in der Lage, entwässerten Klärschlamm direkt durch die Leimphase auf einen Trockenrückstand von größer als 90 % zu trocknen. Der Pelletiervorrichtung kommt dabei große Bedeutung zu, da bereits hier die Kornstruktur eingestellt wird.

Das Trocknungsgas (mit einer Temperatur von 130°C) wird über mehrere Gebläse von unten in die einzelnen Kammern eingebracht und gemeinsam mit dem Brüden im oberen Bereich des Trockners wieder abgezogen.

Das Trocknungsgas wird im Kreislauf geführt, während ein Teilstrom aus dem Prozeß ausgeschleust und behandelt wird.

Bei Bandrocknern stehen drei Eingriffsmöglichkeiten zur Steuerung der Trocknung zur Verfügung. Dies sind die eingetragene Schlammmenge, die Fördergeschwindigkeit des Bandes und die zugeführte Wärmeenergie. Aus der Schlammmenge und der Fördergeschwindigkeit ergibt sich die Schichthöhe auf dem Band

Abbildung 18: Bandtrocknungsanlage



- **Kaltlufttrockner - Warmlufttrockner**

Die Kaltlufttrocknung ist ähnlich wie ein Bandrockner aufgebaut. Sie unterscheidet sich hauptsächlich durch das Temperaturniveau des Trocknungsgases.

Für die Trocknung im Kaltlufttrockner ist eine Vorentwässerung notwendig. Auch hier muss das entwässerte Gut zerkleinert werden.

Das zu trocknende Gut wird kontinuierlich auf ein Siebband aufgegeben, so dass sich eine 3 bis 5 cm hohe, lockere Schüttung einstellt. Diese verbleibt ca. 1 bis 1,5 Stunden im Trockner und wird kontinuierlich mit großen Luftmengen aus der Umgebung beaufschlagt. Abhängig von der jeweiligen Bauform ist es möglich, einen Klärschlammvolumenstrom von 2–8 m³/h auf einen Trockenrückstand von 70 bis 90 % zu trocknen. Da das Prinzip des Kaltlufttrockners ausschließlich auf dem natürlichen Trocknungspotential der Umgebungsluft basiert, sind große Luftmengen erforderlich, um das beschriebene Ergebnis zu erreichen. Darüber hinaus ergeben sich bei einer Lufttemperatur kleiner als 10 °C und einer relativen Feuchtigkeit größer als 80 % sehr ungünstige Verhältnisse, so dass eine Vorerwärmung der Umgebungsluft notwendig wird.

Der durchgesetzte Trocknungsgasstrom wird ohne Behandlung wieder an die Umgebung abgegeben.

4.3.3 Strahlungstrockner- Solartrocknung

Eigentlich sind Solartrocknungsanlagen eine Weiterentwicklung der altbekannten Schlamm-trockenbeete. Der Schlamm wird auf eine zum Untergrund abgedichtete Fläche, die durch eine Gewächshauskonstruktion mittels hochtransparenter Folien bzw. Glas abgedeckt ist, aufgebracht. Zur Erhöhung der Trocknungsleistung innerhalb der Anlage werden Umsetzmaschinen verwendet. Zur Umsetzung können Walzen mit spiralförmig angebrachten Schaufeln oder spezielle Förderbandkonstruktionen sowie fahrbare Wagen zum Einsatz kommen.

Durch die Sonneneinstrahlung wird je nach Witterung die Raumtemperatur aufgeheizt und damit die Wasseraufnahme der vorhandenen Luft erhöht. Über Abluftschächte wird diese Luft nach außen abgegeben. Die Regelung kann mittels Öffnen und Schließen von Luken erfolgen. Der Luftaustausch kann durch den Einsatz von Ventilatoren verbessert werden.

Die Trocknungszeit ist im wesentlichen abhängig von der Lufttemperatur in der Trocknungsanlage, der Wassersättigung der Außenluft sowie der Luftaustauschrate innerhalb der Anlage. Nach Herstellerangaben können mit Solartrocknungsanlagen pro Quadratmeter und Jahr 700 bis 1200 Liter Wasser verdunstet und Trockenrückstände von mehr als 85 % erzielt werden KASSNER (2000).

5. Schlammverbrennung – Thermische Verwertung

Die Verbrennung von Klärschlamm erfolgt in Österreich derzeit nur an einigen wenigen Stellen (z.B. Wien; Lenzing; Frantschach; ...). Der Vorteil ist die größtmögliche Verringerung der zu behandelnden Restmasse (Asche, Rückstände aus der Rauchgasreinigung). Da es durch die gesetzlichen Vorgaben (Deponieverordnung BGBL 1996/164; BGBL 1997/59) in absehbarer Zeit (2004 bzw. 2008) praktisch sehr schwer werden wird Klärschlamm zu deponieren, wird dieser Behandlungsweg an Bedeutung gewinnen.

Der Heizwert der Schlamm-trockenmasse ist stark vom Glührückstand abhängig. Je höher der Glührückstand desto kleiner der Heizwert. Bei einem Glührückstand von ca. 50% liegt der Heizwert bei ca. 8.000 - 10.000 kJ/kg.

Klärschlamm kann allein oder gemeinsam, z.B. mit Hausmüll oder in Zementwerken, in Wirbelschicht- oder Etagenöfen verbrannt werden. Die dafür eingesetzten Technologien sind sehr vielfältig und würden den Rahmen dieses Vortrages sprengen der interessierte Leser sei auf die Fachliteratur verwiesen, z.B. ATV (1996) oder THOMÉ-KOZMIENSKY (1998).

6. Literatur

ANNEN G.: Zur Berechnung der Reibungsverluste von Klärschlamm; GWF 104, (1963)

ATV – Arbeitsbericht Fachausschuß 3.2 (1992): Auswahl und Einsatz von organischen Flockungshilfsmitteln - Polyelektrolyten – bei der Klärschlamm-trennwässerung, *Korrespondenz Abwasser* 4/1992

ATV – Arbeitsbericht Fachausschuß 3.2 (1995): Maschinelle Schlamm-trennwässerung, *Korrespondenz Abwasser* 2/1995

ATV (1996): ATV Handbuch Klärschlamm 4. Auflage, 1996

ATV – Arbeitsbericht Arbeitsgruppe 3.3.1 (1997): Trocknung Kommunaler Klärschlämme in Deutschland, Teil 1, *Korrespondenz Abwasser* 10/1997

ATV – Arbeitsbericht Fachausschuß 3.2 (1998): Eindickung von Klärschlamm, *Korrespondenz Abwasser* 1/1998

ATV – Arbeitsbericht Arbeitsgruppe 3.3.1 (1999): Trocknung Kommunaler Klärschlämme in Deutschland, Teil 2, *Korrespondenz Abwasser* 9/1999

FREY W.: Belüftungssysteme; Wiener Mitteilungen Band 81; 1990

HANITSCH P.H.: Rohrreibungsverluste bei der Förderung von Klärschlamm; *Korrespondenz Abwasser* Heft 7; (1981)

KASSNER W.: Solare Klärschlamm-trocknung, KA Nr.:1, S. 91ff (2000)

WEINBERGER J.: Errichtung einer Schlamm-pressen in Form einer Zentrifuge anstelle einer Kammerfilter-pressen – Kostenersparnis/Variantenvergleich KA Betriebsinfo Folge 2 (1998)

THOMÉ-KOZMIENSKY 1998: Klärschlamm-trennung; TK Verlag Thomé-Kozmiensky

ZÄSCHKE E.: Hydraulische Planung von Kläranlagen, Vortragsmanuskript ATV-Seminar 84/3, (1984)

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg
Telefon: ++43 (0) 2262 68173
Fax: ++43 (0) 2262 66385
Handy: 0664 1420181
e-mail: aab.frey@aon.at