

"Verfahren und Anwendungsgebiete der mechanischen Klärschlamm-Desintegration"

Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 3.1.6 „Klärschlamm-Desintegration“

Mitgearbeitet haben:

Dr.-Ing. Johannes Müller, Braunschweig (Sprecher)
Dr. rer. nat. Andreas Tiehm, Hamburg (stellv. Sprecher)
Dipl.-Ing. Bernhard Eder, München
Prof. Dr.-Ing. F. Wolfgang Günthert, München
Dr.-Ing. Herbert Hruschka, München
Dipl.-Ing. Julia Kopp, Braunschweig
Prof. Dr. rer. pol. Peter M. Kunz, Mannheim
Dr.-Ing. Rolf Otte-Witte, Köln
Dipl.-Ing. Karl-Georg Schmelz, Essen
Dipl.-Ing. Kainan Seiler, Darmstadt

1 Vorbemerkung

Zielsetzung der 1998 neu eingerichteten Arbeitsgruppe 3.1.6 "Klärschlamm-Desintegration" ist die Information aller ATV-Mitglieder über die Hintergründe, Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren zur Klärschlamm-Desintegration. Aufbauend auf einer durch den Fachausschuß 3.1 angeregten Veröffentlichung in der Korrespondenz Abwasser [1] kommen wir diesem Anliegen mit dem hier vorgelegten ersten Teil des Arbeitsberichtes nach.

2 Aufgaben und Geltungsbereich

Die Zielsetzungen der Desintegration sind das Freisetzen von Zellinhaltsstoffen, um den Schlamm weitergehend als bisher zu stabilisieren bzw. zu mineralisieren sowie die Bekämpfung von Schaumproblemen. Konkrete Einsatzgebiete sind die Verbesserung der anaeroben Stabilisierung, die Bereitstellung von internen H-Quellen für die Denitrifikation und die verbesserte Absetzbarkeit von Schlämmen, insbesondere Blähschlämmen.

Physikalische, chemische und biologische Prozesse können zu einer Desintegration von Schlämmen führen. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den physikalischen (mechanischen, thermischen) und physikalisch-chemischen Verfahren zu. Die Arbeitsgruppe wird sich zunächst auf die Verfahren der mechanischen Desintegration konzentrieren, die zugleich auch den Schwerpunkt dieses Berichtes darstellen. Über die anderen genannten Verfahren soll in einem weiteren Bericht zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

Aspekte wie die technische Realisierbarkeit, die Beeinflussung des Kläranlagenbetriebs, der spezifische Energiebedarf und die Wirtschaftlichkeit werden in einem zweiten Teil des Arbeitsberichtes beleuchtet. Dort soll auch ein Vergleich und eine Bewertung der Verfahren vorgenommen werden.

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Desintegration

Unter Klärschlamm-Desintegration ist die Zerkleinerung von Klärschlämmen durch die Einwirkung äußerer Kräfte (physikalisch, chemisch, biologisch) zu verstehen. Die Einwirkung der Kräfte führt zu einer Auflösung der Flockenstruktur des Schlammes und zu einem Aufschluß der im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen.

Der Grad der Zerkleinerung des Schlammes hängt u.a. vom eingesetzten Verfahren, der eingesetzten Energie und den Eigenschaften des Schlammes ab. Die Verfahren der Klärschlamm-desintegration lassen sich nach dem physikalischen Wirkprinzip einteilen (siehe Kap. 3.1.2). Bei geringen Energieeinträgen findet vornehmlich eine Flockenzerstörung statt, bei hohen Energieeinträgen eine Flockenzerstörung und ein Aufschluß der Mikroorganismen (siehe auch Abb. 2). Bei den Schlammereigenschaften ist in erster Linie der Gehalt an Mikroorganismen von Bedeutung (hoch bei Überschussschlamm, geringer bei Primärschlamm).

- **Flockenzerkleinerung (Niedrigenergetische Desintegration)**

Die Desintegration des Klärschlammes hat eine deutliche Reduzierung der Partikelgröße des Überschussschlammes zur Folge. Die stärkste Abnahme ist schon bei kurzen Beanspruchungsdauern zu beobachten. Die durch Biopolymere miteinander verketteten Organismen werden dabei voneinander getrennt. Die Energie der Bindung zwischen den Organismen ist deutlich geringer als die zur Zerstörung der Zellwand benötigte Energie. Daher werden zunächst die Schlammflocken zerstört.

- **Zellaufschluß (Hochenergetische Desintegration)**

Bei intensiverer Beanspruchung werden vermehrt Zellen aufgeschlossen. Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus sind die Widerstände der Zellen gegen äußere Kräfte sehr unterschiedlich. So lassen sich größere Mikroorganismen (z.B. Ciliaten) bereits durch geringe Scherkräfte schädigen, der Aufschluß von Bakterien, insbesondere von gram-positiven, ist hingegen mit erheblich höherem Energieaufwand verbunden. Bei der Untersuchung des Aufschlußverhaltens von Mikroorganismen in Klärschlämmen kann auf die Erfahrungen zurückgegriffen werden, die beim Aufschluß von Mikroorganismen in den Bereichen Biologie, Biotechnologie und Bioverfahrenstechnik gesammelt wurden [2].

Die Art der zugeführten Energie erlaubt eine Unterteilung in „mechanische Zellaufschlußverfahren“ und in „nicht-mechanische Zellaufschlußverfahren“. Die nichtmechanischen Verfahren der physikalischen (Wärmebehandlung, Gefrieren, osmotischer Schock, Dekompression u.a.), biologischen (enzymatische Lyse, Autolyse u.a.) oder chemischen (Säure- oder Laugenbehandlung, Einsatz von Detergentien u.a.) Desintegration werden Gegenstand eines späteren Berichtes sein.

Die zum Aufschluß notwendige Energie kann als mechanische Energie in Form von Druck-, Translations- oder Rotationsenergie zur Verfügung gestellt werden. Mechanische Beanspruchungen von festen Körpern resultieren in Spannungen und Dehnungen. Jeder feste Körper - hier die Zelle - leistet Widerstand gegen eine mechanische Verformung. Es kommt zur Zerkleinerung, wenn die Zerreißeigenschaft des Materials überschritten und die Summe der bereitgestellten Energien mindestens so groß ist wie die Summe der durch die Zerkleinerung aufgezehrten Energien.

3.2 Aufschlußgrad

Der Aufschlußgrad gibt den Anteil zerstörter Zellen, bezogen auf die gesamte Anzahl Zellen, an. Meistens stellt die Freisetzung organischen Materials das primäre Ziel der Klärschlammdeintegration dar. Da ein direkter Zusammenhang zwischen dieser Freisetzung und der Zerstörung der Zellen besteht, kann der Aufschlußgrad als charakteristische Größe für die Klärschlammdeintegration verwendet werden.

Während sich die Flockenzerstörung durch die Messung der Partikelgrößenverteilung gut verfolgen läßt, müssen zur Bestimmung des Grades der Zellzerstörung andere Meßverfahren herangezogen werden. Aufschlußgrade lassen sich u.a. anhand von Messungen der **CSB-Freisetzung** und der **Sauerstoffverbrauchsrate** der Schlammsuspension bestimmen.

3.2.1 Aufschlußgrad (A_{CSB}) aus der Messung des Chemischen Sauerstoffbedarfs

Durch die Schlammzerkleinerung wird organisches Material freigesetzt, das den Chemischen Sauerstoffbedarf in der Flüssigkeit erhöht. Mit dieser Meßgröße läßt sich nur dann ein Aufschlußgrad bestimmen, wenn zusätzlich die maximal mögliche CSB-Freisetzung ermittelt wird. Dazu kann ein Laugenvollaufschluß verwendet werden.

Die maximale CSB-Freisetzung CSB_L wird durch Erhitzen einer 1:1 mit 1 molarer Natronlauge versetzten Probe auf 90 °C für 10 Minuten erreicht. Alternativ kann auch eine Behandlung bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von 22 oder 24 h erfolgen. Im nächsten Behandlungsschritt sind die Proben für 10 Minuten bei 10.000 bis 30.000 g zu zentrifugieren und anschließend durch ein Membranfilter mit 0,45 µm zu filtrieren und der CSB zu bestimmen. Der im Überstand der unbehandelten Probe gemessene CSB_0 muß bei der Berechnung abgezogen werden.

$$A_{CSB} = \frac{CSB - CSB_0}{CSB_L - CSB_0} \quad [\%]$$

3.2.2 Aufschlußgrad (A_S) aus der Messung der Sauerstoffverbrauchsrate

Die Mikroorganismen des Überschussschlammes sind Aerobier oder fakultative Anaerobier. Sie verbrauchen folglich bei ihren Stoffwechselfvorgängen Sauerstoff. Die Aktivität eines solchen Schlammes läßt sich über die Messung der Sauerstoffverbrauchsrate nach DIN 38414 S6 [3] ermitteln. Durch den Aufschluß werden die Mikroorganismen zerstört oder inaktiviert und verlieren damit ihre Fähigkeit, Sauerstoff zu verbrauchen. Durch den Bezug dieser Abnahme der Sauerstoffverbrauchsrate (OV) auf die des unbehandelten Schlammes (OV_0) wird ein Maß für den erreichten Aufschlußgrad erhalten. Die Probe sollte so verdünnt werden, daß die Sauerstoffverbrauchsrate in einem Bereich von 0,5 bis 2 mg/l·min liegt, denn bei höher konzentrierten Suspensionen kann es zu Fehlmessungen kommen [4].

$$A_S = 1 - \frac{OV}{OV_0} \quad [\%]$$

Während der Aufschlußgrad A_{CSB} die Freisetzung der organischen Substanz in Form von gelösten Stoffen und Zellbruchstücken (< 0,45 µm) wiedergibt, die durch eine Zentrifugation nicht

abgeschieden werden, läßt der Aufschlußgrad A_S eine Aussage über den Aufschluß der aeroben Mikroorganismen zu, da er an deren Stoffwechsel gekoppelt ist. Der Vergleich gemessener Aufschlußgrade zeigt, daß die Werte für A_S um den Faktor 2 bis 4 größer sind als die Werte für den A_{CSB} [4]. Ein Erklärungsansatz dafür ist, daß auch durch einen vollständigen Zellaufschluß nicht so viel organisches Material in Lösung überführt werden kann wie durch den chemischen Aufschluß. Dies ist beim Vergleich von Meßergebnissen zu berücksichtigen.

3.3 Energiebedarf

Der eingetragenen Energie kommt bei der Desintegration eine bedeutende Rolle zu, da sie einen erheblichen Anteil an den Betriebskosten des Verfahrens hat. Weiterhin eignet sich diese Größe in besonderem Maße, um die Zerkleinerungsergebnisse verschiedener Geräte miteinander vergleichen zu können. Als spezifische Energie wird die auf die beanspruchte Trockenmasse bezogene Energie verstanden:

$$\text{Spezifische Energie} = \frac{\text{eingetragene Energie}}{\text{beanspruchte Trockenmasse}} \quad [\text{kWh/kg}]$$

Bestimmungsgleichungen für die Rührwerkskugelmühle und den Hochdruckhomogenisator sind in der Literatur angegeben [4].

4 Verfahren der mechanischen Klärschlamm-desintegration

Im folgenden werden die wichtigsten Desintegrationsverfahren dargestellt, die in den bisherigen Untersuchungen zum Einsatz gekommen sind.

4.1 Rührwerkskugelmühle

Die Rührwerkskugelmühle besteht aus einem zylindrisch oder konisch ausgebildeten Mahlbehälter, der wahlweise horizontal oder vertikal angeordnet ist. In den Mahlkörper ragt ein motorgetriebenes Rührelement mit Rührscheiben. Die Umfangsgeschwindigkeiten liegen bei 8 bis 20 m/s. Der Mahlraum ist durch eine Kugelschüttung, die Mahlkörper, ausgefüllt. Die über die Motorwelle angetriebenen Rührscheiben versetzen die Mahlkugeln in eine Rotationsbewegung und eine Relativbewegung zueinander. Während des Durchgangs der Suspension, die den Mahlraum durchströmt, werden die hierin enthaltenen Feststoffe durch die Mahlkugeln beansprucht. Die Mahlkörper bestehen aus verschleißfestem Material (Hartglas, Keramik, Stahl o. ä.) und haben Durchmesser zwischen 0,1 bis 2,0 mm. Zur Mahlgut-Mahlkörper-Separation können Zentrifugalkräfte oder Abtrennvorrichtungen am Produktauslauf wie Trennsplatt, Ringsplatt oder Siebpatrone eingesetzt werden [5].

Beim Aufschluß von Klärschlamm haben sich Rührwerkskugelmühlen als relativ unempfindlich gegenüber partikulären Fremdstoffen im Klärschlamm erwiesen [6]. Die Fremdstoffe werden in der Regel mit zerkleinert oder im Mahlraum zurückgehalten und wirken ihrerseits als Mahlkörper. Der Schlammumsatz wird durch die Mahlkörperabtrennung vermindert, da es hier zu Verstopfungen kommen kann.

4.2 Ultraschallhomogenisatoren/-desintegratoren

Als Ultraschall werden Schallwellen bezeichnet, die sich aufgrund ihrer hohen Frequenz (>20 kHz) außerhalb des menschlichen Hörbereichs befinden. Der Ultraschall breitet sich in Form von Longitudinalwellen aus und bewirkt eine periodische Verdichtung und Entspannung im Medium.

Der entscheidende Vorgang bei der Desintegration von Klärschlamm ist die durch Ultraschall hervorgerufene Kavitation. Unter Kavitation wird allgemein die Bildung von mikroskopisch kleinen Hohlräumen in einer Flüssigkeit unter Einwirkung eines sehr niedrigen Druckes verstanden. Die Hohlräume entstehen vorzugsweise an Instabilitätsstellen, wenn der Dampfdruck der Flüssigkeit durch Sogwirkung unterschritten wird, und die Flüssigkeit dadurch "aufreißt". Instabilitätsstellen sind z.B. durch suspendierte Partikel oder an Grenzflächen gegeben. Sie wirken als sogenannte Kavitationskeime. Die Gasblasen pulsieren in Resonanz mit dem Ultraschallfeld, wobei ihre Größe zunimmt. Anschließend fallen die Kavitationsblasen unter Einwirkung des äußeren Druckes schlagartig zusammen - ein Vorgang, der als Blasenimplosion oder Blasenkollaps bezeichnet wird. Infolge der Implosion treten in der Flüssigkeit sehr schnelle Strömungen („Jet-streams“) auf, die zu hohen Scherkräften führen. Desweiteren kommt es im Inneren der kollabierenden Gasblase, dem sogenannten „hot spot“, zu sehr hohen Temperaturen und Drücken (mehrere tausend Grad Celsius, mehrere hundert bar).

Voraussetzung für die effektive Desintegration von Klärschlamm ist der Aufbau eines hochenergetischen Ultraschallfeldes zur Erzeugung wirkungsvoller Kavitation [7]. Die hohen Scherkräfte beim Blasenkollaps führen zur Zerkleinerung von Makromolekülen und zum Aufschluß von Mikroorganismen im Klärschlamm [8, 9]. Die höchste Effizienz wird bei der Desintegration mit niederfrequentem Ultraschall im Bereich 20 - 50 kHz erzielt.

Die Erzeugung von Ultraschall erfolgt in der Regel mit piezokeramischen oder, seltener, mit magnetostriktiven Systemen. Grundsätzlich erfolgt stets die Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie. Bei den piezokeramischen Ultraschallwandlern werden anhand ihrer Form Stabschwinger und Tonpilz-Wandler unterschieden. Aufgrund des großen Durchmessers des Reaktorinnenraumes treten auch bei der Behandlung von Rohschlamm keine Verstopfungen auf.

4.3 Hochdruckhomogenisatoren

Es handelt sich um Geräte von einfachem Aufbau, die aus zwei Hauptkomponenten bestehen, einer mehrstufigen Hochdruckpumpe und einem Homogenisierventil. Die Hochdruckpumpe verdichtet die Suspension auf Drücke von mehreren hundert bar und ermöglicht je nach Maschinengröße Volumenströme von 40 Litern bis zu mehreren Kubikmetern pro Stunde.

Das Homogenisierventil stellt die eigentliche Aufschlußeinheit dar. Der stationäre Ventilsitz und der verstellbare Ventilkörper bilden den Homogenisierspalt, dessen Spaltweite durch eine äußere Kraft eingestellt werden kann. Die verdichtete Suspension wird durch den Spalt auf den Umgebungsdruck entspannt. Dabei wird die Suspension in der Einlaufzone stark eingeschnürt und auf Geschwindigkeiten bis 300 m/s beschleunigt. Aufgrund der Energieumwandlung von potentieller in kinetische Energie ergibt sich eine deutliche Druckabnahme. Der statische Druck erreicht im Ventilspalt den Dampfdruck der Flüssigkeit. Die entstehenden Dampfblasen (Kavitationsblasen) führen zu einer weiteren Beschleunigung der Gas-Flüssigkeitsströmung. Aus der Unterschall- wird eine Überschallströmung, die schlagartig im Kavitationsstoß verlangsamt wird. Die Kavitationsblasen kollabieren und induzieren energiereiche Schubspannungsfelder, in denen die Zellen aufgeschlossen werden. Schließlich trifft die Suspension auf den Prallring auf und verläßt die Maschine.

Der Homogenisierdruck stellt den wichtigsten variierbaren Parameter dar. Mit steigendem Druck nimmt auch die für die Zerkleinerung zur Verfügung stehende Energie zu und entsprechend verbessert sich das Aufschlußergebnis. Bei Drücken von mehreren hundert bar werden Hefen und Bakterien weitgehend aufgeschlossen [5].

4.4 Hochleistungspulstechnik

Zur Hochleistungspulstechnik zählen u.a. die Erzeugung und Nutzung von elektrisch erzeugten Durchschlägen in flüssigen oder festen Materialien. Derartige Durchschläge erzeugen Druckwellen (Schockwellen), deren Höhe und Steilheit über die Parameter einer elektrischen Impulsquelle gut gesteuert werden können [10].

Für den Klärschlammaufschluß wird das sogenannte elektro-hydraulische Verfahren verwendet. Zwei Elektroden befinden sich in einer elektrisch schlecht leitenden Flüssigkeit (Wasser) und sind mit einer gepulsten Energieversorgungsanlage (EVA) verbunden. Die EVA besteht grundsätzlich aus einer Ladeeinrichtung, den Impulskondensatoren sowie einem repetierbaren Hochleistungsschalter. Die Schlammpartikel befinden sich in kurzer Entfernung zum Elektrodensystem in der Flüssigkeit. Beim Zuschalten der EVA führen Ausgangsspannungen von einigen 10 kV zum elektrischen Durchschlag zwischen den Elektroden. Der nachfolgende, durch den im Medium entstandenen Plasmakanal fließende, Strom erzeugt eine Druckwelle, die durch die Flüssigkeit zu den Schlammpartikeln übertragen wird. Unter dem Einfluß dieser Druckwellen werden die Schlammpartikel durch Scherbeanspruchungen zerkleinert.

4.5 Lysat-Zentrifuge

Die Desintegration des Schlammes erfolgt hierbei mit einem speziellen Schlagwerk, das in die Eindickzentrifuge integriert ist und die von der Zentrifuge bereitgestellte kinetische Energie dissipiert [11]. Die Lysiereinrichtung ist bei vorhandenen Maschinen nachrüstbar.

Die Zellzerstörung erfolgt im Schlamm nach der Eindickung, somit wird das Zentrat nicht belastet. Konstruktiv erfolgt diese Zellzerstörung durch die Ausnutzung dreier Effekte:

1. Verzögerungskraft aufgrund der Verminderung der vorhandenen kinetischen Energie (Prallkräfte infolge Aufpralls der Partikel im Zentrifugen-Rahmen)
2. Zusätzliche Prallwirkungen aufgrund einer Schlagwerkskonstruktion, in der die aus der Zentrifuge abgeworfenen, noch bewegten Partikel abgebremst werden
3. Zusätzliche Scherwirkung in obiger Konstruktion aufgrund der Zentrifugendrehzahl im Bereich von 1500 bis 3000 /min

4.6 Prallstrahlverfahren

Bei der Prallstrahltechnik wird eine Suspension mittels einer Hochdruckpumpe auf Drücke von 20 bis mehreren hundert bar verdichtet und dann durch eine Düse entspannt. Nach dem Durchtritt durch die Düse wird die Suspension im Freistrahlfeld auf eine Prallplatte geführt, wo sie mit hoher Geschwindigkeit aufrifft. Die Beanspruchung erfolgt sowohl durch Kavitation im Bereich der Düse als auch durch die schlagartige Verzögerung auf der Prallplatte.

Im Staupunkt des Flüssigkeitsstrahls und in seiner näheren Umgebung treten maximale Druckkräfte, Geschwindigkeiten und Schubspannungen auf, die für die Desintegration der Partikel verantwortlich sind. Von diesem Punkt ausgehend nehmen die einwirkenden Kräfte konzentrisch

ab. Gleichzeitig auftretende Scherkräfte spielen nur eine geringe Rolle, dagegen ist die Strömung im Bereich des Staupunktes von besonderer Bedeutung [12].

Damit dieses Verfahren zur technischen Nutzung herangezogen werden kann, wird die Suspension mehrere Male rezirkuliert, um die Mikroorganismen einer ausreichenden mechanischen Belastung auszusetzen. In anderen Worten, je öfter die Bakterien auf die Prallplatte aufschlagen, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Zellwand aufbricht und das Innere der Zelle in Lösung geht. Diese Rezirkulation wird als Aufprallhäufigkeit ausgedrückt [13].

Die wichtigsten Optimierungsparameter des Prallstrahlverfahrens sind der Druck des aus der Düse austretenden Flüssigkeitsstrahles, die Düsenform, der Düsen- bzw. Strahldurchmesser und die Aufprallhäufigkeit [14].

5 Anwendungsbereiche

Die mechanische Klärschlamm-Desintegration kann verschiedene Wirkungen auf die Schlammbehandlung und die Abwasserreinigung einer Kläranlage haben. Auf die wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten und Einflußgrößen wird im folgenden eingegangen.

In Abbildung 1 sind mögliche Einsatzorte der Desintegration auf einer Kläranlage mit den Buchstaben A bis G gekennzeichnet. An jedem der vorgestellten Orte kann neben einer Behandlung des gesamten Volumenstroms auch eine Teilstrombehandlung vorgenommen werden. Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

- A Optimierung der Faulung
- B Zerstörung von fädigen Organismenstrukturen zur Schwimmschlammbekämpfung
- C Zerstörung von fädigen Organismenstrukturen zur Schwimmschlammbekämpfung
Verminderung des Überschußschlammanfalles
Optimierung der Denitrifikation
- D Verminderung des Überschußschlammanfalles (D1)
Optimierung der Denitrifikation (D1)
Optimierung der Faulung (D2)
- E Zerstörung von fädigen Organismenstrukturen zur Schwimmschlammbekämpfung
- F Optimierung der Faulung
- G Beeinflussung des Entwässerungsverhaltens

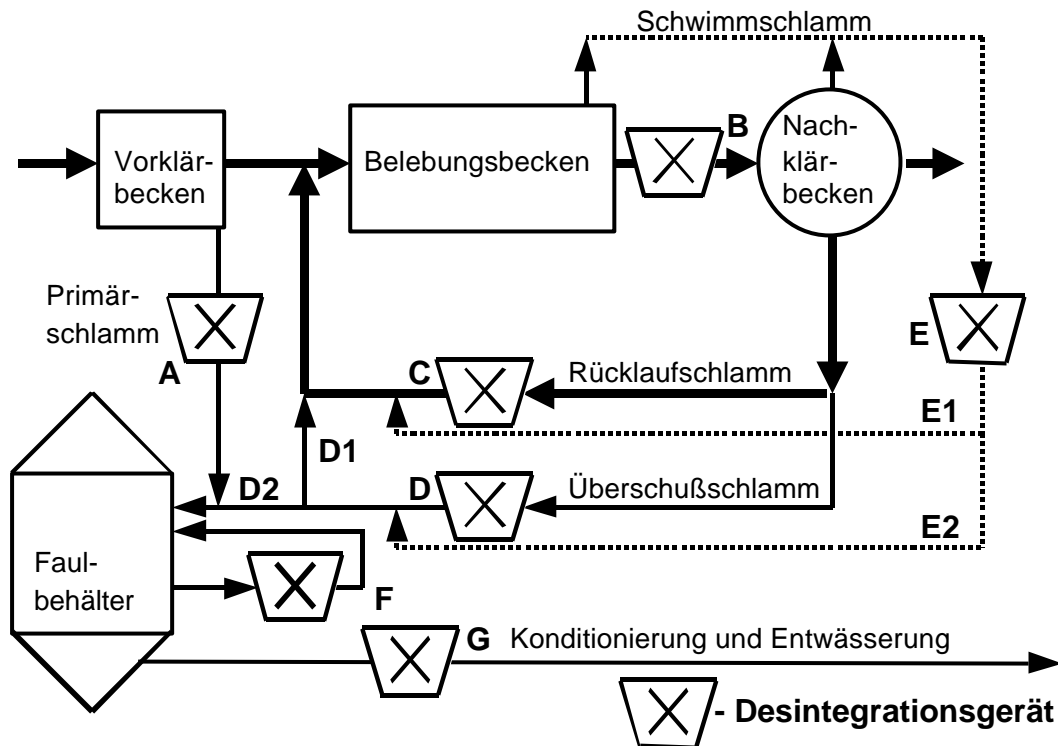


Abb. 1: Anwendungsmöglichkeiten der Klärschlamm-desintegration

Bei der **Desintegration des Rohschlammes (A)** werden neben den Bakterienzellen auch die partikulären Bestandteile des Primärschlammes aufgeschlossen. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß der Primärschlammaufschluß weniger effektiv ist als die Überschussschlamm-desintegration [9]. Diese Verfahrensweise wird sich daher nur in bestimmten Fällen lohnen, z.B. wenn der Primärschlamm durch industriellen Einfluß besonders viele partikuläre organische Bestandteile enthält.

Bei der **Überschußschlamm- bzw. der Rücklaufschlamm-desintegration (C, D)** werden die Bakterienzellen aufgeschlossen und der innere, organische Anteil für einen biologischen Abbau schneller zugänglich gemacht. Dies gilt sowohl für den aeroben als auch für den anaeroben Abbauweg. In beiden Fällen findet eine weitergehende Verminderung der organischen Masse statt, mit dem Effekt, daß die zu entsorgende Schlammfeststoffmenge weiter verringert wird. Das Desintegrat kann als Wasserstoffdonator für die Denitrifikation genutzt werden. Dadurch lassen sich externe Quellen substituieren und die anfallende Überschussschlammmenge reduzieren. Durch die Verminderung des Überschussschlammmanfalls steigen folglich die Konzentrationen anorganischer Schlammbestandteile, wie Phosphat und Metalle an. Die Anreicherung muß im Hinblick auf die weitere Entsorgung berücksichtigt werden.

Bei der **Desintegration von Schwimm- und Blähschlämmen (B, C, D, E)** werden fadenförmige Strukturen aufgebrochen, so daß die Organismen im Inneren der Flocke besser mit Nährstoffen versorgt werden und fadenförmige Organismen ihren Selektionsvorteil verlieren können. Dadurch können Absetz- und Schaumprobleme bekämpft werden. Bei Desintegration des separat abgezogenen Schwimmschlammes (E) reduziert sich der zu behandelnde Volumenstrom deutlich.

Die **Faulschlamm-desintegration (F, G)** zielt auf die Verbesserung des Abbaugrades bzw. des Entwässerungsverhaltens. Zur Verbesserung des Abbaugrades wird ein Teil des Faulbehälterinhalts über ein Aufschlußgerät gefahren und anschließend wieder dem Faulbehälter

zugegeben. Das Aufschlußgerät kann dabei z. B. im Heiz- oder Umwälzkreislauf des Faulbehälters angeordnet werden. Es sollte beachtet werden, daß ein Teil der anaeroben Bakterien des Faulbehälters durch den Aufschluß kontinuierlich zerstört und damit abgetötet wird. Die Aufenthaltszeiten im Faulbehälter müssen mindestens so groß sein, daß sich die Population wieder regenerieren kann. Zur Verbesserung des Entwässerungsverhaltens wird ein Teilstrom des Faulschlammes aufgeschlossen und anschließend wieder in den unbehandelten Faulschlamm eingemischt. Ziel ist eine Verbesserung des Entwässerungsergebnisses durch eine Optimierung der Partikelgrößenverteilung, ohne daß sich der Verbrauch an Konditionierungsmitteln erhöht.

5.1 Schlamminimierung und Beschleunigung der Faulung (A, C, D2, F)

Die Schlammensorgung stellt einen wesentlichen Faktor für die Betriebskosten einer Kläranlage dar. Diese Kosten können gesenkt werden, wenn es gelingt, den anfallenden Klärschlamm so zu behandeln, daß der zu entsorgende Rest minimiert wird. Die Klärschlammintegration kann dazu einen Beitrag leisten.

Üblicherweise werden die auf Kläranlagen anfallenden Rohschlämme aerob oder anaerob stabilisiert. Bei der biologischen Stabilisierung wird ein Teil der organischen Substanz mit Hilfe von Mikroorganismen abgebaut und somit die Schlammmasse reduziert. Auf größeren Kläranlagen wird meist eine anaerobe Stabilisierung in Form einer mesophilen Klärschlammfäulung durchgeführt. Bei Faulzeiten, die üblicherweise zwischen 20 und 30 Tagen liegen, werden dabei 30 % bis 50 % der organischen Feststoffe abgebaut.

Durch Anwendung der Klärschlammintegration kann

- die Schlammfäulung beschleunigt werden, d. h. die oben genannten Abbaugrade können in wesentlich verkürzten Verweilzeiten erreicht werden,
- der Abbaugrad und die Faulgasproduktion erhöht werden, d. h. bei gleichen Verweilzeiten findet ein weitergehender Abbau der organischen Feststoffe mit entsprechend höherer Faulgasproduktion statt.

Diese Wirkungen wurden in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen. Es hat sich herausgestellt, daß die deutlichsten Effekte bei der Desintegration von Überschussschlämmen erreicht wird. Vor allem die benötigte Faulzeit läßt sich durch die Desintegration deutlich verringern. Trotz kurzer Faulzeiten können hohe Abbaugrade erreicht werden. Bei sehr langen Faulzeiten fallen die durch die Desintegration erreichten Vorteile weniger stark aus.

Die Klärschlammintegration bietet sich daher als Alternative zur Erweiterung einer überlasteten konventionellen Schlammfäulung (Faulzeiten < 15 d) oder zur Steigerung der Faulgasproduktion bei gleichzeitiger Minimierung der zu entsorgenden Schlammfeststoffmasse an. Die Faulgasmenge steigt in etwa in dem Maß, wie die organische Schlammfeststoffmasse reduziert wird.

Die Untersuchungen zeigen aber auch, daß aufgrund der Desintegration mit weiteren Auswirkungen auf den Betrieb zu rechnen ist. Zu den negativen Begleiterscheinungen können gehören der erhöhte Verbrauch an Flockungsmitteln bei der Konditionierung, die mögliche Verschlechterung des erreichten Entwässerungsergebnisses und die erhöhten Konzentrationen an CSB, Stickstoff und Phosphor im Schlammwasser verbunden mit einer erhöhten Rückbelastung der Kläranlage.

5.2 Einsatz des Desintegrates als H-Quelle für die Denitrifikation (C, D1)

Bei Belebungsanlagen mit für die Denitrifikation ungünstigem N/BSB₅-Verhältnis im Zulauf kann durch die Desintegration des vorhandenen Überschussschlammes und Zugabe des Desintegrats in das Denitrifikationsbecken die Denitrifikation verbessert werden.

Hierzu liegen bereits erste praktische Erfahrungen vor [15, 16]. In halb- und großtechnischen Versuchsanlagen wurde ein Parallelbetrieb realisiert, wobei bei einer der Strassen der Schlamm mittels einer Rührwerkskugelmühle aufgeschlossen wurde. Dabei konnte nachgewiesen werden, daß aufgeschlossene Biomasse als Wasserstoff-Donator für die gezielte Denitrifikation in Abwasserbehandlungsanlagen eingesetzt werden kann. Die „jungen“ Mikroorganismen verwerten dabei das Zellmaterial der „alten“; sie bauen auch durchaus neue Biomasse daraus auf. Wie die Untersuchungen jedoch zeigen, wird in einer anaeroben Behandlung unter Anwesenheit von Nitrat/Nitrit ca. 60 % des Zell-Kohlenstoffs in CO₂ überführt. Ergebnis der durchgeführten Versuche war auch eine deutliche Überschussschlammverminderung (Verminderung der Schlamm-trockenmasse nach 3 Monaten ca. 65 %). Der Massenverlust ist darauf zurückzuführen, daß die anorganischen Stoffe (abgesehen von Metallen) sich ähnlich wie bei den Membran-Bioreaktor-Verfahren im Schlamm nicht stark anzureichern scheinen. Die Schwermetallgehalte begrenzen abhängig von der Art der Schlamm-trennung die Rückführung des Desintegrates. Die über den Ablauf ausgetragene Trockenmasse lag in beiden Anlagen im üblichen Rahmen.

Hinsichtlich der Nährstoffelimination ist zu bedenken, daß mit dem Desintegrat auch eine entsprechende Menge Stickstoff und Phosphor zurück in die Belebung geführt wird. Mögliche Auswirkungen auf das Entwässerungsverhalten des Schlammes hinsichtlich Flockungsmittelverbrauch und erreichtem Entwässerungsgrad sind noch nicht ausreichend untersucht.

5.3 Bekämpfung von Bläh- und Schwimmschlamm (B, C, E)

Das Ziel der mechanischen Zerkleinerung von Bläh- und Schwimmschlämmen stellt das Aufbrechen der Fadenstruktur dar. Damit wird der voluminösen Flocke ihre Stützstruktur aus fädigen Organismen genommen, Gasblasen werden freigesetzt, die kleineren Bruchstücke der Flocke können sedimentieren und die Bruchstücke können besser kompaktiert werden.

Auch wenn noch keine systematischen Arbeiten zur mechanischen Behandlung von Schwimm- und Blähschlämmen existieren, so wurden von einigen Autoren Vorschläge zum Einsatz mechanischer Verfahren unterbreitet und exemplarisch schon im Labor- und technischen Maßstab erprobt. Die Ergebnisse belegen, daß durch eine mechanische Behandlung von Bläh- und Schwimmschlämmen die mit ihnen verbundenen Betriebsstörungen vermindert bzw. beseitigt werden können.

Untersuchungen mit Ultraschall [17] und anderen Desintegrationsgeräten [18] zeigten die Korrelation der Absetzeigenschaften mit der Flockenstruktur von Blähschlamm. Die Ultraschall-Behandlung führte zum Abtrennen der aus der Flocke herausragenden Fäden (Abb. 2A+B), wodurch der Schlammindex gesenkt wurde. Ein Aufschluß der Mikroorganismen konnte dabei weitgehend vermieden werden. Bei längeren Behandlungszeiten wurden auch die kompakten Flocken zerstört (Abb. 2C) und vermehrt Mikroorganismen aufgeschlossen. Dies kann zu einem Abtrieb von partikulärer Substanz führen. Der optimale Effekt wird daher bei einer genau dosierten Behandlung erreicht.

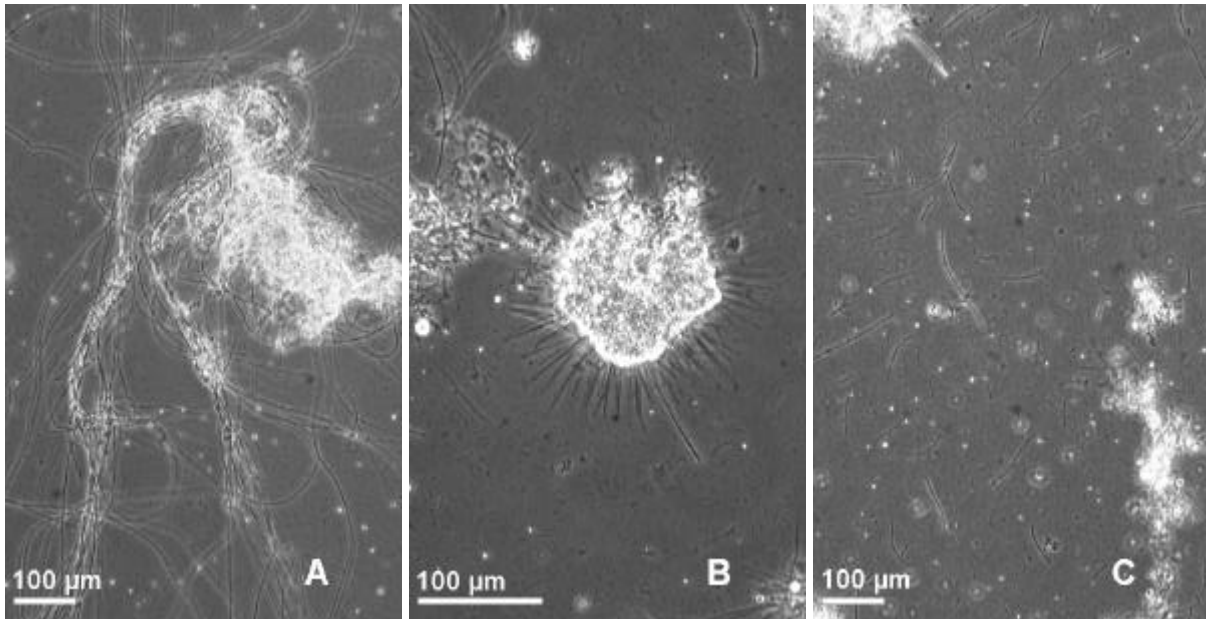


Abb. 2: Struktur von Blähschlamm (A) vor der Behandlung mit Ultraschall, (B) nach 2,5 Minuten Behandlung und (C) nach 5 Minuten Behandlung [17]

Vergleichbare Verbesserungen des Sedimentationsverhaltens fädiger Schlämme wurden nach mechanischer Beanspruchung im technischen Maßstab in einem Scherspalthomogenisator [19] und einem selbstentschlammenden Separator [20] erzielt. In beiden Fällen reduzierte sich der ISV deutlich.

Bei der Rückführung des desintegrierten Bläh- bzw. Schwimmschlammes in die Belebung sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen, um weitere negative Auswirkungen auf den Betrieb zu vermeiden. Durch einen zu hohen Energieeintrag kann die aktive Biomasse geschädigt werden und damit eine Verschlechterung des Reinigungsergebnisses auftreten. Außerdem kommt es dann zu einer erhöhten Freisetzung feiner organischer Bestandteile, die die Ablaufwerte der Kläranlage verschlechtern könnten. Schließlich ist derzeit nicht auszuschließen, daß das rückgeführte Desintegrat zu einem vermehrten Wachstum von fadenförmigen Bakterien führt.

Bei der Einleitung fädiger Schlämme in Faulbehälter kommt es häufig zu Problemen durch Schaumbildung. Erste Untersuchungen im Labormaßstab zeigten, daß die Schaumbildung durch eine mechanische Desintegration der fädigen Schlämme dauerhaft vermindert werden kann [18]. Die gleichen positiven Resultate wurden mit einem Hochdruckhomogenisator im technischen Maßstab auf einer Kläranlage erzielt [21].

5.4 Einfluß auf das Entwässerungsverhalten (G)

Ein potientiell Anwendungsbereich der Desintegration ist die Verbesserung der Schlammentwässerung. Der desintegrierte Schlamm wird vor der Konditionierung in den Schlammkreislauf zurückgeführt. Dabei soll eine optimale Partikelgrößenverteilung eingestellt werden, ohne daß sich der Bedarf an Konditionierungsmitteln wesentlich verändert. Versuchsergebnisse zeigen, daß sich durch eine Ultraschallbehandlung der TR-Gehalt im entwässerten Schlamm um bis zu 5 % verbesserte [22].

Wird die Klärschlamm-Desintegration vor dem Hintergrund einer Verbesserung des anaeroben Abbaus durch Zellaufschluß betrieben, ist bei gleichen Entwässerungsergebnissen mit einem erhöhten Polymerbedarf nach der anaeroben Stabilisierung zu rechnen [23]. Ein Erklärungsansatz dafür ist, daß durch den Zellaufschluß Polysaccharide freigesetzt werden, die aufgrund ihrer negativen Oberflächenladung einen erhöhten Polymerbedarf verursachen. Diese Polysaccharide werden während der Faulung nur sehr langsam abgebaut.

Literatur

- [1] DICHTL, N., ENGLMANN, E., GÜNTHER, F.W., MÜLLER, J., OSSWALD, M. (1997):
Desintegration von Klärschlamm - ein aktueller Überblick.
Korrespondenz Abwasser 44 (10), S. 1726-1739
- [2] SCHWEDES, J.; BUNGE, F. (1990)
Mechanische Zellaufschlußverfahren.
Jahrbuch Biotechnologie, Bd. 3, Karl Hauser Verlag, München, S.195-218
- [3] DIN 38414 S6 (1986):
Bestimmung der Sauerstoffverbrauchsrate.
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung
- [4] MÜLLER, J. (1996):
Mechanischer Klärschlammaufschluß.
Dissertation, TU Braunschweig, Shaker-Verlag Aachen, ISBN 3-8265-2053-X
- [5] PITTROFF, M. (1993):
Mechanischer Aufschluß von Mikroorganismen im Apparatevergleich zwischen
Rührwerkskugelmühle und Hochdruckhomogenisator.
Dissertation, TH Karlsruhe
- [6] STEHR, N.; MÜLLER, J. (1998):
Gestaltung von Rührwerkskugelmühlen für den Klärschlammaufschluß.
Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität
Braunschweig, Band 61, ISSN 0934-9731, S. 19-29
- [7] GÜNTHER, F.W.; OSSWALD, M. (1999):
Minimierung des Schlammanfalls auf Kläranlagen durch Desintegration -
Bestandsaufnahme auf großtechnischen Anlagen.
Mitteilungen der Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen; Heft 69
- [8] NICKEL, K. (1999):
Improving anaerobic degradation by ultrasonic disintegration of sewage sludge.
Ultrasound in Environmental Engineering, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary
Engineering 25, GFEU-Verlag, ISBN 3-930400-23-5, S. 217-232
- [9] NEIS, U.; NICKEL, K.; TIEHM, A. (1997):
Intensivierung der Schlammfäulung durch Klärschlammaufschluß mit Ultraschall.
Korrespondenz Abwasser, Heft 10/97: 1850-1855
- [10] WEISE, Th. H. G. G.; JUNG, M. (1998):
Klärschlammbehandlung mit der Hochleistungspulstechnik.
Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU-Braunschweig, Heft
61, ISSN 0934-9731, S. 75-82

- [11] OTTE-WITTE, R. (1998):
Verbesserung der Schlammfäulung durch die Eindickung mit der Lysat-Zentrifuge.
Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU-Braunschweig, Heft
61, ISSN 0934-9731, S. 245-252
- [12] WINKLER, K. (1997):
Degradation of sewage sludge produced from aerobical treated waste waters by an Impinging
Fluid Jet Technique.
Vom Wasser 88 (1997), 205-215
- [13] ALSHAABI, A. (1995):
Mechanischer Aufschluß überschüssiger Biomasse mit anaerober Weiterbehandlung der
erzeugten Biosuspension zur Biogasproduktion.
Dissertation, TU-Berlin
- [14] CHOI, H. B.; HWANG, K. Y.; SHIN, E. B. (1997):
Effects on anaerobic digestion of sewage sludge pretreatment.
Water Science Technologie Vol. 35, No. 10, 207-211
- [15] KUNZ, P. (1998):
Behandlung von Schlamm. Vogel Buchverlag Würzburg, ISBN 3-8023-1704-1
- [16] KUNZ, P.; WÖRNE, D. (1998):
Nachweis der biologischen Verfügbarkeit von Klärschlamm mittels Rührwerkskugel-
mühle im Rahmen einer gezielten Denitrifikation.
Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU-Braunschweig, Heft
61, ISSN 0934-9731, S. 209-214
- [17] TIEHM, A.; NICKEL, K.; NEIS, U. (1998):
Verbesserte Sedimentation von Blähschlamm durch Ultraschall.
Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 11. Fachtagung Weitergehende
Abwasserreinigung zum Schutz von Nord- und Ostsee, Lübeck-Travemünde 11/98
- [18] MÜLLER, J.; LEHNE, G.; PIEPER, P.; DICHTL, N. (1999):
Mechanische Zerkleinerung von Bläh- und Schwimmschlämmen.
Wasser Abwasser Praxis, Heft 6/99, S. 25-31
- [19] LAUBE, T. (1994):
Verfahrenstechnische und mikrobiologische Untersuchungen zur Entwicklung und
Bekämpfung von Blähschlamm in einer industriellen Abwasserreinigungsanlage.
Dissertation TH Darmstadt
- [20] SEYDLER, B.; NÄHER, G. (1978):
Maschinelle Bekämpfung von Blähschlämmen in Kläranlagen.
wlb „wasser, luft und betrieb“ 22, Nr. 10
- [21] DITTRICH, D. (1999):
Bildung und Bekämpfung von Schaum auf Kläranlagen mit Nährsalzelimination.
Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der
Universität Hannover, Heft 110 (in Vorbereitung)
- [22] FRIEDRICH, H.; POTTHOFF, A.; FRIEDRICH, E.; HIELSCHER, H. (1999):
Improving settling properties and dewaterability of sewage sludges by application of the
ultrasound technology.
Ultrasound in Environmental Engineering, TU Hamburg-Harburg, Reports on Sanitary
Engineering 25, GFEU-Verlag, ISBN 3-930400-23-5, S. 245-255

- [23] KOPP, J.; DICHTL, N. (1998):
Konditionierungs- und Entwässerungsverhalten von aufgeschlossenen und gefaulten
Schlämmen.
Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU-Braunschweig, Heft
61, ISSN 0934-9731, S. 245-252