

# Physikalische Verfahren zur Optimierung der Schlamm- entwässerung

Dipl.-Ing. Bernd Simbach, Poll Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH

## Zusammenfassung

Das Entwässerungsverhalten von Klärschlämmen ist von zahlreichen Einflussgrößen geprägt, zu denen u.a. die Schlammart, der Glühverlust (GV), Phosphor, EPS gehören. Physikalische Verfahren zur Vorbehandlung der Schlämme vor der mechanischen Schlammentwässerung können das technische und wirtschaftliche Ergebnis (TR-Wert, Polymerverbrauch, Rückbelastung) sehr positiv beeinflussen.

## Abstract

The behaviour of sewage sludge during dewatering is influenced by many factors like the type of sludge, the loss of ignition, phosphorus and extracellular polysaccharide. Physical processes for the pre-treatment of sludge prior to mechanical sludge dewatering can have very positive influence on the technical as well as the economical result (dry matter value, demand of flocculation aid consumption, recirculation)

## Einflüsse auf die Schlammentwässerung

Die Entwässerung von Klärschlämmen ist eine der wichtigsten Grundoperationen der gesamten Klärschlammbehandlung [1]. Aus einer Vielzahl von Einflussgrößen auf die Schlammentwässerung, wie u.a. Glühverlust, Phosphor, EPS (extrazelluläre oder exopolymere Substanzen) Temperatur, Viskosität, pH-Wert, elektr. Leitfähigkeit, Partikelgrößenverteilung, Schlammart (Faulschlamm, aerob oder anaerob stabilisierter Schlamm, Überschussschlamm), Sommer-/Winterschlamm, werden nachfolgend näher betrachtet:

- Glühverlust (GV)
- Phosphor
- Exopolymere Substanzen (EPS)
- Oberflächenladung

## Ultrawaves-Hochleistungs-Desintegration

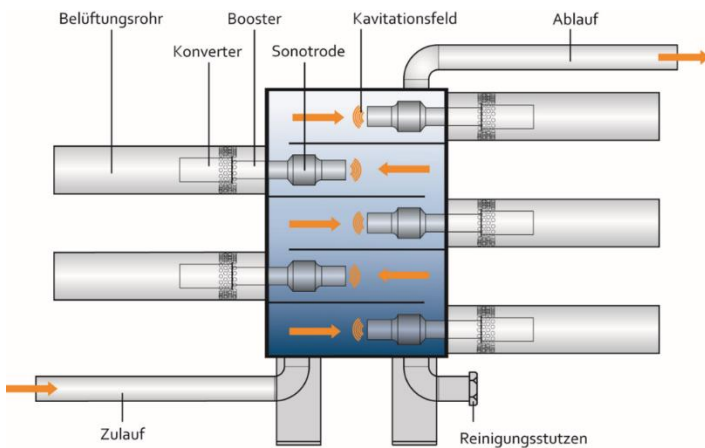


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Ultrawaves-Hochleistungs-Desintegration

Ultraschall höherer Intensität bewirkt einen Aufschluss von Biomasse. Die Ultraschallsysteme der Ultrawaves GmbH, Hamburg, zerlegen bei kurzer Beschallzeit zunächst Agglomerate von Biomassen. Die Gesamtoberfläche der Biomassesuspension wird vergrößert. Weitergehende Beschallung öffnet die Biomassezellen, sodass die Zellinhaltsstoffe austreten und in Lösung gehen. In Bakterien-Biomassen werden dabei Enzyme freigesetzt. Die beschallte Biomasse ist als Substrat für aktive Mikroorganismen leichter verfügbar und wird im biologischen Abbauprozess besser abgebaut. Biologische Abbauprozesse werden intensiviert, das heißt, es entstehen durch den Einsatz von Ultraschall ein größerer Ertrag des Endproduktes und weniger Reststoffe. Als Folge davon ergibt sich beispielsweise bei der anaeroben Schlammbehandlung eine erhöhte Biogasproduktion und weniger Restschlamm [2].

Der eingedickte, desintegrierte Überschussschlamm wird der Faulung zugeführt, s. Abbildung 3. Durch den verbesserten Abbau der organischen Substanz im Faulungsprozess wird nicht nur die Schlammmenge reduziert, sondern auch das Verhältnis von mineralischem zu organischen Anteil im Faulschaum positiv verändert. Der geringere Glühverlust des Faulschlammes führt bei der Schlammwässerung zu höheren Austragswerten (TR).

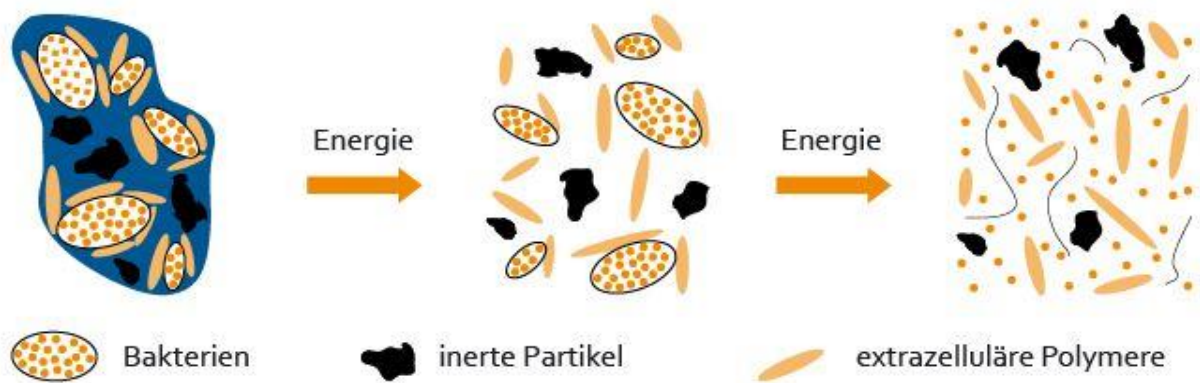


Abbildung 2: Desintegration von Biomasse

Der Abbau der organischen Schlammfraktion in der konventionellen anaeroben Schlammstabilisierung wird durch den geschwindigkeitsbestimmenden Hydrolyseschritt begrenzt. Selten werden Abbaugrade von 50% erzielt. Die Ursache hierfür liegt in der schwer zugänglichen Bakterien-Biomasse des Überschussschlammes. Diese wird durch Beschallung mit der Ultrawaves Ultraschalltechnik aufgeschlossen (desintegriert) und ist damit für den anschließenden biologisch-enzymatischen Abbauprozess besser verfügbar. Bereits bei geringen Energieeinträgen wird durch Ultraschall eine Zerlegung der Flockenstruktur und die Freisetzung von Exoenzymen bewirkt. Dadurch wird die Grenzfläche zwischen der festen und flüssigen Phase vergrößert und somit der enzymatische Angriff der aktiven Mikroorganismen erleichtert. Ein höherer Energieeintrag führt zum Aufschluss von Bakterienzellen, wodurch Zellinhaltsstoffe und Endoenzyme freigesetzt werden. Diese Enzyme beschleunigen den Abbauprozess weiter [3].

Faulbehälter, die an der Grenze ihrer Belastung sind, können mit Hilfe der Ultraschalltechnologie langfristig problemlos weiterbetrieben werden. Bei Neubauten könnten die Faulbehälter mit einer geringeren Verweildauer bemessen werden [4].

Aus vorliegenden Praxisdaten resultieren aus einem Energieeintrag von 1 kW durch die zusätzliche Gasproduktion in der Faulung ca. 3 kW<sub>elektr.</sub> Der TR-Wert im Austrag der Schlammmentwässerung wird gleichzeitig um 2 bis 3 %-Punkte erhöht.

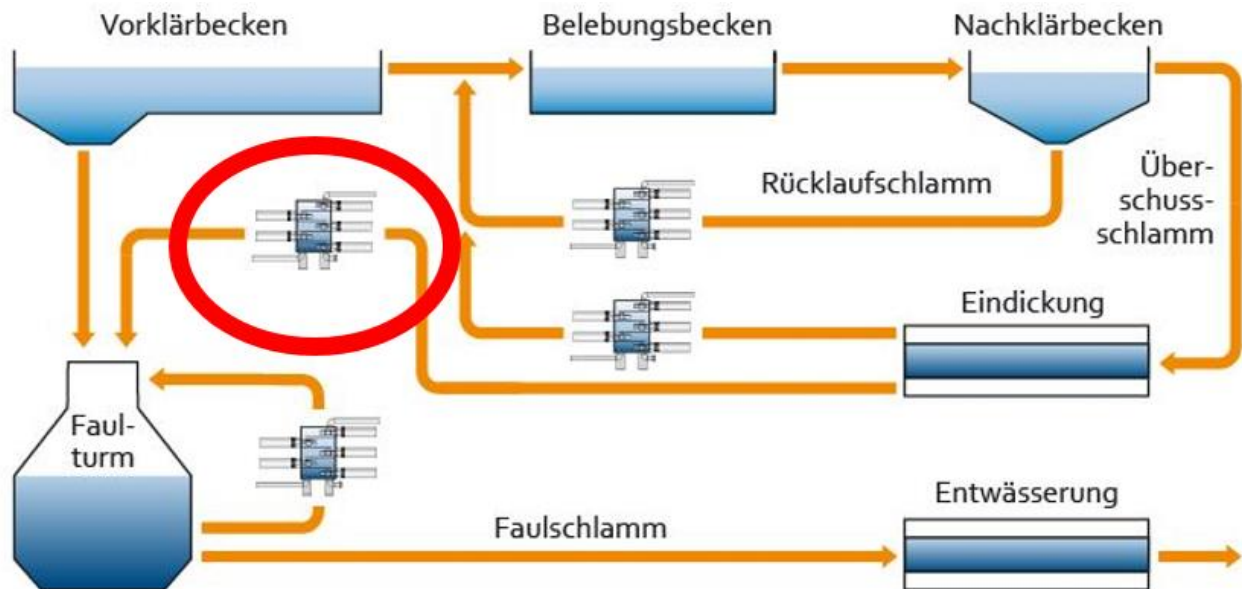


Abbildung 3: Anwendungsmöglichkeiten der Desintegration in der Schlammbehandlung sowie in der Abwasserreinigung. Desintegration des eingedickten Überschussschlamms (rot markiert).

## P-Fällung und -Abscheidung

Phosphate besitzen ein stark ausgeprägtes Wasserbindevermögen. Daher bewirkt die Reduzierung der Phosphate im (Faul-)Schlamm einen positiven Einfluss auf die Entwässerbarkeit.

Zusätzlich zu den Zellinhaltsstoffen und den Enzymen tritt bei der Desintegration des eingedickten Überschussschlamms auch Phosphor aus den Zellen und geht in die flüssige Phase über. Wegen des relativ kleinen Volumenstroms des eingedickten Überschussschlamms und der hohen P-Konzentration bietet diese Teilstrombehandlung neben der Synergie der zusätzlichen Gasproduktion, der Reduzierung der Schlammmenge sowie der Verbesserung des Entwässerungsergebnisses, sehr gute Möglichkeiten zur selektiven Phosphorrückgewinnung. Die Effizienz der P-Freisetzung in die flüssige Phase aus dem eingedickten Überschussschlamm im Vergleich zum Faulschlamm in Abhängigkeit zum Energieeintrag ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Desintegration des eingedickten Überschussschlamm ermöglicht auf Kläranlagen mit einem sehr hohen Anteil an Bio-P die Freisetzung des Phosphors aus der Zelle in die Flüssigphase. Zur P-Rückgewinnung bedarf nach der Desintegration einer weiteren Behandlung durch eine pH-Wert-Absenkung, Ansäuerung. Hierzu eignet sich in Kombination mit der ULTRAWAVES-Hochleistungs-Desintegration z.B. die pH-Wert-Absenkung durch das Einpressen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) bei höherem Druck in den eingedickten und desintegrierten Überschussschlamm. Da das CO<sub>2</sub> nach der P-Rückgewinnung aus der Flüssigphase wieder vollständig aus dem Schlamm ausgetrieben wird, ist für die pH-Wert-Anhebung auf den Ausgangswert keine Dosierung von Alkalisierungsmittel (Natronlauge, Kalk) erforderlich. Ebenso verhindert das Entweichen des Kohlenstoffdioxids eine Aufsalzung des behandelten Überschussschlamm.

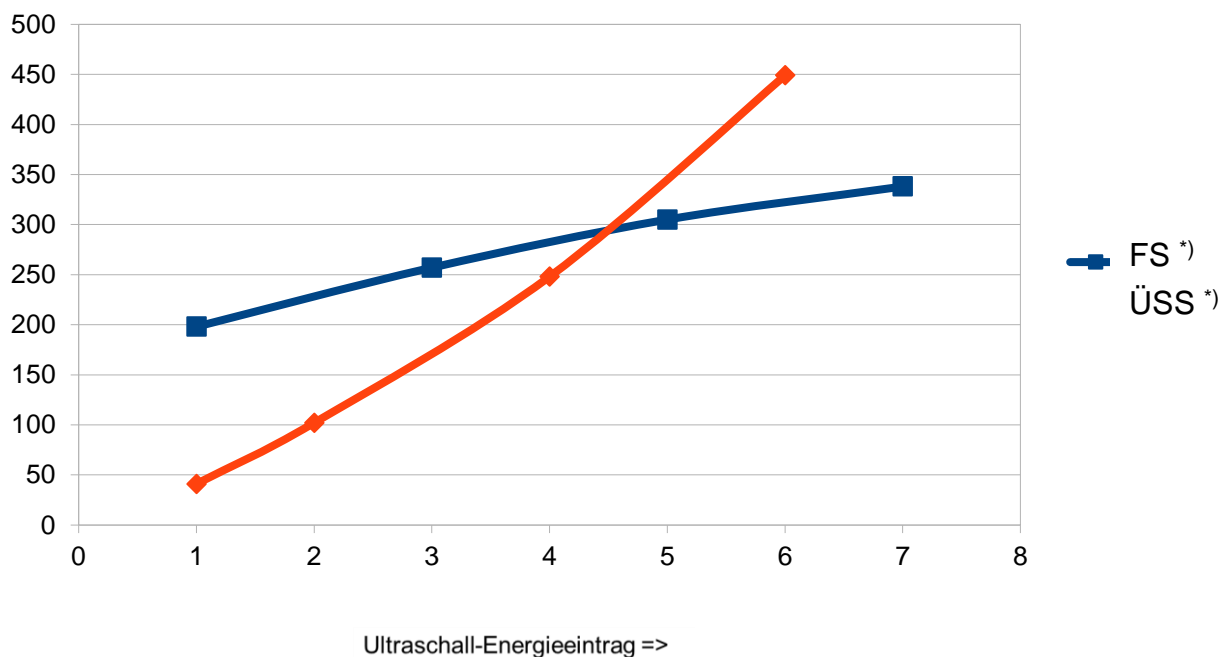


Abbildung 4: Vergleich der P-Freisetzung in die flüssige Phase nach der Desintegration des eingedickten Überschussschlamm (ÜSS) bzw. des Faulschlamm (FS) in Abhängigkeit zum Energieeintrag [6].

In der flüssigen Phase erfolgt die chemische Fällung z.B. unter Zugabe von Magnesiumoxid als Magnesiumammoniumphosphat ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6 H_2O$ ) oder unter Zugabe von Calciumoxid z.B. zu Tricalciumphosphat  $Ca_3(PO_4)_2$ . Das Fällungsprodukt wird nach-

folgend aus der wässrigen Phase abgeschieden. Das in das Fällungsprodukt Magnesiumammoniumphosphat (oder Tricalciumphosphat) integrierte Phosphat kann durch weitere, externe Behandlung zu einem in industriellen Produktionsprozessen benötigten Produkt verarbeitet werden. Eine mögliche Produktvariante stellt dabei z.B. Phosphorsäure dar. Die P-Fällung und Abscheidung aus dem Klärschlamm erfolgt immer dezentral auf den Kläranlagen, während die weitere Veredlung des Fällungsprodukts Magnesiumammoniumphosphat oder Tricalciumphosphat an einem zentralen Standort erfolgt.

Bei der Erfüllung der aus der Abfallklärschlammverordnung resultierenden Anforderungen, mindestens 50 % des im Schlamm enthaltenen Phosphors abzuscheiden und zu verwerten oder den Grenzwert von 20 g/kg zu unterschreiten, ermöglichen die thermische Behandlung des entwässerten Klärschlammes außerhalb der Monoverbrennung. Für diese Schlämme bleiben die Möglichkeiten der Mitverbrennung u.a. in Müllheizkraftwerken oder in der Zementindustrie erhalten. Für den Einsatz in der Zementindustrie ist die P-Reduzierung von Vorteil.

Zur Erfüllung der Novellierung der AbfKlärV, AbfKlärV Artikel 5 §3 (4), ist die Phosphorrückgewinnung nicht erforderlich, wenn der Phosphorgehalt 20 g/kg TM sicher und dauerhaft unterschreitet. Dabei ist dieser Wert die Zielgröße der Phosphorrückgewinnung aus dem eingedickten und desintegrierten Überschussschlamm.

### **Ladungsverschiebung an der Oberfläche der Schlammflocken**

Schlammflocken kommunaler Klärschlämme sind an der Oberfläche generell negativ geladen, die negative Ladung ist jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Ladungsverschiebung an der Oberfläche der Schlammflocken in einem elektrischen Feld führt zu höheren TR-Werten im entwässerten Klärschlamm oder zur deutlichen Einsparung an Polymer bei konstantem TR-Wert. In beiden Fällen wurden bei bisherigen Anwendungen auch Verbesserungen der Zentratqualität, verbunden mit einer Reduzierung der Rückbelastung beobachtet. Der Aufbau des elektrischen Feldes erfolgt in einem Durchflussreaktor (ZetaOptimizer) über Hochspannung. Der Durchflussreaktor ist frei von Einbauten

und wird somit vom zu behandelnden Klärschlamm frei durchströmt. Die Ladungsverschiebung an der Oberfläche der Schlammflocken wird vor der Polymerdosierung durchgeführt [7]. Abbildung 6 zeigt den Vergleich der TR-Werte in Abhängigkeit zur Stärke des elektrischen Feldes. Dabei werden zwei Dekanter parallel betrieben und zeitgleich beprobt. Während bei Dekanter II im Untersuchungszeitraum keinerlei Veränderung vorgenommen werden, wird bei Dekanter I über das vor der Polymerdosierung installierte Hochspannungssystem ZetaOptimizer die Stärke des elektrischen Feldes variiert. Weitere Daten aus praktischen Anwendungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Durch die Ladungsverschiebung an der Oberfläche der Schlammflocken in der betrieblichen Praxis nachgewiesene Verbesserungen bei der Schlammentwässerung sind:

- **Höhere TR-Werte im Austrag der Schlammentwässerung**
- **Reduzierung des pFM-Verbrauchs**
- **deutlich geringere Zentrat-/Filtratbelastungen**
  - ⇒ **Reduzierung der Rückbelastung sowie auch stabile Fahrweise des Dekanters** (Erreichen höherer Drehmomente und Differenzdrehzahlen)

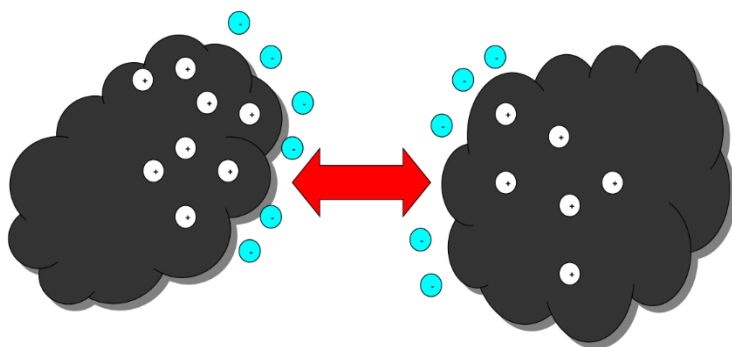


Abbildung 5: Abstoßende Kräfte zwischen zwei Schlammpartikeln durch ausgeprägte Negativladung an den Oberflächen (sehr stark vereinfacht) [8].

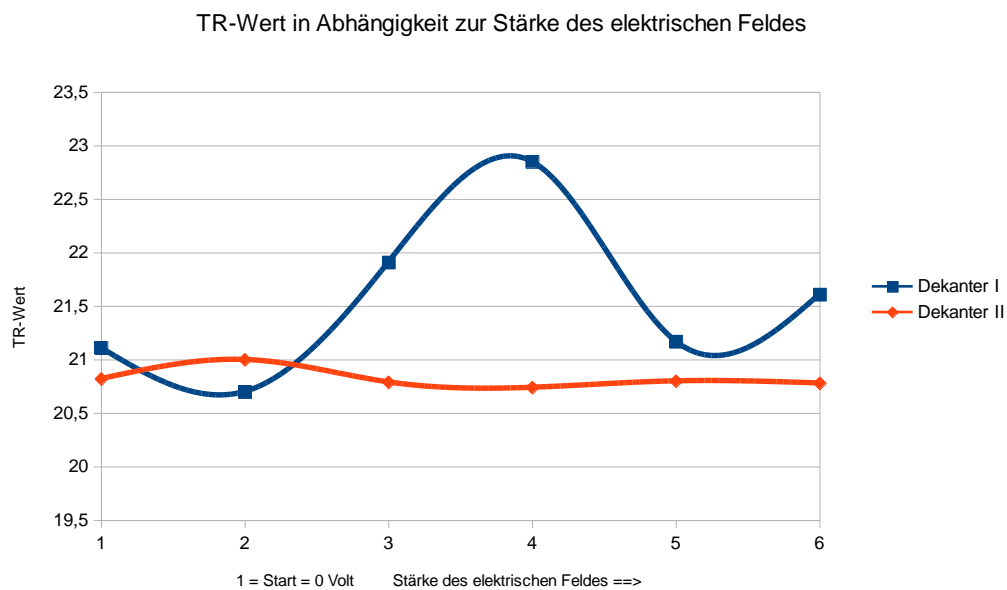


Abbildung 6: Vergleich der TR-Werte zweier parallel betriebener Dekanter ohne / mit vorgeschaltetem Hochspannungssystem **ZetaOptimizer** in Abhängigkeit zur Stärke des elektrischen Feldes [10].

Hochspannungssystem ZetaOptimizer	ohne	mit
TR-Werte (Gew.,%)	20,6	22,9
TR-Werte (Gew.,%)	20,2	22,5
TR-Werte (Gew.,%)	20,3	23,6
TR-Werte (Gew.,%)	23,6	25,6
TR-Werte (Gew.,%)	23,7	25,7

Tabelle 1: Steigerung der TR-Werte im Austrag der Schlammentwässerung um 2 bis 3%-Punkte durch vorgeschaltetes Hochspannungssystem **ZetaOptimizer** [10].



**Polymereinsparung bei der Schlammentwässerung (Dekanter)**

TR <sub>Austrag</sub>	Polymer (kg/t TS)	ZetaOptimizer
26,35	8,9	ausgeschaltet
28,31	8,9	eingeschaltet
26,82	6,0	eingeschaltet

**TR-Steigerung um ca. 2 %-Punkte bei unveränderter Polymerdosierung**

Abbildung 6: Steigerung des TR-Wertes um ca. 2%-Punkte durch Ladungsverschiebung an der Oberfläche der Schlammflocken mittels Hochspannungssystem **ZetaOptimizer**.

**Polymereinsparung bei der Schlammentwässerung (Dekanter)**

TR <sub>Austrag</sub>	Polymer (kg/t TS)	ZetaOptimizer
26,35	8,9	ausgeschaltet
28,31	8,9	eingeschaltet
26,82	6,0	eingeschaltet

**Polymereinsparung 32,6 % Deutliche Reduzierung des Polymerverbrauchs bei konstantem (leicht verbessertem) TR-Wert**

Abbildung 7: Reduzierung der Polymerdosierung um 32,6 % bei nahezu konstantem TR-Wert (leichte Verbesserung) durch Ladungsverschiebung an der Oberfläche der Schlammflocken mittels Hochspannungssystem **ZetaOptimizer**.

ZetaOptimizer	ohne	mit	Verbesserung
Abfiltrierbare Stoffe	293	200	32 %
CSB	577	424	27 %
TOC	223	174	22 %
P <sub>gesamt</sub>	78,8	15,5	80 %
N <sub>gesamt</sub>	662	382	42 %

Tabelle 1: Steigerung der TR-Werte im Austrag der Schlammentwässerung um 2 bis 3%-Punkte durch vorgeschaltetes Hochspannungssystem **ZetaOptimizer** [10].

## EPS-Abbau / -Reduzierung

Die heute gängigen Trenntechniken greifen ausschließlich das freie Wasser und nicht das gebundene Wasser ab, was zu großen Teilen in Mikroorganismen und deren extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) eingebettet ist. Durch gezielte Spaltung der EPS ist eine deutliche Steigerung der Entwässerungsleistung von Klärschlämmen zu erwarten [11]. Während in [11] die enzymatisch unterstützte Spaltung betrachtet wurde, kommt bei den physikalischen Verfahren die Ultrawaves-Hochleistungs-Desintegration mit einem moderaten Energieeintrag zum Einsatz. Abbildung 8.

Häufig treten in Kläranlagen saisonal Blähschlammprobleme auf. In der Regel sind Fadenorganismen die Ursache. Schaumbildung in Faulbehältern ist ebenfalls bekannt und kann zu erheblichen betrieblichen Problemen führen. Durch Beschallung einer geringen Teilmenge des Rücklaufschlammes oder rückgeführten Überschusschlammes wird diese Bakterien-Biomasse einem Dauerstress durch Kavitation und Wechseldruck im flüssigen Medium ausgesetzt. ULTRAWAVES hat nachgewiesen, dass durch diese Verfahrensweise insbesondere Faden bildende Mikroorganismen leiden und so dauerhaft eliminiert werden. Durch den Einsatz von Ultraschall kann die Blähschlamm-Bildung somit verhindert und ein stabiler Kläranlagenbetrieb erneut ermöglicht werden [5].

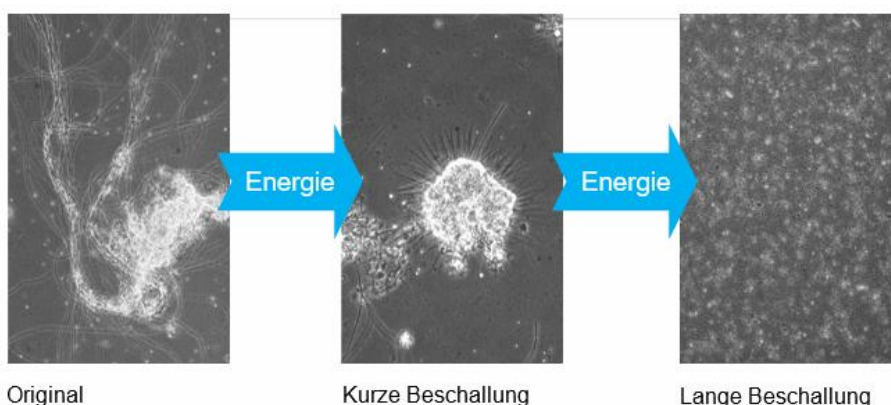


Abbildung 8: Elimination der Ursachen für Blähschlamm und Schaumbildung durch Beschallung fadenbildender Mikroorganismen (z.B. *Microthrix parvicella*).

Vergleichbar zum moderaten Energieeintrag bei der Elimination der Ursachen für Blähschlamm- und Schaumbildung durch Beschallung fadenbildender Mikroorganismen (z.B. *Microthrix parvicella*), Abbildung 8, wird durch eine kurze Beschallung der Abbau bzw. die Reduzierung der EPS an den Umhüllungen der Zellen umgesetzt, ohne dabei die Zelle zu zerstören.

### Gesamtverfahren



Abbildung 9: Modulares Verfahren zur P-Rückgewinnung aus eingedicktem Überschussschlamm, Steigerung der Gasproduktion in der Faulung in Kombination mit dem Abbau von Schlammmasse sowie Optimierung der Schlammentwässerung.

### Fazit

Die Schlammentwässerung stellt einen wesentlichen Verfahrensschritt der gesamten Abwasserbehandlung dar. Die Steigerung der Trockensubstanzgehalte im entwässerten Klärschlamm, die Einsparung an Polymer sowie die Reduzierung der Rückbelastung bieten das Potential für eine erhebliche Kostensenkung.

Einzelne Komponenten eines modularen Verfahrens führen bereits zur Verbesserung der Schlammentwässerung. Synergien der physikalischen Verfahren liefern in Kombination zu einem Gesamtprozess neben der deutlich verbesserten Schlammentwässerung auch die Erfüllung gesetzlicher Regelungen (Novellierung der AbfKlärV).

## Literatur

- [1] DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 366, Maschinelle Schlammwässerung, Februar 2013
- [2] Nickel, K. and Neis, U. (2003): Desintegration von Klärschlamm –eine wirtschaftliche Alternative? 15. Kolloquium und Fortbildungskurs zur Abwasserwirtschaft. TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering, 41: 152-160
- [3] Banduch, I. and Neis, U. (2012): Die Wirkung von Ultraschall auf Belebtschlamm-Biomasse. In: gwf-Journal, Munich, Germany: Oldenbourg Verlag
- [4] Nickel, K., Houy, A. and Neis, U. (2009): Langjährige Erfahrungen auf deutschen Kläranlagen mit der Intensivierung der Schlammstabilisierung durch Ultraschall. Proc. DWA-Klärschlammstage, May 12-14, 2009, Fulda, Germany
- [5] Vergara, L., Vale, P., Moxey, P. and Stone, D. (2014): Control of bulking sludge with ultrasound at Kirkby in Ashfield STW. 8th European Waste Water Management Conference & Exhibition, October 7-8, Manchester, UK.
- [6] Simbach, B., Phosphorrecycling und Energiegewinnung aus Klärschlamm, DWA Sondernachbarschaft Schlammbehandlung, Weinheim, 05.07.2019
- [7] Simbach, B., Phosphorrecycling und Energiegewinnung aus Klärschlamm, DWA Sondernachbarschaft Schlammbehandlung, Weinheim, 05.07.2019
- [8] Simbach, B., Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm und Verbesserung der Schlammwässerung, W&A Wasser und Abwasser Technik, Fachmagazin für die Wasser- und Abwasserwirtschaft, Oktober 2017
- [9] Simbach, B., Fröhlich, P., Optimierung der Schlammwässerung und Phosphorrecycling aus thermisch behandelten Klärschlämmen, Dokumentationsband zur Forumsveranstaltung THERMOLYPHOS, 04./05.10.2016, Halle (Saale)
- [10] Dipl.-Ing. Helma Köster, hanseWasser Bremen GmbH, Dipl.-Ing. Bernd Simbach, Poll Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH, Physikalische Konditionierungsverfahren zur Verbesserung der Schlammwässerung, DWA Nord in Zusammenarbeit mit der

hanseWasser Bremen GmbH, Perspektiven der Klärschlammverwertung - Stehen wir vor dem Entsorgungsnotstand?, Bremen, 04. - 05. September 2018

- [11 Prof. Dr. M. Bertau (TU Bergakademie Freiberg), Dipl.-Ing. B. Simbach (POLL Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH), Dr. I. Aibel, Dipl.-Chem. R. Kiehle, Dipl.-Chem. D. Kaiser, Dipl.-Nat. R. Tröbs, Verbesserung der Klärschlammwässerung durch den Abbau der extrazellulären polymeren Substanzen (SpaltEPS), Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Az.32909/01