

Was bewirkt die enzymatische Biokatalyse in der Schlammfäulung?

Gerd Ewald

Eurozymes Biotec GmbH
Leverkusen

Einleitung

Kläranlagen werden errichtet und unterhalten mit der Zielsetzung, anthropogene, schädlich wirkende Wasserinhaltsstoffe zu entfernen. Die Umsetzung gesetzlicher Vorgaben erfolgte unter hohem politischen und zeitlichem Druck. Während Planung, Ausbau und die Inbetriebnahme neuer Anlagenteile in den zurückliegenden Jahren im Fokus der Betriebsleitung der Kläranlagen standen, da Anforderungen und Grenzwerte sich änderten, stehen heute Begriffe wie Benchmarking, wirtschaftliche Betriebsweise, Personaloptimierung und Kostenmanagement wesentlich stärker als in früheren Zeiten im Vordergrund des betrieblichen Alltags.

Wesentliche Kostenfaktoren sind die Klärschlammmentwässerung /-entsorgung und Energieversorgung. Im Folgenden wird eine Möglichkeit zur Verbesserung der wirtschaftlichen Betriebsweise vorgestellt, die zur Verringerung des Schlammmanfalls und Erhöhung des Biogasausbeute beiträgt.

1. Maßnahmen zur Steigerung der Schlammfäulung

Die anaerobe mesophile Schlammfäulung stellt eine häufig anzutreffende Form zur Schlammstabilisierung und Verringerung des Schlammmanfalls dar. Die Fäulung des Primär- und Sekundärschlammes erfolgt unter Luftabschluß bei Temperaturen zwischen 35 – 40 °C und 20 - 30 Tagen Ausfäul- oder Verweilzeit.

Eine Optimierung des Wirkungsgrades kann durch betriebliche Maßnahmen angestrebt werden, wie gleichmäßige Beschickung, Vermeidung von Temperaturschwankungen, gleichmäßige Durchmischung, oder durch die Inbetriebnahme von zusätzlichen technischen Einrichtungen wie mechanische ÜS-Schlammverdickung, innenliegende Faulraumischer, mechanische Schlammdeintegration, Hochlastfäulung u.v.m..

Die technischen Maßnahmen sind verbunden mit Investitionen, Umbauten und laufenden Betriebskosten (Energie und Wartung), denen der Nutzen durch Schlammreduktion und Biogasmehranfall gegenüberzustellen ist. Da der Nutzen selten garantiert wird, sind Investitionsentscheidungen mit hohem Risiko behaftet. Und einmal getroffenen Entscheidungen lassen sich nicht so einfach revidieren. So ist vielen die Situation nicht fremd, dass Anlagenteile nach und nach wieder außer Betrieb gesetzt werden, sobald die ersten Reparaturen einsetzen oder etwas Zeit verstrichen ist.

Beispielhaft hierzu sei die mechanische Überschussschlammeindickung genannt, die auch mit den Erwartungen eingeführt wird, dass durch die damit verbundene Erhöhung der Faulzeit ein besserer Abbau und höhere Biogasproduktion erzielt wird. Ein Trugschluss in den meisten Fällen.

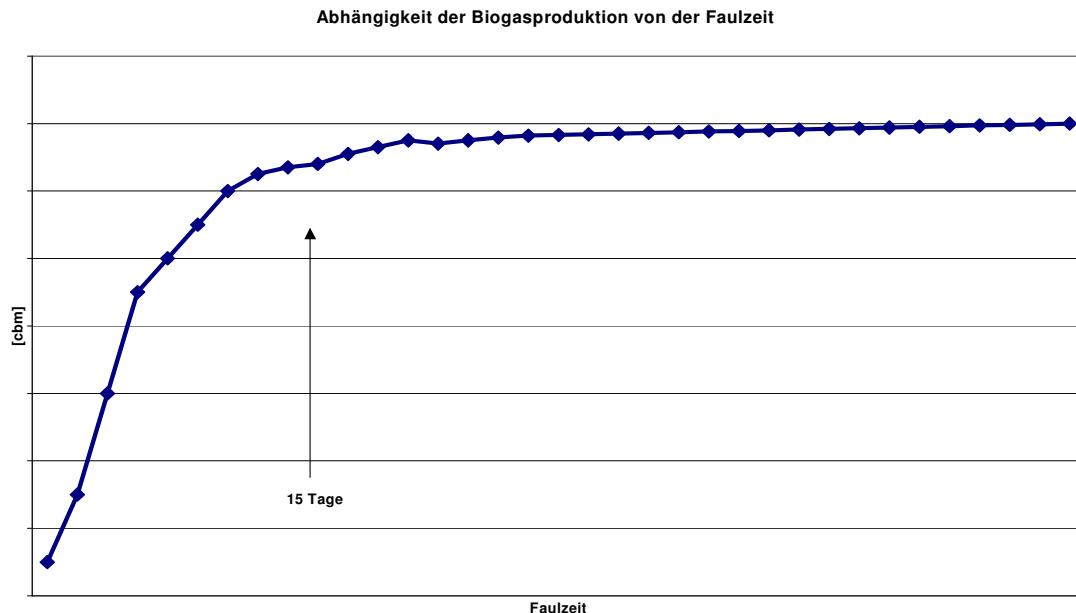


Diagramm 1: Biogasproduktion in Abhängigkeit von der Faulzeit

Biologische Prozesse verlaufen asymptotisch, nähern sich einem Grenzwert ohne diesen je zu erreichen. Im Labormaßstab wurde selbst nach 14 Jahren in einem Faulungsversuch die Produktion geringer Gasmengen nachgewiesen.

Die Faulbehälter in der Bundesrepublik Deutschland weisen i.d.Regel Faulzeiten zwischen 20 – 30 Tage und Raumbelastungen um 1 kg OTR pro cbm * Tag oder weniger auf. Kritisch werden Faulzeiten in einem einstufigen Faulbehälter von 15 Tagen und weniger betrachtet. Die Erhöhung der Faulzeit, beispielsweise 20 auf 23 Tage, bewirkt durch die mechanische Voreindickung von Überschussschlamm, hat kaum feststellbare Auswirkungen auf den Wirkungsgrad von Faulbehältern.

2. Enzymatische Biokatalyse

Nur gelöste organische Substanz kann durch Mikroorganismen oder Pilze abgebaut werden. Unlösliche oder partikuläre Substanz muss, damit diese zum Stoffwechsel die Zellwand passieren kann, hydrolysiert d.h. in eine wasserlösliche Form überführt werden. Die hierzu erforderlichen Enzyme, auch als Biokatalysatoren bezeichnet, werden von den am Abbau beteiligten Mikroorganismen selbst gebildet. Beispielsweise werden beim Abbau hochmolekularer Stoffe wie Polysaccharide, Fette oder Eiweiße von hydrolysierenden Mikroorganismen Enzyme produziert und abgegeben, die außerhalb der Zellen (extrazellulär) wirken und dort diese Stoffe in wasserlösliche Bruchstücke wie Zucker, Fettsäuren, Aminosäuren spalten.

Enzyme werden von lebenden Zellen gebildet, allerdings ist deren Wirkung nicht an die lebende Zelle gebunden, d.h. durch Zusatz von Enzyme können bestimmte Reaktionen ohne aktive Mitwirkung von Mikroorganismen beeinflusst bzw. beschleunigt werden.

Enzyme reagieren selektiv, substratspezifisch, d.h. nur ein ganz bestimmtes Substrat „passt“ zu einem entsprechenden Enzym. Man spricht vom „Schlüssel – Schloß- Prinzip“. Wegen Ihrer selektiven Wirkung kam es in den zurückliegenden Jahren zu einer starken Verbreitung von Enzyme in unterschiedlichen technischen Prozessen, da unerwünschte Nebenwirkungen und Nebenprodukte ausgeschlossen werden können. Aus lebenden Zellen wurden ca. 3.500 verschiedene Enzyme isoliert die in der Praxis zum Einsatz gelangen, u.a. :

Wasch- und Reinigungsmittel, Textilindustrie, Lebensmittelindustrie, Papierindustrie, Tier-
nahrung, Backwaren, Bioethanolgewinnung, Pharmazie, u.v.m..

Bereits in den 70er Jahren wurden Versuche unternommen, den Hydrolysegrad der Schlammfäulung durch die Zugabe von Enzymen zu erhöhen, und immer wieder erfolgen Vorstöße und Versuche in diese Richtung. Meist erfolglos oder mit geringer Nachhaltigkeit.

So wurden auch in der Kläranlage Moosburg "Enzyme" anderer Anbieter erfolglos eingesetzt, bevor die Zusammenarbeit mit der EUROZYMES BIOTEC GmbH aufgenommen wurde.

3. Anwendungsbeispiele und Einsatzzweck in kommunalen Kläranlagen

3.1. Enzymeinsatz im Faulbehälter

Mikroorganismen bilden zum Stoffwechsel Exo- und Endoenzyme aus. Faulschlamm und Überschussschlamm enthält somit viele unterschiedliche Enzyme. Die Bildung von Exoenzyme ist für Bakterien ein sehr aufwendiger, energieintensiver Prozeß. In einem Mischsubstrat wie Faulschlamm werden vorrangig die Inhaltstoffe verstoffwechselt, deren Umsetzung den größten Energiegewinn liefert.

Manche Substrate werden im Faulbehälter nur teilweise umgesetzt, manche, obwohl Kohlenhydrate oder Eiweiße, gar nicht.

Einige Substrate werden nur von „spezialisierten“ Mikroorganismen abgebaut, da nur diese Spezialisten die erforderlichen Enzyme ausbilden können. Ein Beispiel hierfür ist Holz – Zellulose, Lignozellulose, Hemicellulose. Obwohl vom Chemismus her ein Vielfachzucker (Polysaccharid), wie Stärke auch, können im Unterschied zu dieser die wenigsten Lebewesen Zellulose abbauen. Spezialisierte Mikroorganismen und Pilze aber sehr wohl.

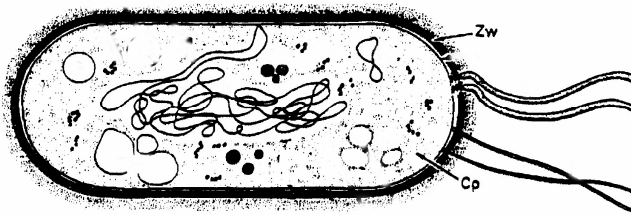
Durch Selektion und Aufzucht derartiger Spezialisten in Fermentationsanlagen werden Enzyme gewonnen, die die Hydrolyse von Zellulose, langkettiger Eiweiße und Lipopolypeptide in Faulbehältern ermöglichen. Die sich bildenden wasserlöslichen Bruchstücke werden von den vorhandenen Mikroorganismen abgebaut.

3.1.1. Wirkungsweise

Langkettige, hochmolekulare und partikuläre Stoffe wie z.B. Polysaccharide, hochmolekulare Eiweiße und Lipopeptide werden hydrolysiert und der Methangärung zugänglich gemacht. Dies ist jedoch nur ein Teil der Wirkung.

Alle Verbindungen, die die Natur zum Schutz für Lebewesen ausbildet, z.B. Haare, Chitin, Wachs, Horn usw. sind biologisch schwer abbaubar. Dies gilt auch für die Schleimschicht gram negativer Mikroorganismen. Diese Schicht schützt die Zellwand vor dem Enzymangriff anderer Mikroorganismen.

Durch den Einsatz von Celluform wird diese Schleimschicht aufgelöst und das Murein für den Bioangriff anderer MO zugänglich. Zellwasser wird freigesetzt - eine biologische Schlammdeintegration setzt ein.



Alle Verbindungen, die die Natur zum Schutz von Lebewesen aufgebaut hat, wie z.B. Wachs, Chitin, Haare oder die Schleimschicht der Mikroorganismen, sind biologisch schwer abbaubar,

..... aber abbaubar!

Spezialisierte Mikroorganismen sind in der Lage, diese Stoffe umzusetzen.

3.1.2. Ergebnisse in der Schlammfäulung

Die Faulbehälter in der Praxis sind mit einer Faulzeit von ca. 20 – 30 Tagen so ausgelegt, dass die vorhandene Abbauleistung der „technischen“ oder „praktischen“ Faulungsgrenze entspricht. Für technisch optimierte Faulbehälter gilt (Faustformel): ca. 33 % der zugeführten Trockensubstanz (TS) und ca. 50 % der zugeführten organischen Trockensubstanz (OTS) werden abgebaut.

Technische Faulungsgrenze:	AfG TS	ca. 33 %
	fG OTS	ca. 50 %

Anlagen, deren Ausgangswerte der technischen Faulungsgrenze entsprachen, können heute unter Einsatz des Enzymstufenpräparates Celluform TS- Abbaugrade von 52 - 54 % und oTS -Abbaugrade von 64 - 66 % erzielen.

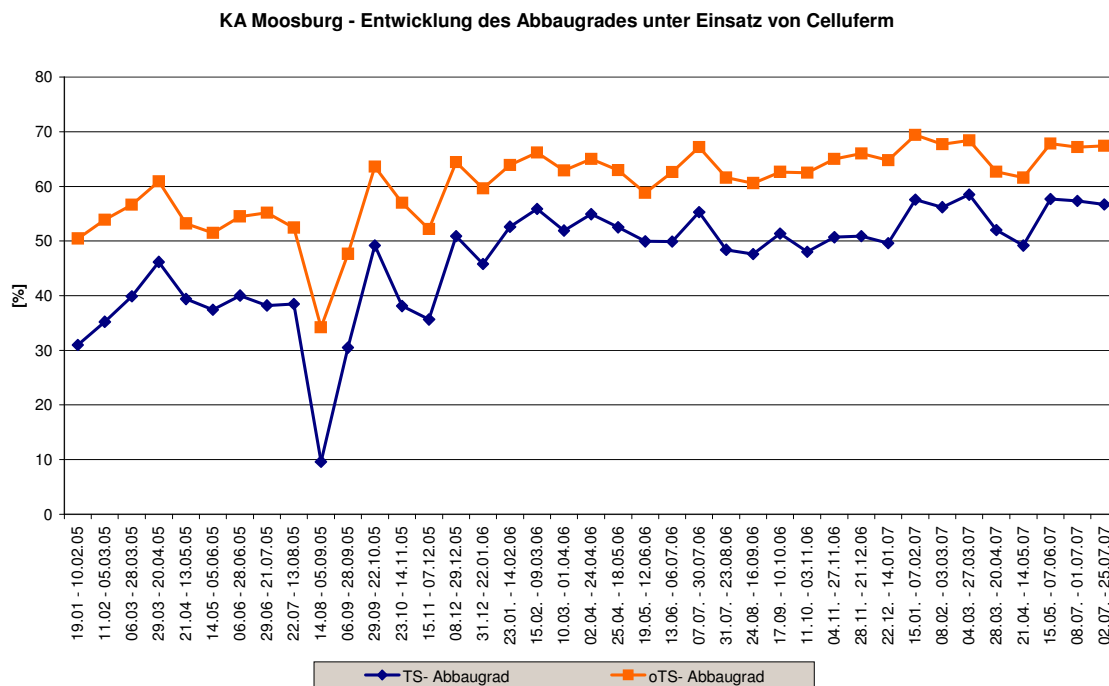


Diagramm 2: Entwicklung der Abbaurrate unter Einsatz von Celluform

Beachtenswert ist dabei die Tatsache, dass, so wie hier am Beispiel Moosburg aufzeigt, diese Steigerungsraten möglich sind, obwohl die Kenndaten der Schlammfäulung alles andere als eine überlastete Schlammfäulung ausweisen:

Kenndaten Schlammfäulung der KA Moosburg (Ausgangswerte):

Volumen Faulbehälter:	1 x 2.400 m ³
Durchschnittliche Rohschlammmenge zur Fäulung:	65 m ³ /d
Durchschnittliche Aufenthaltszeit:	ca. 37 Tage
Durchschnittliche Raumbelastung (BR,OTR):	0,6 - 0,7 kg / (m ³ ·d)
TS- Abbaugrad	31 %
oTS- Abbaugrad	50,5 %

Aus dem erhöhten Trockensubstanzabbau resultieren geringere Entsorgungsmengen. Hierzu beispielhaft Betriebsdaten 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

Tabelle 1: Rückgang der Entsorgungsmengen mit Anwendung von Celluferm ab dem Jahr 2005 unter ansonsten unveränderten Bedingungen

Steigerungsraten in der Gasproduktion bis zu maximal 40 % wurden nachgewiesen, die durchschnittliche Steigerungsrate der Gasproduktion liegt bei 20 - 30 %.

Bundesweit gibt es zu diesen Ergebnissen zahlreiche Referenzen, wozu auch Großklärwerke zählen. Die Ergebnisse sind anhand der Betriebsdaten über Jahre hinweg dokumentiert, darunter auch Ergebnisse aus Parallelversuchen.

Zwei Diplomarbeiten der FH Köln bestätigen ebenfalls die Wirkungsweise und die Steigerungsraten. Dabei wurde in halbtechnischem Maßstab zwei Faulbehälter betrieben, wobei der eine mit dem Enzymstufenpräparat Celluferm beaufschlagt wurde, der andere nicht.

3.2. Verringerung des Überschussschlammanfalls

In Kläranlagen, die über keine Schlammfäulung verfügen, kann der Einsatz zur Überschussschlammreduzierung direkt in der Belebung der Kläranlage sinnvoll sein.

Die Auswahl der eingesetzten Enzyme variiert dabei stärker, da zusätzlich Enzyme zur Anwendung gelangen, die die Dispergierung von nicht mischbaren Kohlenstoffverbindungen

(Öle, Fette) verbessern und die Lyse der Zellmembran (Enzymatische Desintegration) ermöglichen.

3.2.1. Ergebnisse

In derzeit andauernden praktischen Großversuchen konnte bereits nach einem Zeitraum von 1/2 Jahr die Verringerung des spezifischen Überschussschlammanfalls nachgewiesen werden. Die spezifische Überschussschlammproduktion wurde dabei in zwei Fällen um 22 bis 31 % verringert.

	Ausgangswert	Endwert
Anlage A	0,53 kg TS / kg CSB	0,365 kg TS / kg CSB
Anlage B	0,42 kg TS / kg CSB	0,330 kg TS / kg CSB

Die Versuche zur weitergehenden Optimierung dauern zur Zeit noch an.

3.3. Freischaltung von Anlagenkapazitäten

Die Zielsetzung zur Anwendung der Biokatalyse kann auch in der Schaffung von zusätzlichen Anlagekapazitäten in der Schlammfäulung liegen. Die Annahme und Verwertung von Co- Fermenten führt zur gewünschten Steigerung der Biogasproduktion, aber auch zu mehr Rest- TS, der kostenintensiv entwässert und entsorgt werden muss.

Wie das Beispiel der Kläranlage Moosburg zeigt (Diagramm 2), wurde die Abbauleistung zunächst von 31 auf ca. 50 % Trockensubstanzabbau gesteigert. Erst dann begann die Annahme von Co- Fermenten.

Obwohl die organische Raumbelastung und Biogasproduktion verdreifacht wurde, konnte der Wirkungsgrad der Schlammfäulung auf hohem Niveau (55 % TS- Abbau, Diagramm 2) gehalten werden.

3.4. Außerbetriebnahme von Faulbehältern

Auch die Außerbetriebnahme einzelner Faulbehältern kann eine Zielsetzung des Einsatzes von Celluform sein.

So konnten in den Kläranlagen Dormagen und Wesel jeweils ein Faulbehälter (von zwei in Reihe betriebenen Faulbehältern) außer Betrieb genommen werden. Mit dem verbleibenden Faulbehälter wurde eine höhere Biogasproduktion und ein höherer Trockensubstanzabbau erzielt als zuvor - ohne Celluformeinsatz -mit beiden Faulbehältern in der Summe.

3.5. Verbesserung des Sedimentationsverhaltens

Kläranlagen ohne eigene Schlammentwässerung lagern die anaerob stabilisierte Schlämme in Stapelbecken zwischen. Die Entwässerung wird häufig durch Lohnentwässerungsunternehmen durchgeführt.

Die wasserbindende, gelartige Struktur der EPS ist mit verantwortlich für schlechte Sedimentationseigenschaften des Faulschlammes. Gezielt werden hier Enzyme zur Verbesserung der Absetzeigenschaften eingesetzt. Viele Kläranlagen wurden so wieder in die Lage versetzt, Trübwasser abzuziehen, welches sich vorher nicht mehr oder schlecht bildete.

3.6. Erhöhung der Betriebssicherheit und Faulbehälterräumung

Durch den Eintrag von biologisch schwer abbaubaren (Papierfasern, Haare) und nicht abbaubaren (Kunststoffteile) Schlamminhaltsstoffen kann es innerhalb der Faulbehälter zum Aufbau von Schwimmdecken und/ oder Verzottungen kommen. Dabei bilden Haare und Kunststoffteile ein Konglomerat, welches durch die Faserbestandteile verdichtet wird. Verzottungen können dabei zu mehreren Meter großen Zöpfen „aufwachsen“, die erhebliche technische Probleme bereiten und deren Entfernung nur noch unter erheblichem Aufwand (Tauchereinsatz, Kran) erfolgen kann.



Foto 1: Herausgelöste Verzopfungen durch den Einsatz von Celluferm

Durch gezielte Auswahl der einzusetzenden Enzyme und Variieren der Anwendungskonzentration können diese Verzopfungen schonend aus dem Faulbehälter ausgetragen werden und eine Neubildung wird verhindert.

Verzopfungen und Fasermaterialien bilden meist auch das Fundament für mineralische Ablagerungen in Faulbehältern. Wird die Basis zerstört, werden auch diese ausgetragen, was sich in der Verringerung des Glühverlustes widerspiegelt.

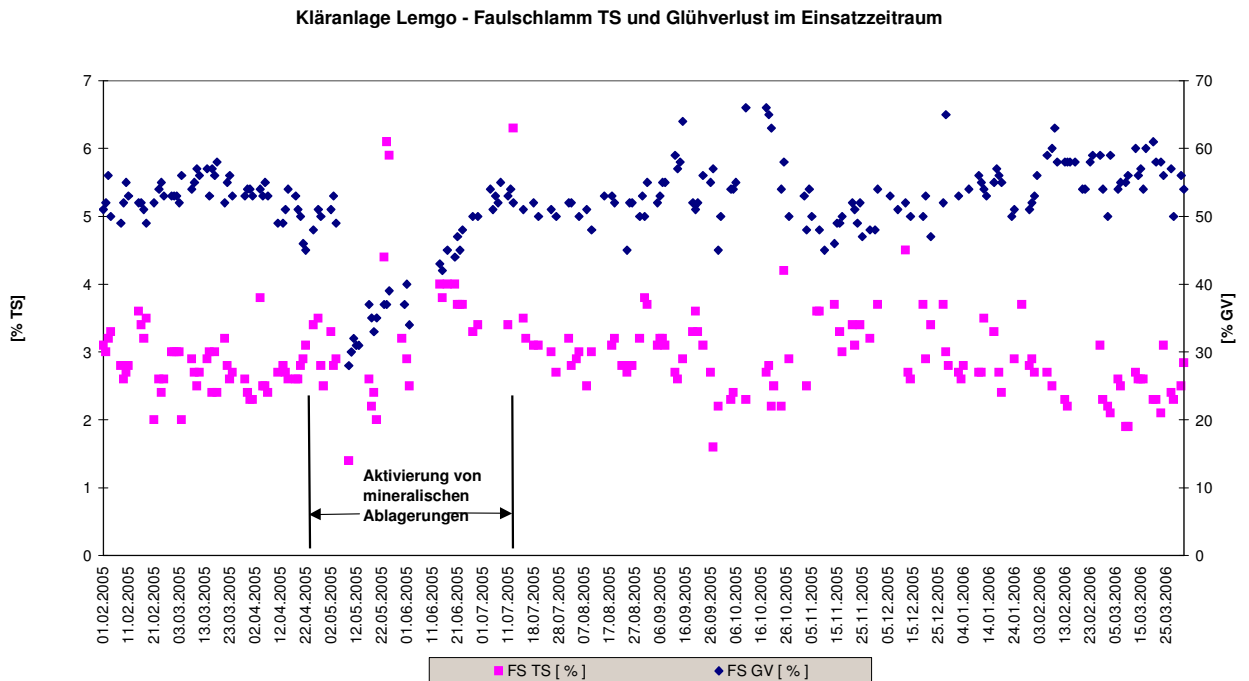


Diagramm 3: Faulschlamm TS und Glühverlust beim Austrag von mineralischen Ablagerungen

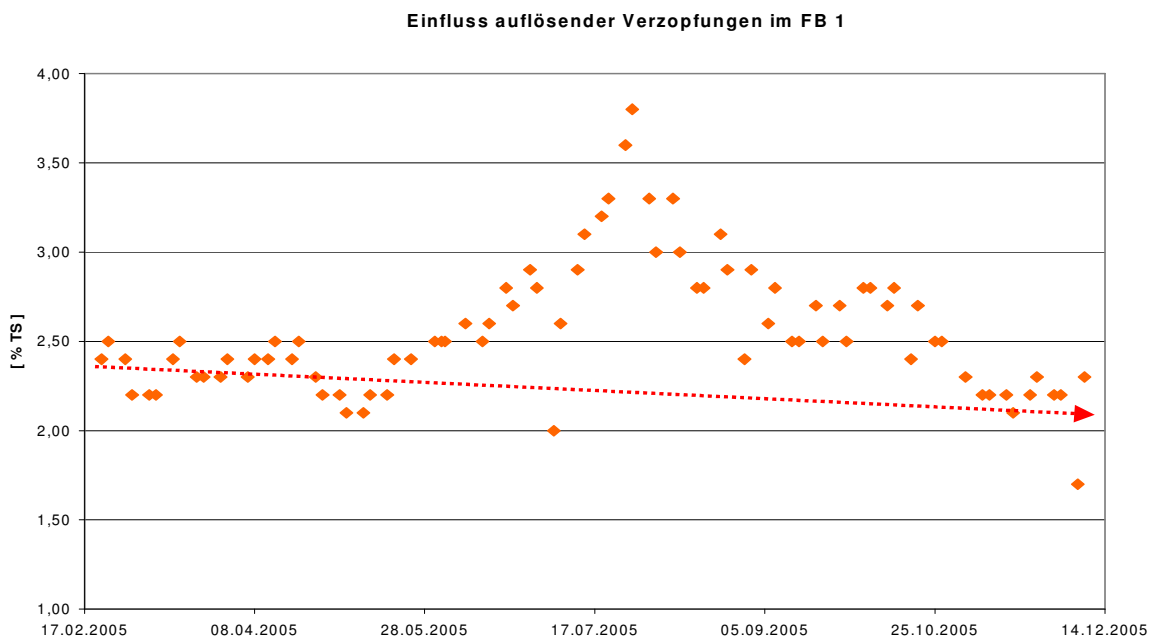


Diagramm 4: Charakteristischer Verlauf beim Austrag starker Ablagerungen

3.7. Cofermentation - Zuführung von Rechengut in die Schlammfäulung

Zur Vermeidung von Schwimmdecken und Verzopfungen in Faulbehältern, die erhebliche Betriebsprobleme bereiteten, wurden in den vergangenen Jahren die Rechenwerke immer feiner ausgelegt. Auch unterschiedliche mechanische Schneidwerkzeuge finden hierfür ihren Einsatz, z.B. zur Homogenisierung von Rohschlamm oder Faulschlamm (Umwälzleitung).

Das Rechengut selbst wird meist Kompostierwerken zum biologischen Abbau zugeführt. Vor dem Hintergrund der Möglichkeiten der enzymatischen Biokatalyse widersinnig, verfügt doch jede Kläranlage mit Faulbehältern über ausreichende Kapazitäten zur Verwertung des Rechenguts in der Schlammfäulung. Diese Kosten der Entsorgung können vermieden werden, ohne Risiko.



Foto 2: Rechenguteintrag der Kläranlage Rheinfelden binnen 4 Stunden

Eine unglückliche Konstruktion eines Rechenwerkes bewirkte in der Kläranlage Rheinfelden einen erheblichen Eintrag von Rechengut, zunächst in die Vorklärung und von dort in die Faulbehälter.

Das Foto zeigt den Fasermaterialeintrag nach Rechenwerk binnen 4 Stunden! Dieses Material gelangte in die Schlammfäulung (900 m³ Volumen) und führte dort zu erheblichen Problemen durch Bildung von Schwimmdecken im Faulbehälter und Verstopfungen der Umwälzpumpen. Mit Anwendung von Celluform wurde die vorhandene Schwimmdecke abgebaut und eine Neubildung unterbunden - d.h. das eingetragene Fasermaterial biologisch anaerob verstoffwechselt.

Dies führte zu Überlegungen, der Schlammfäulung gezielt Rechengut zuzuführen zu wollen.

Die Faulbehälter der Kläranlagen Langenhagen weisen eine durchschnittliche Faulzeit von 16 bis 18 Tagen auf. Weil in früherer Zeit eine starke Schwimmdeckenbildung in den Faulbehältern zu erheblichen Betriebsproblemen führte, wurde zusätzlich zum Rechenwerk eine

Rohschlammsiebung im Zulauf zur Schlammfäulung eingeführt. Circa ein Kubikmeter Fasermaterial wurde so täglich ausgesiebt, die einer externen Entsorgung zugeführt wurden.

Unter Einsatz von Celluform wurde die Rohschlammsiebung abgeschaltet und das Fasermaterial der Fäulung zugeführt. In dem noch laufenden Versuch konnte über einen Zeitraum von 4 Monaten hinweg kein erneuter Aufbau einer Schwimmdecke festgestellt werden. Wie erwartet wurde zusätzlich die Abbauleistung und Biogasproduktion gesteigert.

4. Nebenwirkungen

Rückbelastung der Kläranlage:	Nicht meßbar, selektive Reaktion.
Schlammmentwässerbarkeit:	Keine negativen Auswirkungen auf die Schlammmentwässerbarkeit. Geringere Maschinenlaufzeiten / Preßzeiten. Polymer braucht nicht umgestellt werden.
Trübwasserabzug:	Wesentlich verbesserter Trübwasserabzug
Schwimmdecken/ Verzottungen:	Vorhandene Schwimmdecken und Verzottungen werden in der Startphase aufgelöst und können vorübergehend das Rückspülen der Umwälzleitungen erforderlich machen. Neubildung von Zöpfen ist ausgeschlossen.

Die einzige wirkliche Betriebsstörung in Folge der Anwendung von Celluform bestand in der Auflösung einer Wellendichtung einer Kreiselpumpe (Stopfbuchse aus Cellulose), die zur Umwälzung der Faulbehälter eingesetzt wurde. Hierdurch wird die enorme Reaktivität lediglich verdeutlicht.

5. Literatur

- | | | |
|-----|---------------------------|---|
| [1] | Roediger, Roediger, Kapp: | Anaerobe alkalische Schlammfäulung
Oldenbourg Verlag München Wien |
| [2] | Schlegel. H.G.: | Allgemeine Mikrobiologie
Georg Thieme Verlag Stuttgart |
| [3] | Mudrack, Kunst: | Biologie der Abwasserreinigung
Gustav Fischer Verlag Stuttgart |
| [4] | Burbaum, Dickmann u.a. | Biokatalytische Verbesserung der
Klärschlammfäulung durch Enzyme
KA- Abwasser, Abfall, Nr. 8, S. 110 – 1119 |
| [5] | Uhlig. H | Enzyme arbeiten für uns
Carl Hanser Verlag München Wien |
| [6] | Strunkheide, Seibert | Biokatalysierte Schlammfäulung
wwt, 10/ 2005 |
| [7] | Schwarz, Eckehardt | Enzyme in der Schlammbehandlung
wwt, 1 - 2/ 2005 |

