

Wirkung von Enzymen

Biokatalysierte Schlammfäulung

Dr.-Ing. Jörg STRUNKHEIDE; Dipl.-Ing. Mario SEIBERT

Auswertung großtechnischer Versuche: Betriebserfahrungen mit dem Enzymstufenpräparat Celluform.

In der Abwasserreinigung werden die Stoffe, die durch Benutzung oder während des Transports in das (Ab-)Wasser eingetragen wurden, auf der Kläranlage in unterschiedlichen Fraktionen wieder vom Abwasser getrennt. So entstehen

- Rechen- oder Siebgut
- Sandfanggut
- ggf. Fette und Öle und
- unbehandelte Klärschlämme.

Die anfallenden Quantitäten und Qualitäten sind dabei abhängig von der Leistungsfähigkeit der einzelnen Prozessstufen. Derzeitige Ergebnisse der Forschung belegen, dass hier noch Optimierungspotenziale bestehen. Das IWB hat in mehreren Veröffentlichungen (vgl. z. B. /1/) erläutert, dass aus einem ganzheitlichen Ansatz, mit den Zielen der:

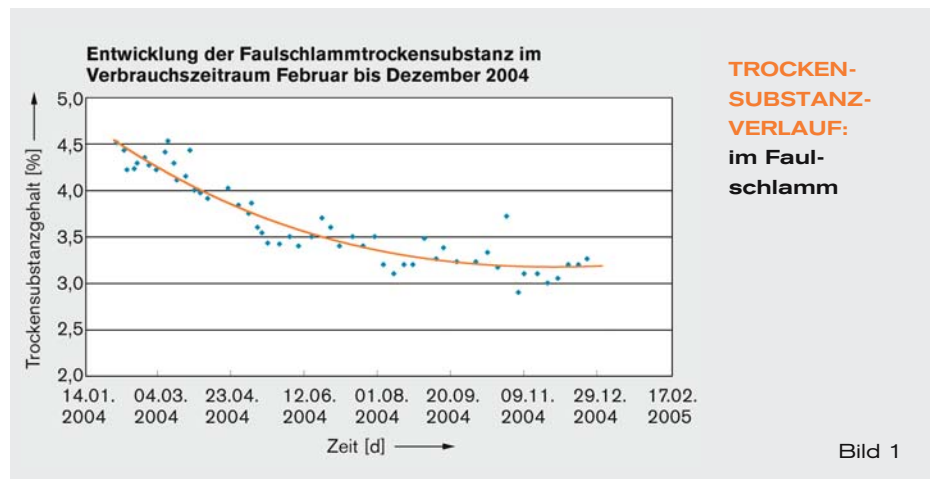
- Verbesserung des Gewässerschutzes
 - Erhöhung der Prozessstabilität sowie einer
 - gleichzeitigen Kostenreduktion
- durch den Einsatz von Hilfsstoffen vorhandene Ressourcen im Abwasserreinigungsprozess genutzt und somit die notwendigerweise anfallenden Reststoffe über den gesamten Prozess gezielt beeinflusst werden können.

Diese (Rest-)Stoffe sind einer direkten Verwertung oder Beseitigung nicht zugänglich, da sie

1. aufgrund des hohen organischen Feststoffanteils zu Emissionen/Immissionen führen können
2. ggf. pathogene Keime aufweisen, die im Hinblick auf eine Verwertung seuchenhygienisch bedenklich sind oder
3. Schadstoffe enthalten, die aufkonzentriert auf die Nahrungskette übergehen können.

Sie werden deshalb auf den Kläranlagen vorbehandelt. Bezogen auf den unbehandelten Klärschlamm (Rohschlamm) stehen hier unterschiedliche Stabilisierungsverfahren zur Verfügung.

Eines dieser Verfahren ist die anaerobe Stabilisierung (Fäulung). Auch hier zeigen Veröffentlichungen der letzten Jahre (vgl. /2, 3, 4, 5, 6/), dass der Wirkungsgrad der Fäulung durch Einsatz von En-



zymen erhöht bzw. der Faulschlamm-anfall reduziert werden kann.

Die Reduktion des Schlammanfalls ist jedoch nicht das einzige Prozessziel. Die Anwendung wird oftmals auch aus Gründen der Betriebsstabilität erwogen. So werden Verzopfungen oder Schwimmschlammdecken, die aufwändig manuell entfernt werden müssen und somit langfristige Mitarbeiterbindung oder den Einsatz von Fachkräften (Stichwort: Schlammtaucher) erfordern, beseitigt werden.

Der vorliegende Artikel befasst sich in diesem Zusammenhang mit neueren Erkenntnissen des Einsatzes des Enzymstufenpräparates Celluform (Fa. Schmidt Umwelttechnik, Köln). Der Einsatz dieses Präparates erfolgt derzeit auf etwa 60 Kläranlagen. Zum Nachweis der Wirksamkeit der Enzyme werden die Ergebnisse ausgewählter Kläranlagen (siehe Tabelle) hinsichtlich der Kriterien:

- Feststoffabbau
- Betriebsstabilität sowie
- weitergehende Betriebserfahrungen, wie etwa Betriebs- und Standzeiten nachgeschalteter Anlagen (Entwässerungsaggregate) oder Möglichkeiten der Reduktion von Behandlungskapazitäten (z. B. Faulbehälter, Eindicker) vorgestellt und diskutiert.

Enzymatische Hydrolyse

Die Hydrolyse ist der geschwindigkeitsbestimmende erste Schritt einer Schlammfäulung. Im Klärschlamm enthalten sind besonders hydrolysestabile Verbindungen wie Polysaccharide, hochmolekulare Eiweiße und Lipoproteine. Diese werden zum Teil über den Primärschlamm eingetragen, aber auch durch Bakterien ausgestoßen (extrazelluläre polymere Substanzen – EPS). Der biologische Abbau dieser Bestandteile vollzieht sich nur sehr langsam und unvollständig. Aus diesem Grund werden nur mäßige Wirkungsgrade (Ausfäulgrade in der Größenordnung von 30 bis 35 % bezogen auf die zugeführte Trockensubstanz und 50 bis 52 % bezogen auf die organische Trockensubstanz) erreicht. Gerade dieser Wirkungsgrad jedoch beeinflusst wesentlich die Wirtschaftlichkeit der Schlammbehandlung. Der Einsatz des Enzymstufenpräparates Celluform stellt eine wirksame Möglichkeit zur Effizienzsteigerung des Fäulungsprozesses dar. Enzyme sind Proteine, die von der lebenden Materie ausgebildet werden (natürliche Verbindungen). Diese Enzyme werden von Zellen ausgebildet, sind in ihrer Wirkungsweise jedoch nicht an das Vorhandensein ihrer Produzenten gebunden. Sie werden bei diesem Vorgang nicht verbraucht, weshalb sie nur in geringsten Mengen einge-

Eckdaten ausgewählter Kläranlagen mit Celluform-Einsatz					
Kläranlage Region:	Ausbaugröße [EW]	Faulbehältervolumen [m ³] ¹⁾	Faulzeit [d]	Vorbehandlung Primärschlamm	Überschussschlamm
Göppingen/Stuttgart	50 000	900	23	statisch	Eindickung über Siebtrommel
Stuttgart/Tübingen	40 000	1 000/1.000 ²⁾	25	statisch	ohne
Pfalz/Saarland	120 000	4 870/4.870 ³⁾	24-25	statisch	Eindickung über Zentrifugen
Südl. RPF	155 000	4 000/4.000	12+12	Zulauf PS/ÜSS über durchmischte Vorlage	
Rheinland	80 000	3 000/3.000 ⁴⁾	15-18 ⁵⁾	statisch	ohne

¹⁾Die Angabe .../... indiziert den Betrieb zweier Faulbehälter

²⁾Ein Faulbehälter wird als Nacheindicker unbeheizt betrieben

³⁾Die Faulbehälter werden parallel betrieben (der Wechsel erfolgt zweistündig)

⁴⁾Die Faulbehälter sind in Reihe geschaltet. Z. Zt. wird ausschließlich 1 Faulbehälter betrieben

⁵⁾In einem Faulbehälter

setzt werden müssen. Neben den Vitaminen und Hormonen sind die Enzyme die dritte wichtige Stoffgruppe zur Regelung sämtlicher Lebensfunktionen. Für die technische Anwendung werden Enzyme aufgrund zweier Eigenschaften bevorzugt eingesetzt. Zum einen, katalysieren sie den Abbau der hydrolysestabilen Verbindungen (bei einer Wasseranlagerung auch enzymatische Hydrolyse genannt). Zum anderen reagieren sie substratspezifisch. Hierdurch sind in der Anwendung unerwünschte Nebenreaktionen, Abbauprodukte oder Auswirkungen auf die Anlagentechnik auszuschließen. Dies gilt auch für das Enzymstufenpräparat Celluform.

Großtechnische Betriebsversuche

Der Einsatz des Enzymstufenpräparates Celluform erfolgt seit mehreren Jahren im großtechnischen Maßstab auf Kläranlagen mit Ausbaugrößen von 10 000 bis 450 000 EW, mit ein- oder mehrstufigen Faulungsanlagen. Hierbei wurden die mehrstufigen Anlagen entweder in Reihe oder parallel betrieben. Bei den parallel betriebenen Anlagen wurde das Präparat nur in einem Faulbehälter dosiert, wobei der andere als Referenzreaktor dient (ohne Enzyme). In allen Fäl-

len wurde das Präparat auf die spezifischen Systemverhältnisse eingestellt und täglich in einer definierten Konzentration (zwischen 12 und 18 g/m³ Rohschlamm) direkt in den Faulbehälter (z. B. über die Rohschlammbeschickungs- oder die Umwälzschlammlleitung) zudosiert.

An jedem Betriebstag wurden die Rohschlamm- (getrennt nach Primär- und Überschussschlamm) bzw. Faulschlamm- (wie etwa Trockensubstanzbestimmung und Glühverlust sowie die produzierte Biogasmenge) ermittelt. Die Ergebnisse wurden in Betriebsversuchen während des täglichen Betriebs über einen längeren Zeitraum ermittelt. Die Tabelle zeigt Eckdaten ausgewählter Kläranlagen.

Ergebnisse

Prozessziel: Faulschlammreduktion (Einstufiger Betrieb)

Während im Versuchszeitraum die Dichtedichte und -vollständigkeit in Absprache mit dem Betreiber gezielt erhöht werden konnte, lagen Vergleichs- bzw. Referenzdaten oft in unterschiedlicher Quantität vor. Kläranlagen < 50 000 EW Anschlussleistung weisen häufig nur eine unzureichende Betriebsanalytik zur Bewertung des Wirkungsgrades der Schlammfäulung auf. Dennoch war es möglich, über die Betrachtung des TS-Verlaufs unter Einbeziehung der zugeführten Rohschlamm-Feststofffrachten durch Massenbilanzierung im Zeitraum der Dosierung Erkenntnisse über die Wirkung der Enzyme zu gewinnen.

Die Ergebnisse sollen hier am Beispiel einer Kläranlage in der Region Göppingen erläutert werden. Die Anlage hat eine Ausbaugröße von 51 000 EW. Die aktuelle Belastung liegt bei etwa 32 000 EW. Der Klärschlamm wird mittels eines einstufigen Faulbehälters (Volumen: 900 m³) mit einer Aufenthaltszeit von etwa 23 Tagen stabilisiert. Während der

Primärschlamm eingespeist wird, wird der Überschussschlamm über eine Siebtrommelanlage maschinell voreingedickt und anschließend dem Faulbehälter zugeführt.

Bild 1 zeigt den Verlauf der TS-Konzentration im Faulschlamm. Vom Beginn der Dosierung fällt die Trockensubstanzkonzentration tendenziell auf ein neues Gleichgewichtsniveau. Die Messwerte schwanken dabei um eine monoton fallende Potenzfunktion. Diese Schwankungen ergeben sich zum Teil aus den Auflösungen der Verzapfungen im Faulbehälter. Dies zeigte sich dadurch, dass nach einem Versuchszeitraum von 4 bis 6 Wochen einzelne Fragmente sich auflösender Verzapfungen auftraten.

Dass die fallende Tendenz der Feststoffkonzentration nicht von einem Auswaschungseffekt herrührt, belegen die in den Faulungsreaktor eingebrachten Trockensubstanzfrachten des Primär- und Überschussschlammes (hier nicht dargestellt), die um ein nahezu waagrecht verlaufendes mittleres Frachtniveau schwanken. Der dargestellte Verlauf konnte an weiteren Trockensubstanzverläufen auf anderen Kläranlagen im Versuchszeitraum beobachtet werden. Der Ausfaulgrad (AFG), als Nachweis des Wirkungsgrades (Qualität) des anaeroben Prozesses (vgl. /3/), stieg in dieser Zeit

■ von 35,59 % bezogen auf die gesamte TS-Fracht auf 46,93 % (AFG-TS)

■ von 48,39 % bezogen auf die organische TS-Fracht auf 58,47 % (AFG-oTS).

Des Weiteren konnte die Durchsatzleistung der Entwässerungszentrifuge, die in den zurück liegenden Jahren im Mittel 8 m³ Faulschlamm/h betrug, aufgrund der geringeren Faulschlammkonzentration nach 3 bis 4 Monaten auf etwa 15 m³ Faulschlamm/h erhöht werden. Der 7 m³ fassende Container zur Aufnahme des entwässerten Schlammes, der zuvor nach einem Zentrifugendurchsatz von 40 bis 45 m³ entwässertem Faulschlamm ge-

wechselt werden musste, wurde im Zeitraum der Dosierung erst nach etwa 60 bis 65 m³ entwässertem Faulschlamm ausgetauscht. Im Einsatzzeitraum des Produkts Celluferm hat sich darüber hinaus der Polymereinsatz um 30 % reduziert.

Prozessziel: Faulschlammreduktion (Parallelbetrieb)

Auf größeren Anlagen lagen die Daten meist in größerer Dichte vor. Bei ein- bzw. mehrstufigen Anlagen wurden diese Betriebsdaten aus den Vorjahren (Referenzzeitraum) mit denen des Einsatzzeitraumes des Enzympräparates Celluferm verglichen. So konnten saisonale Einflüsse relativiert werden.

Bei parallel betriebenen Faulbehältern wurde die Abbauleistung der mit bzw. ohne Enzyme betriebenen Reaktoren miteinander verglichen. Die Ergebnisse der Betriebsversuche sollen hier am Beispiel einer Kläranlage in der Region Pfalz/Saarland aufgezeigt werden.

Die Kläranlage hat eine Ausbaugröße von 120 000 EW und ist heute zu etwa 83 % ausgelastet. Der Klärschlamm wird mittels zweier parallelbetriebener Faulbehälter (je etwa 4 870 m³) anaerob stabilisiert. Während der Primärschlamm direkt aus der Vorklärung zugeführt wird, wird Überschussschlamm zunächst über eine maschinelle Eindickenzentrifuge auf etwa 7 % TS eingedickt. Die Beschilderung der Faultürme wechselt 0,5-fach pro Stunde. Die Trockensubstanzverläufe im Versuchsbetrieb sind für beide Faulbehälter (mit und ohne Enzymeinsatz) in Bild 2 dargestellt. Hier zeigt sich im Gegensatz zu der Anlage in Göppingen eine steigende Tendenz der Trockensubstanzkonzentrationen beider Faulungsanlagen, da die TS-Zulaufkraft im Versuchszeitraum angestiegen ist.

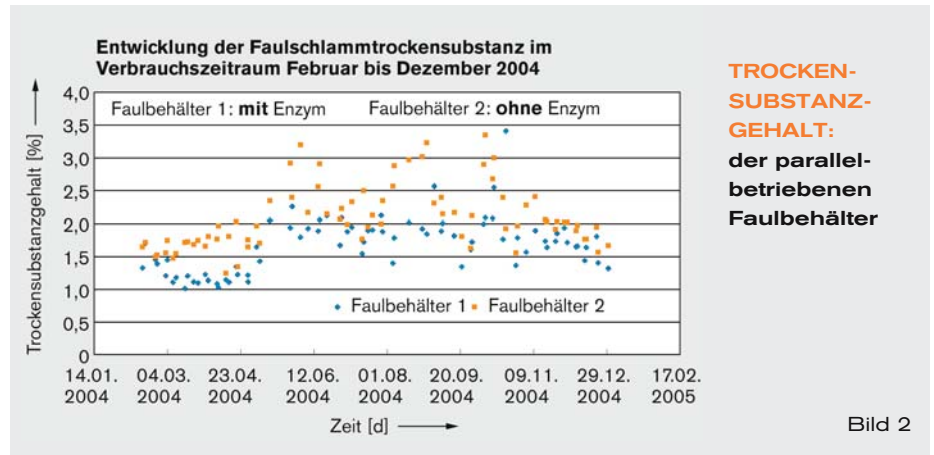
Dabei liegt der Trockensubstanzgehalt des Faulbehälters mit Enzymeinsatz konstant unter dem des Faulbehälters im Normalbetrieb (Referenzreaktor) ohne Enzymeinsatz. Durch den direkten Vergleich der Faulbehälter mit und ohne Enzyme kann hier die Verbesserung des Wirkungsgrades (Ausfaulgrad) abgeleitet werden.

Die Ausfaulgrade (AFG) ermittelten sich wie folgt:

Referenzreaktor ohne Celluferm (FB 2):
I bezogen auf die gesamte TS-Fracht (AFG-TS): 36,39 %

I bezogen auf die organische TS-Fracht (AFG-oTS): 47,69 %

Faulungsreaktor mit Celluferm (FB 1):
I bezogen auf die gesamte TS-Fracht (AFG-TS): 49,52 %



I bezogen auf die organische TS-Fracht (AFG-oTS): 58,40 %.

Dies bedeutet eine Erhöhung des gesamten Feststoffabbaus durch den Einsatz von Celluferm von 36,39 auf 49,69 %.

Es zeigte sich insgesamt, dass die Faulschlammkonzentration im Faulbehälter der Abbauleistung (umgekehrt) bei nahezu konstanten Zulauffrachten proportional ist, d. h. bei gleich bleibender Rohschlammkonzentration muss, mit enzymatisch bedingter Steigerung der Abbauleistung (Ausfaulgrades), die Faulschlammkonzentration sinken. Dies geht nicht, wie fälschlich angenommen, mit einer Reduktion des Glühverlustes (GV) im Faulschlamm einher (es wurde sogar eine leichte Zunahme des Glühverlustes dokumentiert). Durchgeführte Feststoff-Massenbilanzen bei sämtlichen großtechnischen Untersuchungen, getrennt für die organische und anorganische Fraktion, führen zu dem abgesicherten Ergebnis, dass die Feststoffreduktionen über beide Fraktionen erfolgt. Ähnliche Beobachtungen hinsichtlich des Glühverlustes wurden beim Einsatz der Hilfsstoffe Tenside und Folsäure bei der Überschussschlammreduktion im Abwasserreinigungsprozess gemacht, da hier beispielsweise eingelagertes Calciumcarbonat durch Verschiebung des Kalkkohlenstoffgleichgewichtes aus der Feststoffmasse herausgelöst wurde.

Prozessziel: Abbau von Verzottungen und Schwimmschlammdecken

Die Faulbehälter kommunaler Kläranlagen in Deutschland weisen meist Faulzeiten zwischen 20 bis 40 Tagen auf und sind ausreichend durchmisch. Technische Probleme bereiten häufig auftretende Verzopfungen und Schwimmdecken in den Faulbehältern, deren Beseitigung den Tauchereinsatz oder die Entleerung des Faulbehälters und manuelle Entfernung der Verzottungen er-

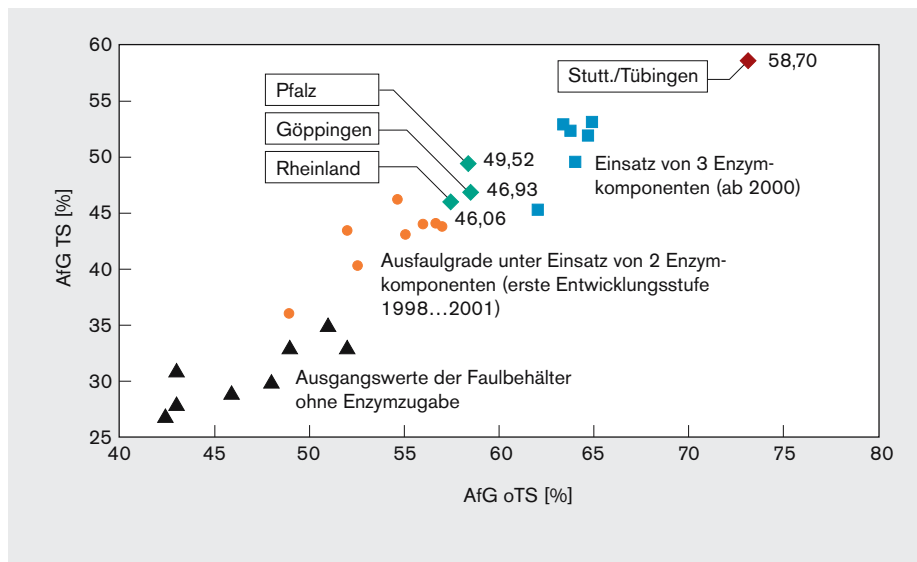
forderlich machen kann. Bei eingehender Betrachtung der „Zöpfe“ fällt auf, dass diese hauptsächlich aus Haaren (Eiweiß) und Fasermaterialien (Kohlenhydrate) bestehen, also aus potentiell biologisch abbaubarer, organischer Materie. Das Auftreten der Schwimmdecken und Verzottungen in Faulbehältern ist augenscheinlicher Beweis dafür, dass, auch bei ausreichend langer Aufenthaltszeit im Faulbehälter, die Ausbildung einer Biozönose unterbleibt, die das gesamte vorhandene Substrat verwertet d. h. einen maximalen Abbau der Schlamminhaltsstoffe ermöglicht. Es konnte in mehreren Fällen der Abbau von Verzottungen im Faulbehälter nachweislich auf die Wirkung der Enzyme zurückgeführt werden. In einem anderen Fall verschwand durch den Einsatz von Celluferm die regelmäßig (monatlich) auftretende Schwimmschlammdeckenbildung, die manuell entfernt werden musste und somit eine längerfristige Personalbindung zur Folge hatte, gänzlich. Durch den Einsatz der Enzyme ergab sich somit eine erhöhte Betriebsstabilität der Faulungsanlagen.

Ganz einfach

Deltawave (XU1) löst mehr als Durchflussmessaufgaben in teilgefüllten Leitungen und offenen Gerinnen.

Clever messen!
systeme
CONTROLS

www.systeme-controls.de



KORRELATION DER AUSFAULGRADE AFG-TS UND AFG-OTS: im Verlauf der Weiterentwicklung des Stufenpräparates Celluform in den letzten Jahren Bild 3

Prozessziel: Freischalten von Behandlungskapazitäten

In einem weiteren Anwendungsfall wurde das Enzymstufenpräparat Celluform eingesetzt, um in zwei in Reihe geschalteten Faulbehältern einen außer Betrieb zu nehmen. Über den Versuchszeitraum wurden im Betrieb mit einem Faulbehälter nicht nur dieselben Ausfallgrade erreicht, sondern sie konnten sogar noch gesteigert werden.

Ähnliche Überlegungen gelten für weitere Komponenten der Schlammbehandlungskette (Eindicker, Entwässerungsaggregate usw.). Negative Einflüsse auf die Trübwasserrückbelastung und die Entwässerbarkeit des ausgefallenen Klärschlammes treten nicht auf.

Die Wirtschaftlichkeit

Der wirtschaftliche Vorteil eines Enzymeinsatzes zur Verbesserung des Wirkungsgrades einer Schlammfäulung zeigt sich vornehmlich im Vergleich der variablen Kostenanteile der Schlammbehandlung. Hauptziel ist dabei die Reduktion der Entsorgungskosten durch Steigerung der Abbauleistung der organischen Inhaltsstoffe bzw. der Feststoffe insgesamt.

Reduziert man die Betrachtung auf die reduzierte Tonne Trockensubstanz, so kostet der Abbau über das Enzymstufenpräparat Celluform etwa 46,32 Euro. Dies deckt sich mit den von /2/ vorgestellten Preisen von 45 bis 75 Euro. Vor dem Hintergrund von durchschnittlichen Entsorgungskosten in der Größenordnung von 200 bis 300 Euro je Tonne TS ergibt sich für eine Vielzahl von Kläranlagen ein erhebliches Kosteneinsparpotenzial.

Weitere Kosteneinsparpotenziale können sich durch den Enzymeinsatz in der Fäulung ergeben durch (hier ist immer eine Einzelfallbetrachtung erforderlich):

- Reduktion der Leistungsaufnahme von nachgeschalteten Anlagen, wie etwa Entwässerungsanlagen, z. B. durch eine Erhöhung der Durchsatzleistung von Entwässerungsaggregaten durch verminderte TS-Gehalte im zu entwässernden Schlamm
- Reduktion der Konditionierungsmittel (Polymere) in der Entwässerungsstufe
- Vermeidung von Verzottungen und Schwimmschlammdecken.

Darüber hinaus können aber auch durch den Einsatz von Enzymen Reservekapazitäten innerhalb des Schlammbehandlungsprozesses freigeschaltet werden.

LITERATUR

- /1/ Strunkheide, J.: Leistungssteigerung bei Kosteneinsparungen. - In: wwt, Heft Februar, 1-2/2005, S. 10-15
- /2/ Burbaum, H.; Dickmann, Th.; Kéry, K.; Pascik, I.; Radermacher, H.: Biokatalytische Verbesserung der Klärschlammfäulung durch Enzyme. - In: KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall Hennef, 2002 (49), Nr. 8, S. 1110-1119
- /3/ Reipa, A.; Schmelz, K.-G. (Essen): Verbesserte Schlammfäulung durch Zugabe verschiedener Enzympräparate. - In: KA-Abwasser, Abfall 2003(50) Nr. 6, S. 774-783
- /4/ Strunkheide, J.; Littmann, R.: Ekolution-Verfahren zur Klärschlammreduzierung. - In: wwt, Heft 7-8/2003, S. 29-33
- /5/ Strunkheide, J.: Überschussschlamm-Reduktion durch Tenside. - In: wwt, Heft 12/2003, S. 34-41
- /6/ Schwarz, E.: Enzyme in der Schlammbehandlung. - In: wwt, Heft 1-2/2005, S. 34-35

Durch eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Fäulung von rund 35 auf 50 % (Bild 3) war es etwa nachweislich möglich, gleichartige bzw. verbesserte Ausfallgrade mit der Hälfte der Bauwerksvolumina (s. Tabelle, Region Rheinland, Außerbetriebnahme eines Faulbehälters) zu erzielen. Somit können Investitionszeitpunkte für Anlagenerweiterungen zeitlich verzögert werden bzw. ganz vermieden werden.

Fazit

Die aufgezeigten Ergebnisse der Betriebsversuche auf ausgewählten Kläranlagen bestätigen die Ergebnisse anderer Untersuchungen, dass sich der Fäulungsprozess durch den kontrollierten Einsatz eines abgestimmten Enzympräparates deutlich verbessern lässt. Darüber hinaus konnten jedoch auch weitere Erkenntnisse im Rahmen einer Gesamt-optimierung des Klärprozesses gewonnen werden, zu der sicherlich die Betriebsstabilität und die Schaffung von Kapazitätsreserven gehören. Der Grund für den Einsatz eines Enzympräparates bleibt eine Einzelfallentscheidung des Betreibers entsprechend den genannten Prozesszielen.

KONTAKT

IWB Institut Wasser und Boden e.V.
 Dr.-Ing. Jörg STRUNKHEIDE
 Ruhrallee 19 · 45525 Hattingen
 Tel.: 02324/594465 · Fax: 02324/594646
 E-Mail: IWB-mail@t-online.de
 www.iwb-bonn.de

Schmidt Umwelttechnik
 Edelhofstraße 20 · 51061 Köln
 Tel.: 0221/9666296 · Fax: 0221/9666297
 E-Mail: enzyme@t-online.de

Neue Wahl! Neues Recht! Neuer Straub!
 mit Online-Aktualisierung

HUSS-MEDIEN GmbH
 Versandbuchhandlung, 10400 Berlin
 Tel. 030/4 21 51-325 · Fax 030/4 21 51-205
 versandbuchhandlung@hussberlin.de
 www.neuer-straub.de

Arbeits-Handbuch Personal
 Recht und Praxis für den Personal-Profi

12,00 € Preisvorteil bis 31. 1. 2006: nur € 86,00

5., neu bearb. Aufl. 2005, ca. 1.440 S., erscheint Januar 2006
 Bestell-Nr. 3-349-01090-3