

Den Biogasertrag erhöhen

Der Einsatz selektierter Enzyme

Dr.-Ing. Jörg STRUNKHEIDE; Dipl.-Ing. Manfred CRONE; Wolfgang NIX; Roland LITTMANN

Zwei Beispiele aus der Praxis: Die Leistung der Faulbehälter steigt mit dem Einsatz von Enzymen.

Selektierte Enzyme werden schon seit längerer Zeit zur Steigerung der Faulbehälterleistung eingesetzt. Die in der Praxis erzielten Ergebnisse hinsichtlich der Prozessziele Feststoffreduktion, Steigerung des Biogasertrags und Vermeidung von Betriebsproblemen (z. B. Verstopfungen) sind beachtlich (vgl. /1, 2, 3, 4/) – wie am Beispiel der beiden nachfolgend beschriebenen Einsätze in der Praxis verdeutlicht wird.

Fallbeispiel Kläranlage Bergisch Gladbach

Die Ausbaugröße der Kläranlage (KA) Beningsfeld der Stadt Bergisch Gladbach beträgt derzeit 200.000 EW, mit einem tatsächlichen Anschlussgrad von etwa 166.000 EW – hiervon entfallen ca. 50.000 EGW auf Gewerbe und Industrie. Zur mesophilen anaeroben Schlammbehandlung stehen zwei Faulbehälter mit je 3.200 m³ Volumen zur Verfügung. Die Schlammfäulung erfolgt in zwei parallel betriebenen Faulbehältern. Die Besonderheit in der Betriebsweise besteht darin, dass ein Faulbehälter ausschließlich mit Primär- und ein Faulbehälter ausschließlich mit Überschussschlamm beaufschlagt wird. Diese Betriebsweise erwies sich in der zurück-

liegenden Zeit als probates Mittel gegen das Schäumen, verursacht durch Fadenorganismen. Außerdem konnte festgestellt werden, dass diese Betriebsweise bereits zur gesteigerten Gasausbeute und Abbauleistung führte, wie die Tabelle 1 mit den Referenzzeiträumen zeigt.

Kenndaten der Anaerobstufe der KA Bergisch Gladbach:

- ! Volumen Faulbehälter: 2 x 3.200 m³
- ! durchschnittliche Rohschlammmenge zur Fäulung: 209 m³/d
- ! durchschnittliche Aufenthaltszeit: ca. 30–34 Tage
- ! durchschnittliche Raumbelastung (B_{R,OTR}): 1,16 kg/(m³ · d).

Die anlagenspezifischen Kenndaten zeigen, dass eine geringe hydraulische und mäßige Raumbelastung der Anaerobstufe vorlag. Aufgrund der sehr hohen vorhandenen Abbauleistung sowie des ausreichenden Faulraumvolumens und geringen Raumbelastung stand die Betriebsleitung der Kläranlage Bergisch Gladbach Versuchen zur weitergehenden Optimierung zunächst skeptisch gegenüber.

Aus diesem Grund sollten zunächst Versuche im halbertechnischen Maßstab vorangestellt werden. Diese erfolgten im Rahmen einer Diplom- und einer Studi-

enarbeit in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Köln, Fachbereich Versorgungs- und Umwelttechnik, Professor Sturm.

Aufbau und Funktion der halbertechnischen Versuchsanlage

Die Versuchsanlage bestand aus zwei identischen Faultürmen aus VA-Stahl mit einer Gesamthöhe von 1 m. Einer der Versuchstürme diente dabei als Referenzfaulbehälter. Im Aufbau bestanden beide Faultürme aus zwei Trichterspitzen mit einem Volumen von 8,8 l und einem zylindrischen Mittelteil mit einem Volumen von 49 l. Während der Versuche wurden die Versuchsfaulbehälter mit 57,8 l Gesamtvolumen befüllt. Die tägliche Rohschlammmenge von 1,7 l wurde mit dem Enzympräparat Celluform vermengt und mittels Schlauchquetschpumpe den Reaktoren zugeführt. Die so eingestellte Faulzeit wurde auf diese Weise an die realen Bedingungen des Klärwerks Bergisch Gladbach angepasst und betrug 34 Tage. Die Faulbehältertemperatur wurde elektrisch geregelt zwischen 37–39 °C, das produzierte Klärgas in Gasbehältern zur Volumenbestimmung aufgefangen und der Gasanfall täglich ermittelt.

Feststoffabbau vor dem Enzymeinsatz (Ausgangswerte)

Tab. 1

Referenzzeitraum jeweils Auswertung der letzten 12 Monate vor dem Enzym-Einsatz in der Praxis	Faulbehälter 2 Primärschlamm-Fermenter	Faulbehälter 1 Sekundärschlamm-Fermenter	Abbauleistung in der Summe beider Faulbehälter bezogen auf die zugeführte Gesamtfracht
Mai 2004 – April 2005	52,3 % TS-Abbau 65,5 % oTS- Abbau		
März 2005 – Feb. 2006		27,1 % TS- Abbau 40,1 % oTS- Abbau	
			44,1 % TS- Abbau 58,1 % oTS- Abbau

Monatsübersicht Biogasproduktion (Primärschlamm-Fermentation)

Tab. 2

Versuch FT – 1 (mit Celluform) Biogas (l)	Versuch FT – 2 (ohne CELLUFERM) Biogas (l)	Differenz	
Mai	1.055	896	+17.7 %
Juni	1.123	973	+15.4 %
Juli	1.573	1.395	+12.8 %
Gesamt:	3.751	3.264	+14.9 %

Monatsmittelwerte Trockenrückstand (Primärschlamm-Fermentation)			Tab. 3
	Versuch FT – 1 (mit Celluferm) TR (%)	Versuch FT – 2 (ohne Celluferm) TR (%)	Differenz
Mai	2,28	2,43	-6,20 %
Juni	2,56	2,72	-5,90 %
Juli	2,82	3,14	-10,20 %
Mittel:	2,55	2,76	-7,61 %

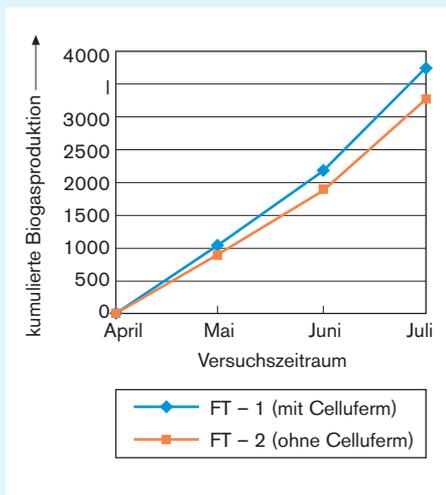
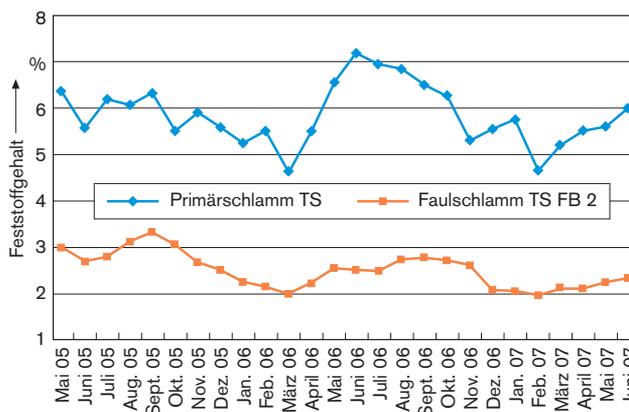


Bild 1

ENTWICKLUNG DER BIOGASPRODUKTION: Monatsmittelwerte bei der Primärschlamm-Fermentation

Erste Versuchsreihe: Fermentation (FT) von Primärschlamm

Die erste Versuchsreihe diente der Feststellung, welche Auswirkungen bei der ausschließlichen Fermentation von Primärschlamm festzustellen sind. Nach einer 8 Wochen dauernden Einfahrphase der Faulbehälter wurde über einen Zeitraum von weiteren 3 Monaten der Test durchgeführt und das Enzymstufenpräparat Celluferm auf die tägliche Rohschlammmenge abgestimmt. Die Schlammzuführung erfolgte 6 x wöchentlich. Nach Auswertung der Testreihe konnte eine Steigerung der Gasproduktion festgestellt werden, die auf eine



FAULSCHLAMM-TROCKEN-SUBSTANZ: vergleichend dargestellt zur Primärschlammkonzentration im Zulauf zum FB 2

Bild 2

Zugabe des Enzymstufenpräparates Celluferm zurückzuführen ist (Bild 1). Parallel zur gestiegenen Gasproduktion konnte auch beim Feststoff (TS) im Faulschlamm, der täglich bestimmt wurde, ein deutlicher Effekt des Enzymstufenpräparates festgestellt werden. So wurden im unbehandelten Faulschlamm höhere TS-Gehalte ermittelt und ein verstärktes Auftreten von Schwimmdecken und Verzopfungen beobachtet.

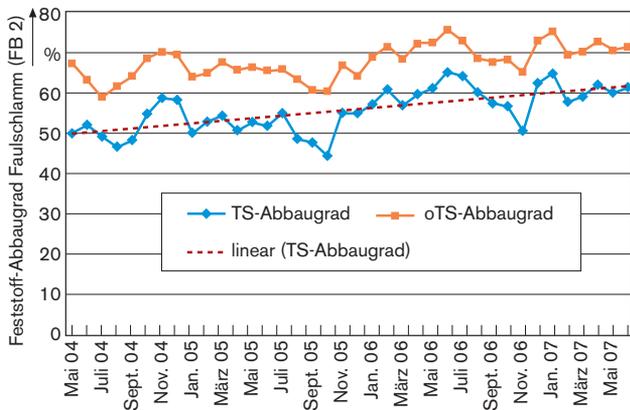
Zweite Versuchsreihe: Fermentation (FT) von Sekundärschlamm

Analog zur ersten Versuchsreihe verlief die zweite, in der ausschließlich die Wirkung bei der Fermentation von Überschussschlamm untersucht wurde. Die Ergebnisse und der Versuchsverlauf sind vergleichbar, wenn auch mit deutlicherer

Ausprägung. So wurde eine Steigerung der Biogasproduktion von 23 % festgestellt. Die Prognose zur Wirtschaftlichkeit der Anwendung veranlasste die kurzfristige großtechnische Umsetzung.

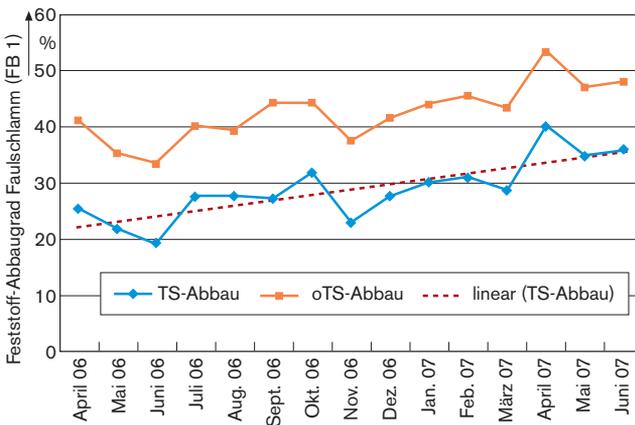
Ergebnisse in der Praxis

Der Einsatz des Enzymstufenpräparates Celluferm begann im Faulbehälter 2 (Primärschlamm-Fermenter) im Mai 2005 und nach Abschluss der zweiten Studienarbeit erfolgte die Aufnahme der Dosierung ab April 2006 auch im Faulbehälter 1 (Sekundärschlamm-Fermenter). Zur Auswertung wurden die Betriebsanalysen herangezogen, wobei jede Schlammart mit einer Häufigkeit von ca. 3 Analysen pro Woche beprobt wird. Zur Erfassung des Gasanfalls steht nur eine Gasmessung für beide Faulbehälter zur Verfügung.



ENTWICKLUNG DES ABBAU- GRADES: im Primär- schlammfau- behälter (FB 2)

Bild 3



ENTWICKLUNG DES ABBAU- GRADES: im Sekundär- schlammfau- behälter (FB 1)

Bild 4

substanz keine Entwicklung aufgrund dünneren Primärschlamm, sondern eine Folge erhöhten Abbaus. Dieser Sachverhalt wird auch durch Bild 3 bestätigt. Einhergehend mit dem Rückgang der Faulschlamm Trockensubstanz konnte, entsprechend zeitlich versetzt, ein Rückgang der entsorgten Schlamm mengen festgestellt werden.

Auch der Faulbehälter 1, in dem ausschließlich Sekundärschlamm zur Vergärung eingespeist wird, und der seit dem 20. 3. 2006 mit dem Enzymstufenpräparat Celluform beaufschlagt wurde, zeigt in der Entwicklung des Abbaugrades ein vergleichbares Bild.

Sowohl die Tendenz im Verlauf des Einsatzes als auch der Vergleich mit den Ausgangswerten in dem Referenzzeitraum (durchschnittliche Abbauleistung aus 12 Monaten vor dem Enzymeinsatz) belegen eindeutig die Wirkung. Die aktuelle Steigerung der Abbauleistung liegt, bezogen auf die zugeführte Trockensubstanz, bei +35,7 % und entspricht damit den Prognosen des Enzym-Produktlieferanten.

Biogas

Die gesteigerte Abbauleistung findet sich in der Biogasproduktion wieder (Tabelle 4). Zum einen in einer für kommunale Kläranlagen (ohne Co-Vergärung) hohen Gasproduktion. Ein Jahr nach der Aufnahme der Dosierung in beide Faulbehälter wurde eine Gasproduktion von über 620 l Biogas/kg oTS im Rohschlamm festgestellt. Während früher die durchschnittliche monatliche Biogasproduktion bei 110 bis 120.000 m³ lag, ist diese im Verlauf des Einsatzes auf 130 bis 135.000 m³ angestiegen.

Schlamm entsorgung

Einher mit dem Rückgang der Faulschlamm Trockensubstanz konnte, entsprechend zeitlich versetzt, ein Rückgang der Entsorgungsmengen ab dem Einsatzzeitraum 2005 bei konstant gebliebenen Zulaufmengen festgestellt werden (Tabelle 5).

Fallbeispiel Kläranlage Moosburg a.d. Isar

Gasproduktion verdreifacht

Mit einer Ausbaugröße von 40.000 EW ist diese Kläranlage mit einem Faulbehälter mit einem Volumen von 2.400 m³ ausgestattet.

Die Dimensionierung dieser Anaerobstufe erscheint zur Vergärung des anfallenden Klärschlammes mehr als ausreichend, wie die spezifischen Kenndaten der Schlammfäulung zeigen.

Kenndaten Schlammfäulung der KA Moosburg (Ausgangswerte):

Monatsmittelwerte der zulaufspezifischen Biogasproduktion Tab. 4 (ca. ein Jahr nach erfolgtem Einsatz in beide Faulbehälter)

Zeitraum	m ³ Biogas/kg oTS im Rohschlamm
Februar 07	0,614
März 07	0,674
April 07	0,499
Mai 07	0,630
Juni 07	0,691

Feststoffabbau

Wie im Rahmen der Diplomarbeit festgestellt wurde, stellte sich in Folge des verbesserten Abbaus auch im prakti-

schen Einsatz ein Rückgang der Faulschlamm Trockensubstanz im FB 2 ein (Bild 2). Wie aus Bild 2 hervorgeht, ist der Rückgang der Faulschlamm trocken-

K-KOMPACT Abwasserpumpe
Das NEUE Sparmodell der Kommunen.

Alte Raus

Mit einer neuen Caprari Pumpe können Sie richtig Geld verdienen.

Caprari Pumpen GmbH
Kleemanngasse 15
D-90765 Fürth
Telefon (0911) 610 93-0
www.caprari.com

pumping power

- Volumen Faulbehälter: 1 x 2.400 m³
- durchschnittliche Rohschlammmenge zur Faulung: 65 m³/d
- durchschnittliche Aufenthaltszeit: ca. 37 Tage
- durchschnittliche Raumbelastung (B_{R,OTR}): 0,6 - 0,7 kg/(m³ · d)
- TS- Abbaugrad 31 %
- oTS- Abbaugrad 50,5 %.

Auf den ersten Blick erscheinen diese Kenndaten großzügig und veranlassen nicht zwingend zu Handlungen, die Abbauleistung unter Anwendung enzymatischer Biokatalyse diese weiter verbessern zu wollen. Insbesondere auch deshalb nicht, da wenige Monate zuvor bereits – mit einem anderen Anbieter von Enzympräparaten – erfolglos Versuche zur Verbesserung der Faulung und Erhöhung der Gasausbeute unternommen wurden.

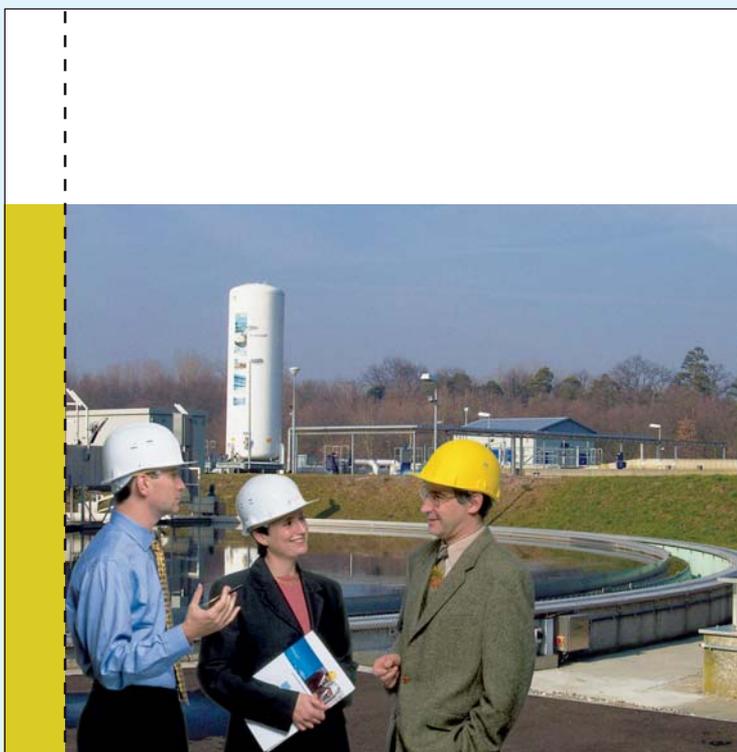
Letztlich ausschlaggebend für die Zusammenarbeit mit EUROZYMES BIOTEC GmbH aus Leverkusen war einerseits die Referenzsituation, die eingehend geprüft wurde, aber auch das Bestreben der Kläranlage Moosburg GmbH, durch die Annahme von Fremdschlämmen und gering überwachungsbe-

Entsorgungsmenge der Kläranlage Bergisch Gladbach		
Jahr	Abwassermenge (m ³ /a)	Entsorgung (t TS)
1999	8.350.000	1.960
2000	9.880.000	1.991
2001	10.108.000	1.883
2002	9.754.000	1.940
2003	8.860.000	1.931
2004	8.974.000	1.987
2005	9.855.000	1.726
2006	8.960.900	1.536

Liste der genehmigten Co-Substrate	
Verwertungsnummer	Bezeichnung
02 02 04	Schlämme aus betriebseigener Kläranlage
02 05 99	Abfälle aus der Milchindustrie
02 07 02	Abfälle aus der Alkoholdestillation
07 06 99	Abfälle aus der Kosmetikerstellung
19 06 06	Klärschlamm aus der anaeroben Behandlung von pflanzlichen und tierischen Abfällen
20 01 08	Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle

dürftigen Abfällen die Gasproduktion deutlich erhöhen zu wollen. Hierfür wurde ein umfassendes Gesamtkonzept erstellt, wobei das Enzymstufenpräparat Celluform zusätzliche Kapazitäten der

Anaerobstufe freisetzen sollte. Am 19. Januar 2005 begann die Dosierung des Enzymstufenpräparats, das mittels einer Schleuse in die Rohschlammbeschickungsleitung eingebracht wurde



Abwasserbehandlung mit ASPAL™

Air Liquide bietet mit **ASPAL™** Effizienz in der Abwasserbehandlung:

Ihre Vorteile:

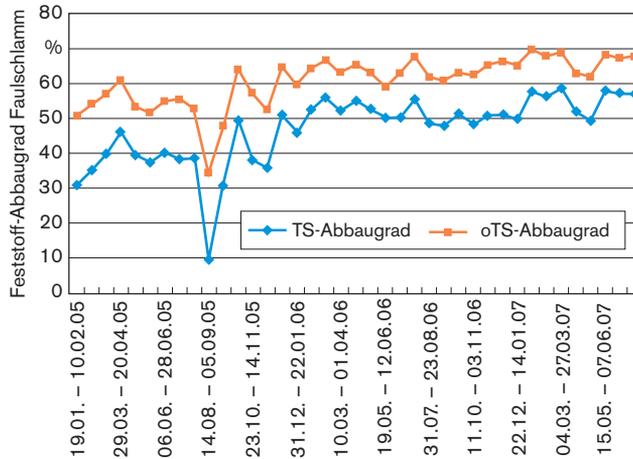
- ✓ Leistungssteigerung um mehr als 50 %
- ✓ Erhöhung der Betriebssicherheit
- ✓ Steigerung der Bioaktivität in der Belebung
- ✓ Verbesserung des Schlammindex
- ✓ Senkung der spezifischen Betriebskosten

ASPAL™ – zahlt sich aus!

AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
 Hans-Günther-Sohl-Str. 5 - 40235 Düsseldorf - Tel. (0211) 6699-0
 E-Mail: umwelt@airliquide.de - www.airliquide.de



CELLUFERM-DOSIERSTELLE: Bild 5
Rohschlammbeschickungsleitung



**ENTWICKLUNG
DES ABBAU-
GRADES:
bei der KA
Moosburg
infolge
Celluferm**

Bild 6

(Bild 5). Die Dosiermenge erfolgt nach Herstellerangabe.

Wie Bild 6 zeigt, ist die Abbauleistung, ausgehend von 31 % TS-Abbau gleichförmig angestiegen und konsolidiert zuletzt bei 55 % Trockensubstanzabbau. Der plötzliche Einbruch im August/September 2005 ist eine Folge des seinerzeitigen Hochwassers.

Zwischenzeitlich wurden in der Kläranlage Moosburg technische Einrichtungen zur Lagerung und Einspeisung der CO-Substrate geschaffen und ein Genehmigungsverfahren zur Annahme und

Vergärung von nicht besonders überwachungsbedürftigen Abfällen beim Landratsamt Landshut erfolgreich durchgeführt (Tabelle 6). Ab November 2005 erfolgte die regelmäßige Annahme von Bioabfällen und Co-Substraten.

Die Belastung des Faulbehälters wurde unter sorgfältiger Beobachtung der Betriebsparameter wie organische Säuren, Ammoniumkonzentration und TS-Abbaugrad langsam gesteigert. Dabei zeigte sich, dass durch den Einsatz von Celluferm die Abbauleistung und die Prozessstabilität erhalten blieb, obwohl die

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes des Produktes Celluferm mit Co-Substraten Tab. 7

Zeile	Berechnung	Einheit	KA Moosburg
Einsparpotenzial Faulschlammmenge			
1	Ermittlung des Ausfallgrades $AFG_{TS', ohne C.}$ (ohne CELLUFERM)	%	30,9
2	Ermittlung (1) Ermittlung des Ausfallgrades $AFG_{TS', mit C.}$ (mit CELLUFERM) (Auswertung vorhandener Betriebsdaten)	%	55,2
3	jährliche Rohschlammmenge incl. Bioabfälle (Zulauf Faulung)	m ³ /a	30.052
4	mittlerer TS-Gehalt des Rohschlammes (Zulauf Faulung)	g/l	68
5	(3) * (4)/1.000 jährliche TS-Fracht _{Zulauf} (Zulauf Faulung)	t TS/a	2.044
6	jährliche TS-Fracht _{Ablauf} (Ablauf Faulung) (ohne CELLUFERM): $TS-Fracht_{Ablauf, ohne C.} = TS-Fracht_{Zulauf} * (1 - AFG_{TS', ohne C.} / 100)$	t TS/a	1.412,1
7	jährliche TS-Fracht (Ablauf Faulung) (mit CELLUFERM): $TS-Fracht_{Ablauf, mit C.} = TS-Fracht_{Zulauf} * (1 - AFG_{TS', mit C.} / 100)$	t TS/a	915,3
8	(6) - (7) reduzierte jährliche TS-Fracht (mit CELLUFERM) nach der Faulung	t TS/a	496,8
Kosteneinsparpotenziale Schlammbehandlungsprozess			
<i>Maschinelle Entwässerung (nach der Faulung)</i>			
9	spezifische Kosten	€/t TS	50
10	(8) * (9) Einsparpotenzial	€/a	24.839
<i>Trocknung (von 26 auf 90 % TS)</i>			
11	spezifische Kosten	€/t TS	180
12	(8) * (11) Einsparpotenzial	€/a	89.421
<i>Klärschlamm Entsorgung</i>			
13	spezifische Kosten	€/t TS	110
14	(8) * (13) Einsparpotenzial	€/a	54.646
15	(10)+(12)+(14) Summe Kosteneinsparpotenzial	€/a	168.906
Produktkosten CELLUFERM			
16	spezifische Einsatzmenge CELLUFERM (18 ml/m ³ Rohschlamm)	l/m ³ Rohschlamm	0,018
17	(3) * (16) jährliche CELLUFERM -Menge	l/a	541
18	spezifische Produktkosten	€/l	21
19	(17) * (18) jährliche CELLUFERM-Kosten	€/a	11.360
20	(15) - (19) wirtschaftlicher Gesamtertrag	€/a	157.547



ANNAHMESTATION:
für die Co-Substrate

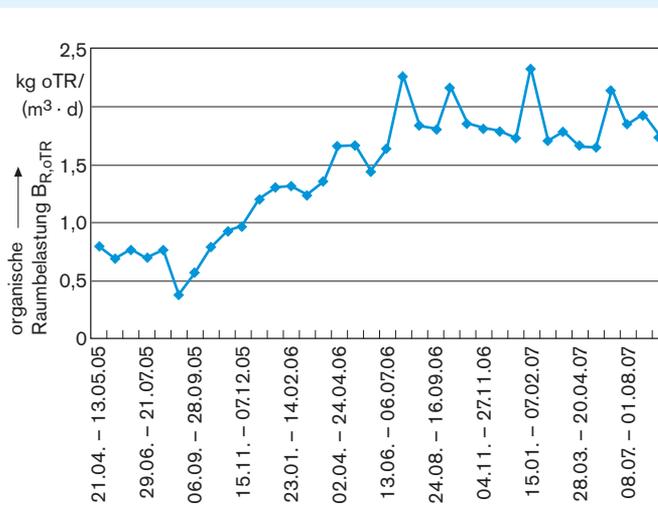
Bild 7

Raumbelastung zeitweise vervierfacht (Bild 9) und die durchschnittliche Schlammmenge zur Faulung auf 95 m³/Faulzeit angehoben wurde, wodurch die durchschnittliche Faulzeit von 37 auf 25 Tage verringert wurde.

Durch die Kläranlage Moosburg wurde das Gemeinnützige Institut Wasser und Boden e. V. (IWB) in Hattingen beauftragt, in einem Gutachten die Wirtschaftlichkeit aller in Moosburg eingesetzten Hilfsstoffe und technischen Neuerungen zu bewerten /5/. In diesem Gutachten wurde der Einsatz des Enzymstufenpräparats Celluform differenziert betrachtet. Einmal wurde die Wirtschaftlichkeit ermittelt für den Kläranlagenbetrieb ohne und einmal verbunden mit der Annahme von Reststoffen. In Tabelle 7 sind die Celluform-Produktkosten sowie die monetären Nutzen in den einzelnen Prozessen der Schlammbehandlung und Entsorgung aufbereitet. Der wirtschaftliche Ertrag dieses Produkts beim zusätzlichen Einsatz von Co-Substraten beträgt rund 157.500 €/a (brutto). Der berechnete wirtschaftliche Ertrag ohne den Einsatz von Co-Substraten lag bei rund 58.500 €/a (brutto).

Zusammenfassung

Durch die Anwendung innovativer Biotechnologie können selbst die Faulungs-



**ZUNEHMENDE
RAUMBELAS-
TUNG:**
infolge der
Annahme von
Co-Substraten

Bild 9

anlagen in ihrer Wirkung wesentlich gesteigert werden, für die aufgrund der Aufenthaltszeit und geringen Raumbelastung auf den ersten Blick kein Handlungsbedarf besteht.

Die Steigerungsraten in den vorgestellten Kläranlagen und die Wirtschaftlichkeit der beschriebenen Technologie sind sehr hoch. Über die Ergebnisse zum Enzymeinsatz in Kläranlagen wird unterschiedlich berichtet.

Dies mag auch an der undifferenzierten Betrachtung der verschiedenen Anbieter und Techniken liegen. Derzeit gelangen ca. 3.500 verschiedene technische Enzyme in unterschiedlichen Prozessen zum Einsatz. Die Erfahrung insbesondere bei der Kläranlage Moosburg zeigt, dass nicht pauschal über den Einsatz von Enzymen in Faulungsanlagen berichtet werden kann. Unterschiedliche Anbieter gelangen zu verschiedenen Ergebnissen. Es empfiehlt sich genauer zwischen den angewandten Enzymen zu differenzieren, wobei immer eine Prüfung der Referenzen im Vorfeld des Einsatzes als Selektionskriterium zu empfehlen ist.

Tagung in Moosburg

Am 20. November 2007 lädt das neu gegründete Bayerische Institut für Umwelt- und Kläranlagentechnik – BIUKAT – zu einer Tagung nach Moosburg ein.

Die Vorträge haben innovative Kläranlagentechnologien zum Inhalt.

Im Anschluss kann die Kläranlage Moosburg besichtigt werden. Dort soll die Brennstoffzellenanlage im Mittelpunkt stehen.

Anmeldung: Bayerische Verwaltungsschule, Kundenservice, Ridlerstraße 75, 80339 München, Tel.: 089/54057-499, E-Mail: kundenservice@bvs.de.

LITERATUR

- /1/ Burbaum, H.; Dickmann, T.; Kéry, K.; Pascik, I.; Radermacher, H.: Biokatalytische Verbesserung der Klärschlammfaulung durch Enzyme. In: KA Heft 8/2002, S. 1110 ff
- /2/ Strunkheide, J.; Seibert, M.: Biokatalysierte Schlammfaulung. In: wwt, Heft 10/2005, S. 23-26
- /3/ IWB: Leitfaden „Einsatz von biologischen/chemischen Hilfsstoffen zur Leistungssteigerung und Kostenreduktion bei Kläranlagen“, im Auftrag des MUF (Rheinland-Pfalz), November 2006
- /4/ Strunkheide, J.: Einsatz biologisch-chemischer Hilfsstoffe In: wwt, Heft 9/2007, S. 54-58
- /5/ IWB-Gutachten über einen ganzheitlichen Optimierungsansatz zur Leistungssteigerung der Abwasserbehandlung bei gleichzeitiger Kosteneinsparung am Beispiel der Kläranlage Moosburg a. d. Isar, Januar 2007



**TÄGLICHE
BIOGAS-
PRODUKTION:**
infolge Celluform
mit Annahme
von Co-
Substraten

Bild 8

KONTAKT

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