

Intensivierung der anaeroben Schlammstabilisierung mit Ultraschall

Langjährige Erfahrungen auf der Kläranlage Bamberg

Hans-Joachim Wolff (Bamberg), Klaus Nickel, Alexander Houy, Anna Lunden und Uwe Neis (Hamburg)

Zusammenfassung

Die enzymatisch gesteuerte Hydrolyse biologischer Zellen ist als limitierender Faktor beim anaeroben Schlammabbau bekannt. Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit, mit der diese Reaktion abläuft, ist es nötig, Kläranlagen mit großen Faulräumen auszustatten. In der Vergangenheit wurde eine Reihe technischer Ansätze entwickelt, um diese systemeigenen Grenzen zu überwinden. Eine innovative Technologie dafür ist der Hochleistungs-Ultraschall. Ultraschall zur Desintegration von Schlamm/Biomasse führt zur Intensivierung des anaeroben Schlammabbaus, die Biogasproduktion steigt und weniger Restschlamm fällt an. In der letzten Zeit gewinnt die Schlammdesintegration besondere Bedeutung im Zusammenhang mit der Verwendung von Biomasse als erneuerbarer Energiequelle. In der Vergangenheit wurden zahlreiche Studien im Labor- und halbtechnischen Maßstab über die Wirkung verschiedener Verfahren zur Schlammdesintegration veröffentlicht, manchmal mit kontroversen Ergebnissen. Diese Arbeit berichtet erstmals über langjährige praktische Erfahrungen mit der Ultraschall-Schlammdesintegration auf der großen kommunalen Kläranlage der Stadt Bamberg.

Schlagwörter: Klärschlamm, Abwasserentsorgung, kommunal, Schlammbehandlung, anaerob, Biogas, Ultraschall, Desintegration, Betrieb, Erfahrung

DOI: 10.3242/kae2009.05.005

Abstract

Intensification of Anaerobic Sludge Stabilisation by Ultrasound Long-term experience at the Bamberg Sewage Treatment Plant

Enzyme-controlled hydrolysis of biological cells is a well-known limiting factor in anaerobic sludge degradation. Because of the low speed at which this reaction takes place, sewage treatment plants need to have very big septic tanks. In the past, a number of technical approaches were developed to overcome these limits that are inherent in the system. An innovative technology, which can be used, is high-power ultrasound. The use of ultrasound to disintegrate sludge/biomass leads to an intensification of anaerobic sludge degradation, the production of biogas increases, and the amount of residual sludge decreases. Lately, sludge disintegration is becoming especially important in connection with the use of biomass as a source of renewable energy. In the past, many studies at laboratory or semi-industrial scale on the effects of different sludge disintegration processes were published, sometimes with very controversial results. This paper for the first time reports on long-term practical experiences gained with ultrasonic sludge disintegration at the large-scale municipal sewage works operated by the city of Bamberg (Germany).

Key words: sewage sludge, wastewater disposal, municipal, sludge treatment, anaerobic, biogas, ultrasound, disintegration, operation, experience

1 Einführung

Weltweit ist die anaerobe Faulung die bevorzugte Methode für die Schlammstabilisierung, primär, weil der Prozess drei entscheidende Vorteile hat: 1) Energie in Form von Biogas aus dem Endprodukt der anaeroben Nahrungskette kann genutzt werden, 2) die weitere Verwendung des ausgefaulten Schlammes wird erleichtert, besonders durch eine bessere Entwässerbarkeit und 3) das zu entsorgende Schlammvolumen wird reduziert. Mit der stets steigenden Zahl der an die Kanalisation angeschlossenen Bevölkerung sind die Optimierung und ständige Verbesserungsversuche der anaeroben Faulung von essenzieller Bedeutung.

Heutzutage sind mehrere Verfahren (chemisch, thermisch, mechanisch) auf dem Markt mit dem Anspruch, die anaerobe Faulung auf Kläranlagen zu verbessern. Unsere Arbeiten über die akustische Schlammdesintegration (Ultraschall) begannen Mitte der 1990er-Jahre. Es konnte bewiesen werden, dass niederfrequenter Hochleistungs-Ultraschall (< 100 kHz) die nötige starke Kavitation erzeugt, um mechanische Scherkräfte zu entwickeln, die zur Desintegration von Biomassezellen führen. Zellinhaltsstoffe werden in die Wasserphase abgegeben, woraus sich ein höherer Grad an Substrat-Bioverfügbarkeit für die verbleibenden aktiven Mikroorganismen ergibt. Die enzyma-

tisch-biologische Hydrolyse, die der anfängliche Schritt der anaeroben Nahrungskette ist, wird durch diese akustisch-mechanische Desintegration des Schlammes ersetzt und als reaktionskinetisch begrenzender Faktor überwunden. Vor etwa fünf Jahren wurden die ersten Ultraschalleinheiten im großen Maßstab auf deutschen Kläranlagen in Betrieb genommen. Heute sind Kläranlagen, die mit dieser Technologie ausgestattet sind, in mehreren Ländern zu finden, wie Niederlande, Dänemark, Polen, Österreich, Ungarn und Spanien. Die Entwicklung der Hochleistungs-Ultraschalltechnik zur Schlamm-desintegration kann in einer neueren Veröffentlichung nachgelesen werden [1].

2 Intensivierung des anaeroben Schlammabbaus

2.1 Klärwerk Bamberg – vorbereitende Maßnahmen

Das Klärwerk Bamberg wurde ursprünglich für 220 000 Einwohnerwerte bemessen. Als Resultat der Verbesserung und Ausweitung des Entsorgungssystems stieg jedoch die Abwasserfracht im Lauf der Zeit auf ca. 330 000 Einwohnerwerte, es wurde mehr Schlamm produziert, und die Gesamt-Verweilzeit in den drei Faulbehältern sank unter 20 Tage. Der anfängliche Plan war, einen neuen, vierten Faulbehälter mit einem Volumen von 3000 m³ zu bauen.

Allerdings entschied die Betriebsleitung des Klärwerks Bamberg im Jahr 2002, die neu entwickelte Ultraschall-Technologie

in einem großmaßstäblichen Versuch über die Dauer von vier Monaten zu testen. Diese Tests wurden im gleichen Jahr mit Ultraschallgeräten der Firma Ultrawaves (Hamburg) durchgeführt. Der Betrieb der Faulbehälter mit beschalltem Überschussschlamm führte zu einem Anstieg der Biogasproduktion von fast 30 Prozent. Der Methangehalt stieg ebenfalls leicht. Der Glühverlust im Faulschlamm wurde von 60 auf 54 Prozent reduziert. Das erwünschte Minimalziel des Tests, ein oTR-Abbau von 45 Prozent, wurde also nicht nur erreicht, sondern überboten.

Als Folge dieser erfolgreichen Tests wurden zwei Ultraschalleinheiten (2 × 5 kW) der Firma Ultrawaves angeschafft. Der Bau eines weiteren, vierten Faulbehälters sollte so vermieden werden. Die Ultraschallmodule wurden im August 2004 installiert mit dem gleichen Ziel, nämlich den oTR-Abbau auf mindestens 45 Prozent zu erhöhen. Um dies zu erreichen, wurde das System so bemessen, dass 30 Prozent des eingedickten Überschussschlammes vor Beschickung der Faulräume beschallt werden. Parallel dazu wurde eine Zentrifuge zur separaten Überschussschlamm-eindickung eingeführt. Primärschlamm wird weiterhin durch Schwerkraft eingedickt.

Abbildung 1 a) zeigt die zwei Hochleistungs-Ultraschallreaktoren, die in Bamberg eingesetzt werden, Abbildung 1 b) eine aufgedeckte Ultraschalleinheit. Wie aus den Bildern ersichtlich, benötigt man nur eine kleine Stellfläche für die Ultraschall-Ausrüstung. Die Verbindung mit bestehenden Installationen ist einfach.

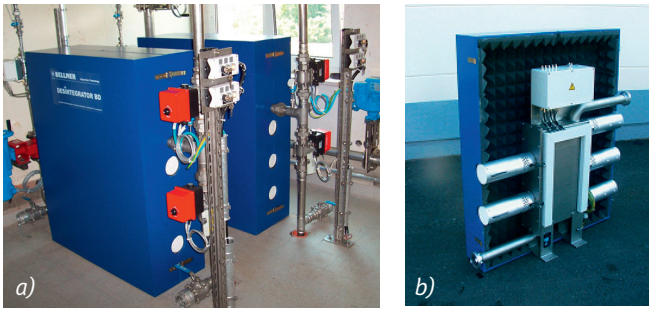


Abb. 1: a) Die zwei installierten Ultraschallreaktoren (Ultrawaves GmbH) für die Desintegration von Überschussschlamm auf der Kläranlage Bamberg. Die beiden Geräte sind mit Schallschutzhauben versehen; b) die Schallschutzbox ist aufgeklappt, die 5-kW-Ultraschalleinheit steht frei, Zulauf unten links, Ablauf oben rechts, fünf gelochte Rohre beherbergen Lüfter zur Abführung der Wärme von den piezo-keramischen Wandlern

2.2 Ergebnisse nach Einführung der Ultraschall-Schlamm-desintegration

Welche Effekte sind nun eingetreten? Für eine eindeutige Beurteilung müsste man genau genommen Massenbilanzen über den Prozessschritt Schlammstabilisierung aufstellen, besonders bezüglich der organischen Substanz. Auf großen Kläranlagen ist das eine nahezu unmögliche Aufgabe: Stationäre Bedingungen liegen eigentlich nie vor, die täglichen Schwankungen im Betrieb der Abwasserreinigung wirken sich naturgemäß auch auf die Schlammströme und deren Qualität aus. Außerdem ist bekannt, dass das Verhalten von Faulbehältern in der Praxis weit von der theoretischen Annahme eines ideal und voll durchmischten Reaktors, wie er in Modellansätzen und Mas-

senbilanzen angenommen wird, abweicht. Auf diese Tatsache hat Grüning schon früh hingewiesen [2]. Die hier vorgestellte Bewertung des Einflusses der Beschallung des Überschussschlammes auf den Faulprozess in Bamberg basiert auf den routinemäßig gesammelten Daten des Klärwerkstagebuches. Darüber hinaus konnten keine zusätzlichen Analysen durchgeführt werden. Demzufolge beruhen die folgenden Erläuterungen auf dem Vergleich des Zeitraums nach Start der Beschallung (8/2004 bis 12/2007) mit vorangegangenen Perioden im konventionellen Betrieb.

Seit August 2004 ist die Ultraschall-Desintegration ohne Unterbrechung in Betrieb. Tabelle 1 zeigt die Liste der Schlammströme. Man erkennt zunächst, dass der Anteil an beschalltem Überschussschlamm (ÜSS) nach und nach anstieg und heute bei ca. 90 Prozent des gesamten eingedickten ÜSS liegt. Ursache ist der inzwischen verbesserte Eindickprozess mittels Zentrifuge, was zu einer mittleren Feststoffkonzentration des ÜSS von 5,8 Prozent geführt hat. Der Vergleich der Zeit vor und nach Beginn der Beschallung zeigt einen Anstieg des oTR-Abbaus von 34 Prozent im Jahr 2003 auf 60 Prozent im Jahr 2007. Dieser Anstieg der Prozessleistung ist in Abbildung 2 deutlich zu sehen.

Die Gasproduktion in vielen Jahren bis 2003 war relativ konstant bei 1,9 Millionen m³ jährlich (Daten nicht gezeigt), sie sinkt etwas im Jahr 2004, und ab 2005 sehen wir wieder eine steigende Tendenz (Abbildung 3). Das Faulraumvolumen der ersten Stufe, die parallel betriebenen Faulbehälter FB1 und FB3, beträgt 5000 m³. Das Volumen der zweiten Stufe (FB2-Nachgärung) beträgt 2000 m³. Betrachtet man die Veränderung der Gasproduktion nach Einführung der Ultraschall-Desintegration, so kann man sehen, dass in der ersten Faulstufe seither ein größerer Anteil des Umsatzes erfolgt: Zwischen 75

Schlammströme [10 ³ kg/a]	2003	2004	2005	2006	2007
Primärschlamm (PS), TM	1820	1301	2472	2589	2712
Überschussschlamm (ÜSS), TM	1944	2522	2034	1985	2265
ÜSS beschallt, TM	–	–	900 ^{*)}	1591	2075
Rohschlamm (PS+ÜSS), TM	3764	3823	4506	4574	4977
Faulschlamm, oTR	1831	1588	2094	1936	1521
oTR abgebaut	944	1088	1285	1586	2321
Abbauleistung [kg oTR _{abg} /m ³ × d]	0,37	0,42	0,50	0,62	0,91
Verweildauer erste Faulstufe [d]	14,7	13,9	15,3	15,5	16,5
Verweildauer erste plus zweite Faulstufe [d]	20,6	19,4	21,4	21,7	18,8

^{*)} geschätzt

Tabelle 1: Schlammströme auf der Kläranlage Bamberg von 2003 bis 2007

Biogasströme	2003	2004	2005	2006	2007
Biogas [10 ³ m ³ /a]	1810	1556	1762	1874	2017
Biogas [m ³ /kg oTR _{zu}]	0,65	0,58	0,52	0,53	0,49
Biogas [m ³ /kg oTR _{abgebaut}]	1,92 ?	1,43 ?	1,40 ?	1,18	0,78
Biogas erste Faulstufe [10 ³ m ³ /a]	1290	1299	1488	1592	1533
Biogas erste Stufe [m ³ /kg oTR _{zu}]	0,46	0,49	0,44	0,45	0,40
Biogas erste Stufe [m ³ /kg oTR _{ab}]	1,37	1,19	1,16	1,00	0,66

Tabelle 2: Biogasproduktion von 2003 bis 2007

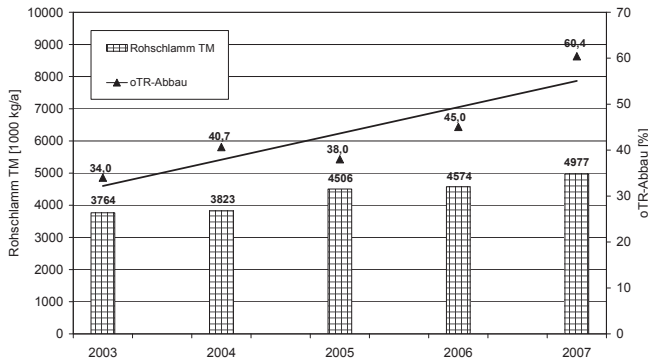


Abb. 2: Schlammzufuhr und Steigerung des Abbaus der organischen Schlammfraktion oTR; Ultraschall-Desintegration seit August 2004

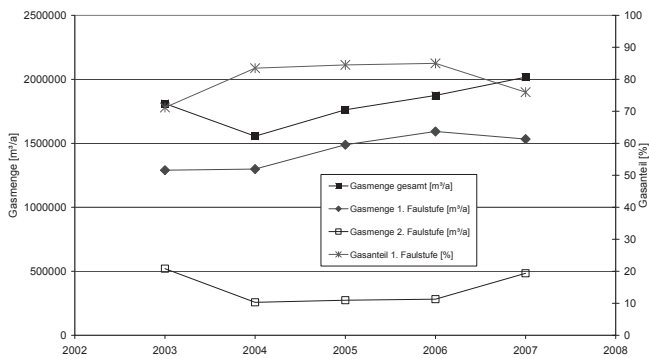


Abb. 3: Biogasproduktion insgesamt sowie der Faulstufen 1 und 2 separat; Veränderung des Anteils der ersten Faulstufe an der gesamten Gasproduktion

und 85 Prozent der gesamten Gasproduktion entstehen nun in Stufe 1, zuvor waren es etwa 70 Prozent, was dem Verhältnis der Faulraumvolumina der ersten zur zweiten Stufe entspricht.

Wie die Ganglinie in Abbildung 4 zeigt, schwankt die mittlere Verweildauer in der ersten Faulstufe in einem relativ engen Bereich zwischen 14 und 18 Tagen. Aber auch bei diesen kurzen Verweilzeiten verläuft der anaerobe biologische Abbau in Bamberg ohne Probleme. Die zugeführte organische Feststoffmasse (PS + ÜSS) hat seit 2005 deutlich zugenommen, was eine Folge der verbesserten Eindickung des ÜSS ist. Daraus folgt, dass die organische Raumbelastung von 2003 bis 2007 deutlich angestiegen ist, trotzdem sehen wir einen progressiv verbesserten Abbau der organischen Fraktion von 34 bis auf 60,4 Prozent. Anders ausgedrückt: Die auf das Volumen bezogene Abbauleistung steigt von 0,37 auf 0,91 kg oTR_{ab}/(m³ × d).

Die Gasproduktion pro kg oTR_{zugeführt} sowohl gesamt als auch für die erste Faulstufe nimmt in geringem Maß ab (Tabelle 2), was tendenziell mit dem immer höheren Anteil von Überschussschlamm erklärt werden kann, der nun wegen der Beschallung biologisch zwar besser verfügbar, aber als Substrat eben weniger ergiebig ist als Primärschlamm.

Auf den ersten Blick schwer verständlich sind die unrealistisch hohen Werte der spezifischen Gasproduktion pro Einheit oTR_{abgebaut} von 2003 bis 2005. Alle Daten sind doppelt gesichert: Die Messwerte der Gasuhren wurden über die Rückrechnung der Gasproduktion aus der Stromproduktion des BHKW bestätigt, können also als verlässlich eingestuft werden. Ebenfalls mehrfach verifiziert wurden die Daten bezüglich Abbau-

grad. Insofern bleibt für die genannten Jahre an dieser Stelle noch ein Fragezeichen stehen.

Das Gesamtvolumen an beschalltem Überschussschlamm im Jahr 2007 betrug 28 900 m³, entsprechend 79 m³/d. Dies stellt einen idealen Volumenstrom dar für die zwei installierten Ultraschallgeräte. Die resultierende Beschallungsdauer beträgt lediglich 65 Sekunden. Die Ultraschalleinheiten sind 24 Stunden am Tag in Betrieb und laufen das ganze Jahr, im Mittel mit 80 Prozent der maximalen Leistung. Die verbrauchte Energie von 70 800 kWh/a entspricht 1,5 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs des Klärwerks. Auf den beschallten ÜSS-Volumenstrom bezogen berechnet sich der mittlere spezifische Energieverbrauch der Ultraschalleinheiten zu 2,4 kWh/m³ (entspricht 0,041 kWh/kg TR oder 148 kJ/kg TR). Dieser Energieverbrauch für Ultraschall ist bemerkenswert niedrig und liegt weit unter den Werten, die häufig in der Literatur genannt werden, die jedoch im Labor oder, seltener, im halbtechnischen Maßstab gewonnen wurden.

3 Diskussion

Die oben präsentierten Zahlenwerte erlauben folgende qualitativen Feststellungen:

- der oTR-Abbau hat seit Einführung der Ultraschall-Desintegration deutlich zugenommen trotz angestiegener Rohschlammengen und kurzer Verweildauer in der Faulung,

- die Biogasproduktion hat zugenommen,
- die Mengen ausgefaulten Schlamms sind zurückgegangen.

Ist es möglich, auch quantitative Zusammenhänge darzustellen? Zunächst sehen wir, dass die Zunahme des oTR-Abbaus der Zunahme der beschallten Menge an ÜSS folgt, was grafisch dargestellt werden kann (Abbildung 5), wenn auch nur drei Punkte (Werte für drei Jahre Beobachtung) einzutragen sind. Das Resultat ist eindeutig: je größer der Anteil beschallten Substrats, desto weitergehend ist der Abbau des Gesamtsubstrats (Rohschlamm). Interessant wäre es zu beobachten, wie die Kurve weiterführt, wenn in Bamberg die Beschallung auf 100 Prozent ÜSS gesteigert würde.

Mit Fokussierung auf die Zahlen der Jahre 2006 und 2007 scheint es, dass die abbauspezifische Biogasausbeute [m³/kg oTR_{ab}] mit steigender Abbauleistung abnimmt. Eine sinnvolle Aussage? Da im Schlamm eine Unzahl diverser organischer Substanzen vorliegt, beispielsweise von sehr gut verfügbaren Fetten mit hoher spezifischer Gasausbeute von etwa 1,2 m³/kg oTR_{ab} bis zu weniger ergiebigen Substraten wie Kohlenhydraten oder kaum abbaubaren Substanzen, könnte es plausibel sein, dass man einen Rückgang der abbauspezifischen Biogasausbeute beobachtet.

Wir postulieren demnach wie folgt: Durch Beschallung stimulierte biologische Aktivität im Faulraum führt auch zu einem Abbau solcher Substanzen, die in der konventionellen Faulung enzymatisch nicht verfügbar gemacht werden.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass in Bamberg die mittlere hydraulische Verweildauer der ersten Faulstufe mit rund 15 Tagen kurz ist, die Kinetik des Faulprozesses sich „umgestellt“ haben muss, anders können die beobachteten Ergebnisse nicht zustande kommen. Die neuesten Werte (2007) für die Biogasausbeute der gesamten Faulung liegen jedenfalls mit 0,78 m³/kg oTR_{ab} in einer Größenordnung, wie wir sie typischerweise von großen Kläranlagen kennen [3].

Als Merkmal zur schnellen Bestimmung der Desintegrationswirkung wird gern die Freisetzung des gelösten CSB oder der daraus abgeleitete Desintegrationsgrad A_{CSB} verwendet [4]. Diese Größen haben zunächst mehr orientierenden Charakter. Heute wissen wir, dass die Wirkung der Schlammdesintegration auf den nachfolgenden biologischen Prozess (hier: anaerobe Stabilisierung) nicht allein mit der Freisetzung des gelösten CSB erklärt werden kann. Im vorliegenden Beispiel Bamberg wird der gut zerlegbare Überschussschlamm mit geringem Energieeinsatz beschallt, die resultierende Freisetzung an gelöstem CSB liegt zwischen 1000 bis 1400 mg/L, der daraus berechnete Desintegrationsgrad A_{CSB} im Bereich zwischen 5 und 8 Prozent. Dieses zusätzlich gewonnene Substrat ist als aufgelöste Zellschubstanz sehr gut abbaubar. Man kann nun berechnen, welche zusätzliche Biogas- oder Methanmenge theoretisch durch vollständigen Abbau dieses „guten“ CSB entsteht. Die entsprechende Auswertung der Bamberger Daten ergibt erwartungsgemäß, dass nur ein Bruchteil der zusätzlichen Methanproduktion von 240 975 m³/a (siehe weiter unten) auf diese Weise erklärt werden kann. Die aufgelösten Effekte sind komplexer Natur und noch nicht vollständig verstanden [5]. Wir postulieren, dass durch Desintegration von Biomasse im Voll- oder Teilstrom ein insgesamt besser abbaubares Substrat in partikulärer, kolloidaler und gelöster Form entsteht, verbunden mit der Freisetzung intra- und extrazellulärer Substanzen mit Enzymcharakter. Eine erhöhte Aktivität der anaeroben Biomasse im Faulraum ist die Folge, der biologische

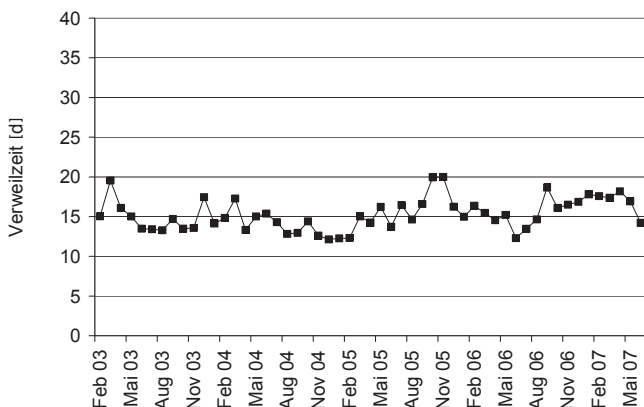


Abb. 4: Ganglinie der hydraulischen Verweildauer in der ersten Faulstufe. Ultraschall-Desintegration seit August 2004

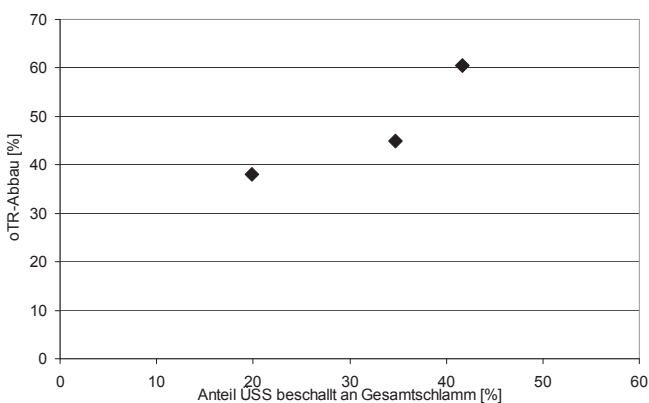


Abb. 5: Die Beschallung einer größeren Menge Überschussschlamm bedeutet Erhöhung des Abbaugrads des gesamten zugeführten Schlamms

Prozess des Abbaus der organischen Schlammfraktion wird intensiviert, es entsteht mehr Endprodukt Biogas und weniger Endprodukt Restschlamm.

Was kann man unter dem Begriff „erhöhte biologische Aktivität“ verstehen? Wie schon beschrieben [6], findet bei Beschallung neben der oben beschriebenen CSB- und Enzymfreisetzung gerade bei geringem Energieeintrag vorzugsweise eine Auflösung von Bakterienflocken statt mit der Folge einer deutlichen Verschiebung der Partikelgrößenverteilung hin zu kleineren Durchmessern. Dadurch entsteht mehr Feststoffoberfläche in der Schlammsuspension, mehr Grenzfläche fest-flüssig, woraus wieder ein verbesserter Massentransport abgeleitet werden kann.

Ein weiterer Effekt ist mit der Beschallung konzentrierter Schlammströme immer verbunden: die Reduktion der Viskosität. Wir können diesen Effekt in seiner Auswirkung auf den Abbauprozess im Faulbehälter nicht isoliert bewerten. Man muss diese Tatsache auf jeden Fall aber positiv sehen, weil die in der Praxis häufig unvollkommene Durchmischung von großen Faulrauminhalten dadurch unterstützt wird, gleichgültig welche Aggregate verwendet werden.

4 Kosten-Nutzen-Analyse

Eine kurze Kosten-Nutzen-Analyse mit den aktuellen Daten der Kläranlage Bamberg macht deutlich, dass ein beträchtlicher wirtschaftlicher Nutzen mit dem Einsatz von Ultraschallanlagen erzielt werden kann. Der Vergleich zwischen 2003 und 2007 ergibt:

Kosten

- a) Investition für zwei Ultraschalleinheiten, Steuerung, rostfreie Stahlrohrverbindungen und Schlammumpen, Abschreibung über zehn Jahre ergibt 32 000 €/a.
- b) Betrieb: Verbrauch elektrischer Energie der Ultraschallgeräte 70 800 kWh/a, Austausch der Sonotroden nach 15 000 Betriebsstunden, Instandhaltung eine Stunde pro Woche, ergibt zusammen 10 106 €/a.

Gesamtkosten also jährlich: 42 106 €.

Nutzen

Ansatz: 77 prozentiger Anstieg der Faulungsleistung, das heißt oTR-Abbau verbessert von 34 auf 60,4 Prozent.

- a) 310 000 kg/a weniger Schlamm mit 0,10 €/kg TM ergibt eingesparte Entsorgungskosten von 31 000 €/a.
- b) Zusätzliche Methanproduktion: 240 975 m³/a mit 10 kWh/m³ ergibt 2 409 750 kWh/a zusätzliche Energie; 40 Prozent Effizienz des BHKW führt zu 963 900 kWh_{el}/a, und mit einem Erlös von 0,08 € netto/kWh_{el} errechnet sich der Nutzen aus mehr Gas zu 77 112 €/a.

Gesamtnutzen also jährlich: 108 112 €.

Verhältnis Kosten/Nutzen: 42 106 €/108 112 € = 0,39

Verhältnis Energiegewinn/Energieaufwand Ultraschall:
963 900 kWh_{el}/70 800 kWh_{el} = 13,6

Netto-Energiegewinn 2007 (ohne Wärmeenergie des BHKW):
 $963\,900 - 70\,800 = 893\,100 \text{ kWh}_{el}/a$

5 Ausblick

Die Leistungsbewertung des Schlammbehandlungssystems einer großen Kläranlage liefert unter den schwierigen betrieblichen Randbedingungen immer Ergebnisse mit einer gewissen Unschärfe. Allerdings untermauert in Bamberg das klare positive Resultat der Kosten-Nutzen-Rechnung die Entscheidung für die Ultraschall-Desintegration. Diese Aussage erhält noch mehr Gewicht, wenn man die ungewöhnlich niedrigen Kosten für die Schlammentsorgung in Bamberg beachtet, nämlich nur 0,10 €/kg TM. Die Rückzahlungszeit für die neue Ultraschall-ausrüstung beträgt nur rund zwei Jahre. Durch den Anstieg der Gasproduktion wird die energetische Selbstversorgung der Kläranlage verbessert, die Betreiber sind nun in der Lage, einen großen Teil der betrieblichen Prozesse mit Energie aus der Schlammfäulung zu bestreiten.

Mit diesen Angaben liegen nunmehr zum ersten Mal verlässliche Langzeitdaten aus der Praxis zur Wirkung und zum energetischen wie auch zum ökonomischen Nutzen der Schlamm-desintegration mit Ultraschall vor.

Literatur

- [1] K. Nickel, U. Neis: Ultrasonic disintegration of biosolids for improved biodegradation, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2007, 14 (4), 450–455
- [2] H. Grüning: Restgaspotenzial konventionell stabilisierter Klärschlämme und Möglichkeiten einer weitergehenden Schlammbehandlung, *awt – abwassertechnik*, 1995 (5), 49–53
- [3] L. Hartmann: *Biologische Abwasserreinigung*, 3. Aufl., Springer, Berlin, 1992
- [4] Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 3.1.6: Verfahren und Anwendungsgebiete der mechanischen Klärschlamm-desintegration, *KA*, 2000, 47 (4), 570–576
- [5] C. Riedel, U. Neis: Reduktion überschüssiger Biomasse in der biologischen Abwasserreinigung durch Ultraschall, 19. Kolloquium und Fortbildungskurs zur Abwasserwirtschaft, *Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, 2007, 61, 185–196
- [6] A. Tiehm, K. Nickel, M. Zellhorn, U. Neis: Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization, *Water Research*, 2001, 35 (8), 2003–2009

Autoren

Hans-Joachim Wolff
 Entwässerungs- und Baubetrieb der Stadt Bamberg
 Margaretendamm 40, 96052 Bamberg

Dr.-Ing. Klaus Nickel, Dipl.-Ing. Alexander Houy
 Anna Lunden, B. Sc.
 Ultrawaves GmbH, Wasser und Umwelttechnologien
 Kasernenstraße 12, 21073 Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Uwe Neis
 TU Hamburg-Harburg
 Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz
 Eissendorfer Straße 42, 21073 Hamburg

E-Mail: neis@tuhh.de

