

Steigerung der Biogasproduktion

# Einsatz von Tensiden und Hochspannung

Dipl.-Ing. Kirsten SÖLTER; Albert REGIERT; Dr.-Ing. Jörg STRUNKHEIDE

Auf der Kläranlage Landshut wird die Wirkung von Tensiden und elektrischer Hochspannung auf die Zellmembran von Klärschlämmen untersucht.

**T**enside zeigen im Zusammenhang mit biologischen Systemen Wechselwirkungen mit Membranen, Proteinen und Enzymen.

## Die Wirkung von Tensiden

Durch Adsorption bzw. Komplexbildung verändern Tenside diese Strukturen bzw. Zell- und Gewebsbestandteile. Tenside können je nach Art und Wirkkonzentration Zellmembranen durchlässiger machen bis gänzlich auflösen und Enzymwirkungen beschleunigen oder Enzyme deaktivieren. Diese Wirkungen können reversibel oder irreversibel sein. Die beim vorliegenden TESI<sup>+</sup>-Verfahren eingesetzte Tensidlösung (Lipisol<sup>®</sup>D) ist eine Mischung aus nichtionischen Tensiden. Die enthaltenen Tenside sind „leicht biologisch abbaubar“ (gemäß OECD 301 A-F) und werden im Faulturm nach erfolgter Wirkung vollständig abgebaut. Werden die im Überschuss-Schlamm enthaltenen Abwasserbakterien mit dem Lipisol<sup>®</sup>D beaufschlagt, dann verändern sich die Eigenschaften der Zellmembran infolge der Einlagerung der Tensidmoleküle bezüglich Permeabilität und Stabilität deutlich. Allein durch die Tensidzugabe ist mit einem verbesserten Aufschluss der Überschuss-Schlamm-Zellen im Faulturm zu rechnen. Dieser Effekt kann jedoch durch eine nachgeschaltete, vor allem auf die Stabilität der Zellmem-

bran wirkende Hochspannungs-Desintegrationsanlage deutlich verstärkt werden. Es sind jedoch auch Kombinationen mit anderen Desintegrationsverfahren denkbar.

## Wirkung von elektrischer Hochspannung

Elektrische Felder finden in der modernen Biotechnologie breite Anwendung. Die Grundlagenforschung beschäftigt sich mit den biophysikalischen und biochemischen Auswirkungen elektrischer Felder (Wechsel- und Gleichstromfelder) auf Zellen und Gewebe. In der Biotechnologie ist das Verfahren der Elektroporation zur Einschleusung fremder Erbsubstanz in Bakterien- oder Pflanzenzellen weit verbreitet. Mit Hilfe eines elektrischen Feldes (> 10.000 V) ist es möglich, die Zellmembran von Zellen stark zu verformen. Übersteigt die Verformung die elastische Widerstandskraft der Membran /1/ /2/, kommt es zur Bildung einer Pore (Bild 1). In Abhängigkeit von der Art und Stärke des elektrischen Feldes ist diese Pore in der Zellmembran klein und reversibel, so dass nach kurzfristiger Einschleusung fremden Erbmaterials ein Weiterleben der Zelle möglich ist oder es entsteht eine irreversible größere Pore, die zur Zerstörung der Zellmembran und dadurch zum Absterben der Zelle führt. Die Elektro-

poration wird bisher hauptsächlich im Labor zur Manipulation von Zellen zwecks Beeinflussung deren Erbsubstanz genutzt. Die gezielte Zerstörung von Zellen durch das Anlegen elektrischer Felder findet jedoch auch zunehmende technische Bedeutung. So gibt es bereits Elektroporationsgeräte zur Haltbarmachung von Lebensmitteln oder zur Desinfektion von Trink- oder Schwimmbadwasser, zur Entkeimung von Luft oder zur Entfernung bzw. Vermeidung von Biofilmen. Auch die Desintegration von Überschuss-Schlamm mit Hilfe der Elektroporation wurde bereits untersucht /2/. Die Ergebnisse waren jedoch aufgrund des hohen spezifischen Energiebedarfs bislang nicht zufrieden stellend.

## Versuchsziele auf dem Klärwerk Landshut

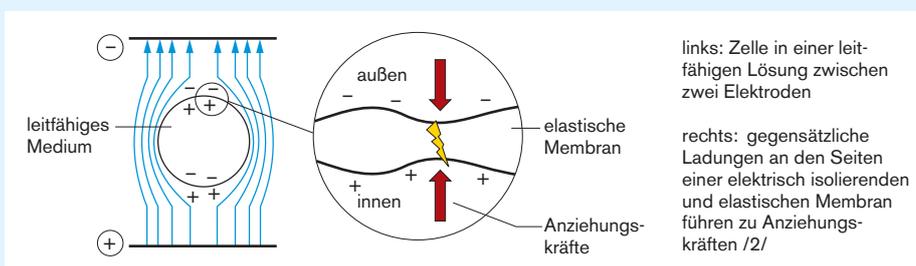
Die auf dem Klärwerk Landshut durchgeführten Untersuchungen gliederten sich in zwei Versuchsabschnitte (siehe Tabelle 1):

Im ersten Versuchsabschnitt (Versuchsphase 1) waren zwei Fragen zu beantworten:

■ Ist mit Hilfe der Hochspannungsdesintegration allein eine Reduktion des spezifischen Faulschlammfalls bezogen auf die dem Faulturm zugeführten Frachten und damit eine Reduktion des zu entsorgenden Klärschlammes möglich? Eine nachteilige Beeinträchtigung des Faulturm- und des übrigen Kläranlagenbetriebes sollte ausgeschlossen werden.

■ Lässt sich eine Erhöhung des spezifischen Gasanfalls bezogen auf die dem Faulturm zugeführten Frachten erreichen?

Die Ergebnisse des ersten Versuchsabschnitts waren so gut, dass der Betreiber die Hochspannungs-Desintegrationsan-



VERFAHRENSCHEMA: Mechanismen der Elektroporation

Bild 1



Faulbehälter der Kläranlage Landshut

Bild 2

lage weiter durchführte. Im zweiten Versuchsabschnitt wurde die Hochspannungsdesintegration mit einer Tensidzugabe mit zwei unterschiedlichen Tensiddosierungen (Versuchsphase 2 und 3) kombiniert, um die oben beschriebenen Effekte zu intensivieren.

### Verfahrensprozesse des Klärwerks Landshut

Das Klärwerk Landshut besitzt eine zweistufige mechanisch-biologische Verfahrenstechnik. Das Abwasser durchläuft zunächst:

- eine Rechenanlage mit Rechengutpresse
- einen belüfteten Sand- und Fettfang und gelangt danach in eine vorgeschaltete Hochlastbiologie (Schlammalter: 2 bis 4 Tage) mit
- 4 nachgeschalteten Zwischenklärbecken und
- 4 nachfolgenden Schwachlast-Tropfkörpern und
- 4 Nachklärbecken.

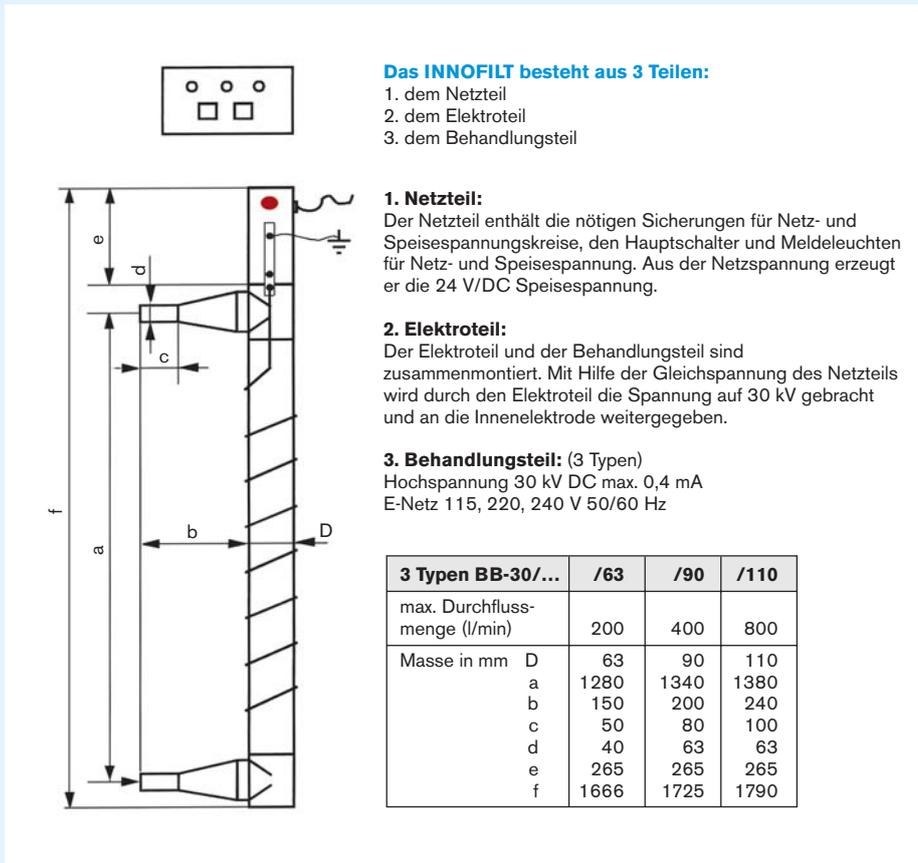
Die ehemalige Vorklärung wurde zu einer vorgeschalteten Denitrifikationsstufe umgebaut. Der maschinell einge-

dichte Überschuss-Schlamm der Hochlastbiologie und der Tropfkörperschlamm wurden in einer Referenz- und Versuchsphase in einem der beiden vorhandenen Faultürme (4.950 m<sup>3</sup>) ausgefault und danach mittels zweier Zentrifugen entwässert. Vor und nach dem Faulturm befinden sich jeweils 2 Voreindicker und 2 Nacheindicker. Die Behandlung der Zentrat- und Trübwässer erfolgt separat biologisch mit Hilfe des Terra-N-Verfahrens, das in Zusammenarbeit mit der Firma Süddechemie entwickelt wurde. Das anfallende Gas wird in einem Trocken-

#### Aufteilung der Untersuchungsphasen

Tab. 1

Untersuchungsphase	Bezeichnung	Zeitraum	Dauer/Monate	EW-Belastung	Bemerkungen
Referenzzeitraum	R	Feb. - Aug. 2005	7	108.057	Schlachthofschlamm ab Februar 2005
Versuchsphase 1: DESI ohne Tenside	V 1	Sep. 05 - Mai 06	9	105.820	Mischer im Faulturm defekt; keine Auswertung
		Juni 06 - Dez. 06	7	114.629	
Versuchsphase 2: DESI mit Tensiden (200 g/t TS)	V 2	Jan. 07 - Sep. 07	9	119.650	Schlachthofschlamm bis April 2007
Versuchsphase 3: DESI mit Tensiden (400 g/t TS)	V 3	Okt. 07 - Mai 08	8	118.552	kein Schlachthofschlamm



**Das INNOFILT besteht aus 3 Teilen:**

1. dem Netzteil
2. dem Elektroteil
3. dem Behandlungsteil

**1. Netzteil:**

Der Netzteil enthält die nötigen Sicherungen für Netz- und Speisespannungskreise, den Hauptschalter und Meldeleuchten für Netz- und Speisespannung. Aus der Netzspannung erzeugt er die 24 V/DC Speisespannung.

**2. Elektroteil:**

Der Elektroteil und der Behandlungsteil sind zusammenmontiert. Mit Hilfe der Gleichspannung des Netzteils wird durch den Elektroteil die Spannung auf 30 kV gebracht und an die Innenelektrode weitergegeben.

**3. Behandlungsteil: (3 Typen)**

Hochspannung 30 kV DC max. 0,4 mA  
E-Netz 115, 220, 240 V 50/60 Hz

3 Typen BB-30/...		/63	/90	/110
max. Durchflussmenge (l/min)	D	200	400	800
Masse in mm	D	63	90	110
	a	1280	1340	1380
	b	150	200	240
	c	50	80	100
	d	40	63	63
	e	265	265	265
f	1666	1725	1790	

**Aufbau eines Innofilt-Gerätes**

**Bild 3**

gasbehälter zwischengelagert und mittels dreier Gasmotoren unter Nutzung der Abwärme zu Strom umgewandelt.

**Einbindung der Hochspannungsgeräte und der Tensid-Dosierung**

**Hochspannungsgeräte**

Für die Versuche wurden 4 INNO-DESI 110/70 Geräte der Firma Innovum, Höchst (Österreich) in Edelstahlausführung mit Steuergerät zur Variation von Spannung und Stromstärke hintereinander geschaltet (Bild 3). Jedes Gerät erzeugt eine Gleichspannung bis zu 30.000 V. Die 4 Innofilt-Geräte installierte man in Reihe in die Leitung, durch die der eingedickte Überschuss-Schlamm in den Faulturm gelangt. Den Innofilt-Geräten war ein Mazerator vorgeschaltet, um Verstopfungen zu vermeiden. Der eingedickte Überschuss-Schlamm wurde 3 bis 4 Mal (je nach Anfall) durch den Mazerator und die Innofilt-Geräte gepumpt, bevor er in den Faulturm eingebracht wurde. Vor dem Mazerator, nach dem Mazerator und nach den Innofilt-Geräten befinden sich Probeentnahmehähne (Bilder 4 und 5).

**Tensidzugabe**

Die Zugabe der Tenside (Fa. Bioserve GmbH, Mainz) erfolgte im Gegensatz zu

der elektrischen Behandlung nur einmal vor dem Eintritt in die Überschuss-Schlammmeindickung (Dekanter).

Ziel der Tensidzugabe war eine weitere Steigerung der bereits mit den Innofilt-Geräten erreichten Desintegrationseffekte (Bilder 6 und 7).

**Versuchsablauf**

Der großtechnische Versuch zur Überschuss-Schlamm-Desintegration startete am 5.9.2005. Als Referenzzeitraum (R) dienten die Monate Februar bis August

2005 (7 Monate), da ab Februar 2005 Schlachthofschlamm mit ca. 90 % GV (org. Anteil) angenommen wurde. Zusätzlich zum Schlachthofschlamm werden regelmäßig aerob stabilisierte Schlämme von benachbarten Kläranlagen angenommen und in den Faulturm gegeben. Die Betriebsdaten des Referenzzeitraums wurden den Betriebsergebnissen der Monate September 2005 bis Mai 2006 (Versuchsphase 1) gegenüber gestellt, in denen die Hochspannungsdesintegration allein in Betrieb war.

Von Juni bis Dezember 2006 gab es Betriebsprobleme im betriebenen Faulturm (defekter Mischer), so dass die Faultürme gewechselt werden mussten. Die Betriebsdaten dieser Übergangszeit wurden im Folgenden nicht einbezogen, da sie nicht repräsentativ waren.

Ab Januar 2007 wurde die oben beschriebene Hochspannungsdesintegration mit Tensidzugabe auf den Überschuss-Schlamm (Dünnschlamm vor der maschinellen Überschuss-Schlammmeindickung (Dekanter) kombiniert. Die Zugabemenge betrug in

■ Versuchsphase 2 (Januar 2007 bis September 2007): ca. 200 ppm und in

■ Versuchsphase 3 (ab Oktober 2007): ca. 400 ppm bezogen auf die Schlamm-trockenmasse.

Die absoluten Tensid-Mengen betrugen 1,7 bzw. 3,4 Liter Konzentrat pro Tag.

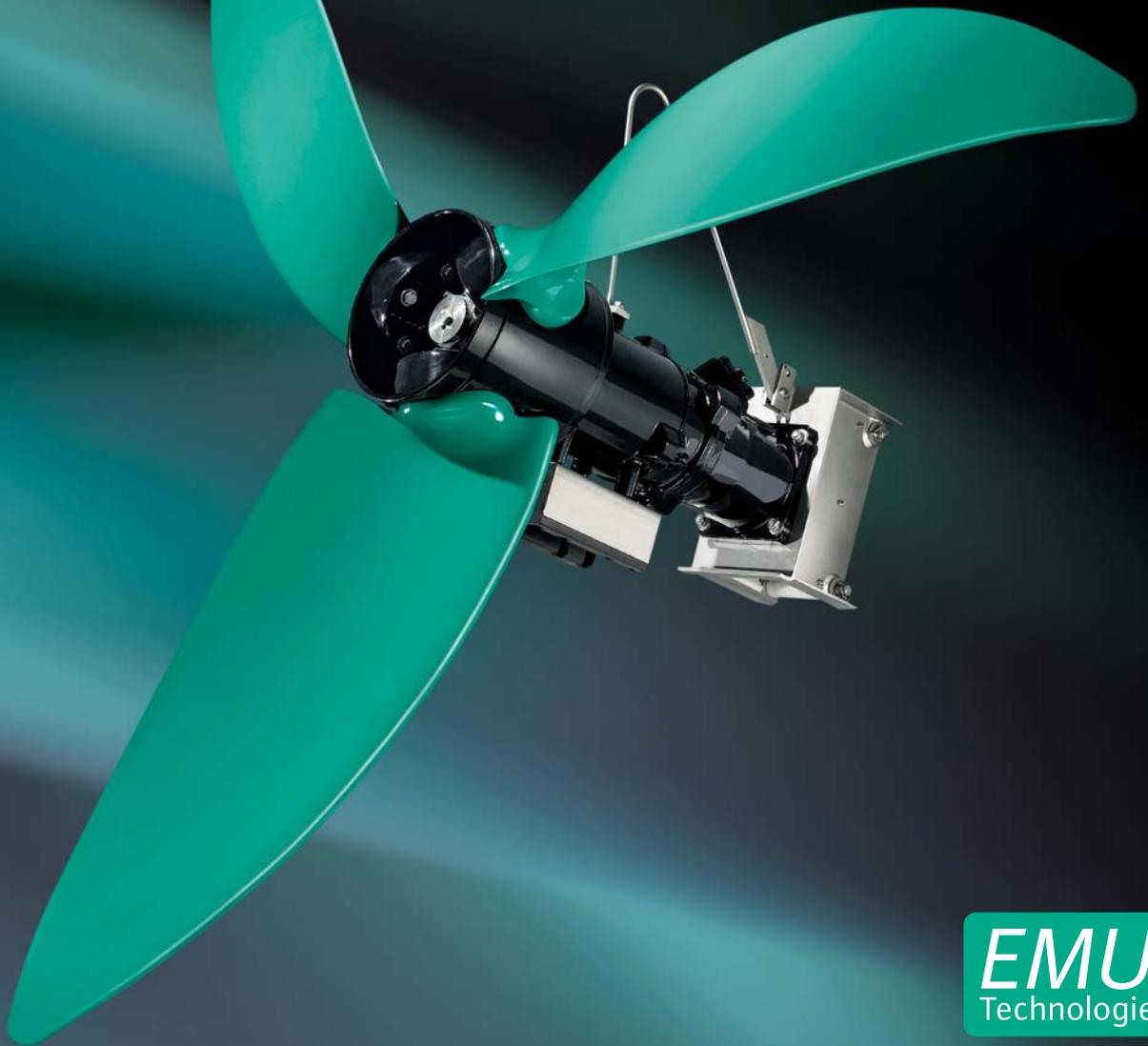
**Anmerkung:** Sowohl im Referenz- als auch in allen Versuchszeiträumen wurden bei der Betrachtung der Schlamm- und Gasmengen nach dem Faulturm jeweils die ersten beiden Monate ausgeklammert, da sich grundsätzlich alle Änderungen vor dem Faulturm frühestens nach zweimonatiger Verzögerung nach dem Faulturm vollständig auswirken können.



**HOCHSPANNUNGS-DESINTEGRATIONSANLAGE: mit vier hintereinander geschalteten Elektroden**

**Bild 4**

# Hocheffiziente Tauchrührwerke. Made by Wilo. Bis zu 10 % Energiekosteneinsparung. Neueste Generation.



**EMU**  
Technologie

*Wilo-EMU Megaprop TR 326.*

Wilo präsentiert seine neueste und effizienteste Rührwerksgeneration. Dank innovativer Flügel-  
form und Propellerdurchmesser von 2,60 m erreichen unsere langsam laufenden Rührwerke  
beste Schubwerte bei günstigster Leistungsziffer (ISO 21630). Die Schubleistungsziffer erlaubt  
Ihnen erstmalig den objektiven Vergleich mit gleichwertigen Tauchmotorrührwerken. Das  
Ergebnis: bis zu 10 % geringere Energiekosten. Eine Umrüstung amortisiert sich so innerhalb  
kürzester Zeit. Extrem belastbare einteilige GFK-Laminatflügel gewährleisten längste  
Einsatzdauer bei minimalen Wartungskosten.

Megastark? Wir nennen das Pumpen Intelligenz.

[www.wilo.de](http://www.wilo.de)



**WILO**  
Pumpen Intelligenz.

## Messprogramm

Alle notwendigen Untersuchungen wurden im Labor der KA Landshut durchgeführt. Die im Labor der Kläranlage durchzuführende Analytik sollte bezüglich der Messhäufigkeit das „Routineprogramm“ nur geringfügig überschreiten (Tabelle 2).

## Ergebnisse

### Zulaufbelastung in den Referenz- und Versuchsphasen

Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung der ermittelten Zulaufmengen in der Referenzphase und in den Versuchsphasen. Die Fracht-Belastung des Klärwerks Landshut bezüglich BSB<sub>5</sub> war in Versuchsphase 2 und 3 um ca. 10 % höher als im Referenzzeitraum. Die Belastung mit TOC, P und Stickstoff blieb dagegen im Rahmen normaler Schwankungen unverändert.

her als im Referenzzeitraum. Die Belastung mit TOC, P und Stickstoff blieb dagegen im Rahmen normaler Schwankungen unverändert.

### Spezifischer Rohschlamm-anfall (= Überschuss-Schlamm-anfall)

Tabelle 4 zeigt eine Gegenüberstellung des spezifischen Rohschlamm-anfalls im Referenzzeitraum und in den Versuchsphasen. Der Rohschlamm entspricht beim Klärwerk Landshut dem Überschuss-Schlamm und stammt aus der Hochlastbelegung. Der Schlamm-anfall der Tropfkörper ist vernachlässigbar gering. Der spezifische Rohschlamm-anfall ohne Fremdschlämme war in den Versuchszeiträumen gegenüber dem Referenz-

zeitraum weitgehend unverändert. Bei einem Faulraumvolumen von 4.950 m<sup>3</sup> betrug die mittlere Verweilzeit im Faulraum 26 bis 31 Tage.

### Faulturmbeschickung

Eine Gegenüberstellung der Faulturmbeschickung (TR und oTR) im Referenzzeitraum und in den Versuchsphasen ist in Tabelle 5 aufbereitet. Der Faulturm wurde in den Versuchszeiträumen insgesamt mit einer geringeren Belastung gefahren als im Referenzzeitraum. In den Versuchszeiträumen wurden dem Faulturm im Mittel 276 t TR/Monat zugeführt, im Referenzzeitraum dagegen ca. 306 t TR/Monat. Das sind durchgehend ca. 30 t TR/ Monat bzw. ca. 10 % weniger als im Referenzzeitraum.

### Ausfauhrate

Tabelle 6 zeigt eine Gegenüberstellung der Faulschlammbeschickung (TR und oTR) und der entsorgten Klärschlamm-masse (TR und oTR) im Referenzzeitraum und in den Versuchszeiträumen sowie die Berechnung der jeweiligen Ausfauhrate: Bei der Auswertung der Daten nach dem Faulturm wurden die jeweils ersten beiden Monate der Versuchszeiträume ausgeklammert. Tabelle 6 zeigt, dass allein mit der Hochspannungsdesintegration eine deutliche Steigerung der Ausfauhrate möglich ist. Bei Kombination mit einer Tensiddosierung

Messprogramm		Tab. 2
Parameter	Häufigkeit	
Abwasser- und Schlamm-mengen; Gasanfall, Stromerzeugung und sonstige Verbrauchs- und Betriebsdaten	online	
TR- und oTR-Gehalt (Glühverlust bei 550 °C) in allen Schlammteilströmen	werktätlich; oTR: wöchentlich	
pH-Wert, TOC, Ges.-N., Kalkreserve und org. Säuren im Faulwasser nach vorheriger Filtration des Faulschlammes über Faltenfilter	2 x wöchentlich	
TOC und Ges.-N im Schlammwasser nach Tensidzugabe und Innofilt-Geräten	1-2 x wöchentlich	
Zulaufkonzentrationen: BSB <sub>5</sub> , TOC, (CSB), Ges.-N und Ges.-P	täglich	
Ablaufqualität	nach EKVO	

Zulaufbelastung, errechnet auf der Basis täglicher 24-h-Mischproben						Tab. 3
Zeitraum	Q <sub>d</sub> (Zulauf)	BSB <sub>5</sub> -Fracht	TOC-Fracht	N <sub>ges.</sub> -Fracht	P <sub>ges.</sub> -Fracht	
	m <sup>3</sup> /Monat	t/Monat	t/Monat	t/Monat	t/Monat	
R	1.314.200	196,4	143,4	31,7	6,6	
V 1	2.276.667	192,6	138,8	34,7	6,7	
V 2	1.133.567	217,6	148,5	33,8	6,9	
V 3	1.166.850	216,7	134,7	32,1	7,0	

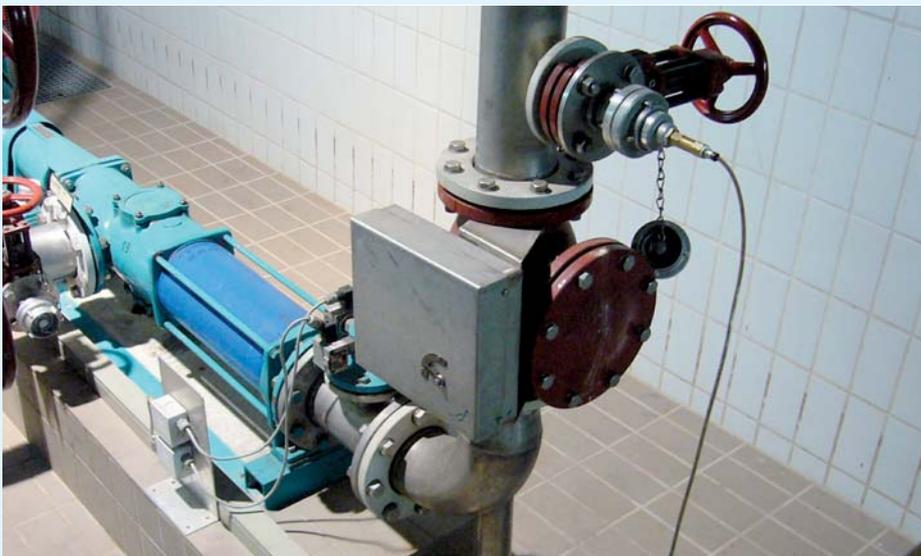
spezifischer Rohschlamm-anfall, ohne Fremdschlämme						Tab. 4
Zeitraum	Rohschlammvolumen	Rohschlamm-TR-Gehalt	Rohschlamm-masse	TOC-Fracht abgebaut	spez. Rohschlamm-anfall	
	m <sup>3</sup> /Monat	% TR	t TR/Monat	t TOC/Monat	t TR/t TOC	
R	4.785	5,7	275	129,9	2,1	
V 1	4.933	5,1	249	123,4	2,0	
V 2	4.254	5,1	260	136,0	1,9	
V 3	4.790	5,6	267	122,0	2,2	

Faulturmbeschickung								Tab. 5
	Rohschlamm KA Landshut		Schlachthofschlamm		externe Schlämme von weiteren KA		Rohschlamm gesamt	
	t	t	t	t	t	t	t	t
	TR/Monat	oTR/Monat	TR/Monat	oTR/Monat	TR/Monat	oTR/Monat	TR/Monat	oTR/Monat
R	275	197,5	17,8	16,1	13,0	7,2	305,6	220,8
V 1	249	183,2	21,3	19,2	5,9	3,2	276,2	205,6
V 2	260	188,7	7,7	6,9	9,1	5,0	277,1	200,6
V 3	267	189,5	0,0	0,0	7,7	4,3	274,3	193,7



**MAZERATOR UND PUMPE:**  
vor der Hochspannungs-Desintegrationsanlage zur Beschickung  
des Faulturmes mit Überschuss-Schlamm

Bild 5



**ZUGABE DER TENSIDLÖSUNG:** vor den Beschickungspumpen  
der maschinellen Überschuss-Schlammverdickung (Dekanter)

Bild 6



**FÜR DIE TENSIDLÖSUNG:** Vorratsbehälter und Dosierpumpe

Bild 7

Passavant

Ausfauhrate im Faultrum								Tab. 6
Zeitraum	Rohschlamm		entsorgte Klärschlamm-masse		Ausfauhrate		Glühverlust im Faulschlamm	
	t TR/Monat	t oTR/Monat	t TR/Monat	t oTR/Monat	% bez. auf TR	% bez. auf oTR	%	
R	305,6	220,8	185,8	100,1	39,2	54,7	53,9	
V 1	276,2	205,6	152,2	85,8	44,9	58,3	56,4	
V 2	277,1	200,6	154,8	84,2	44,1	58,0	54,3	
V 3	274,3	193,7	143,7	76,4	47,6	60,6	53,2	

entsorgte Klärschlamm(KS-)Masse					Tab. 7
Zeitraum	entsorgte Klärschlamm-menge		TR-Gehalt des entsorgten Klärschlamm-s	entsorgte Klärschlamm-masse	
	t entw. KS/Monat		% TR (GV)	t TR/Monat	t oTR/Monat
R	680		27,3	185,8	100,1
V 1	580		26,3	152,2	85,8
V 2	565		27,3	154,8	84,2
V 3	527		27,3	143,7	76,4

spezifischer Gasanfall				Tab. 8
Zeitraum	Beschickung Faultrum mit org. Masse		Gasanfall	spez. Gasanfall
	t oTR/Monat		m <sup>3</sup> /Monat	m <sup>3</sup> /t oTR <sub>zugeführt</sub>
R	220,8		86.980	394
V 1	205,6		89.822	437
V 2	200,6		82.877	413
V 3	193,7		98.902	510

spezifischer Gasanfall bezogen auf die abgebaute organische Masse						Tab. 9
Zeitraum	Beschickung Faultrum mit org. Masse	org. Masse nach dem Faultrum	im Faultrum abgebaute org. Masse	Gasanfall	spez. Gasanfall	
	t oTR/Monat	t oTR/Monat	t oTR/Monat	m <sup>3</sup> /Monat	m <sup>3</sup> /t oTR <sub>abgebaut</sub>	
R	220,8	100,1	120,7	86.980	721	
V 1	205,6	85,8	119,8	89.822	750	
V 2	200,6	84,2	116,4	82.877	712	
V 3	193,7	76,4	117,3	98.902	843	

Flockungshilfsmittel(FHM-)Verbrauch bezogen auf die zu entwässernde Schlamm-menge				Tab. 10
Zeitraum	FHM-Verbrauch	Schlamm-menge zur Entwässerung	spez. FHM-Verbrauch	
	kg/Monat	m <sup>3</sup> /Monat	g/ m <sup>3</sup>	
R	451	5.446	82,8	
V 1	378	5.605	67,4	
V 2	326	4.758	68,5	
V 3	348	5.092	68,3	

im Bereich von 400 ppm (Versuchsphase 3) werden jedoch die besten Ergebnisse erzielt.

### Entsorgte Klärschlamm-masse

Tabelle 7 zeigt eine Gegenüberstellung der entsorgten Klärschlamm-masse (TR und oTR) im Referenzzeitraum und in den Versuchszeiträumen. Bei der Auswertung der Daten wurden die jeweils ersten beiden Monate ausgeklammert. Die entsorgte Klärschlamm-menge war in Versuchsphase 1 um 100 t in Versuchsphase 2 um 115 t in Versuchsphase 3 um 153 t entwässertem Klärschlamm/Monat geringer als im Referenzzeitraum. Das ent-

spricht für Versuchsphase 3 einem Rückgang um 22,5 %.

In den Versuchszeiträumen wurden im Mittel 30 t TR weniger als im Referenzzeitraum in den Faultrum überführt. Die Ausfauhrate im Referenzzeitraum betrug 39,2 %, der TR-Gehalt nach der Entwässerung 27,3 %. Demnach wären auch ohne Tenside und Hochspannungs-desintegration (30\*0,608 =) 18,2 t TR weniger angefallen. Das entspricht (18,2/0,273 =) ca. 67 t entwässertem Klärschlamm.

Somit ist bei der zu entsorgenden Klärschlamm-masse von einem Basiswert von 613 t entwässertem Klärschlamm auszugehen. Demzufolge war die entsorgte

Klärschlamm-menge bei gleichzeitig reduzierter Faultrum-beschickung

- in Versuchsphase 1 um 33 t
- in Versuchsphase 2 um 48 t
- in Versuchsphase 3 um 86 t entwässertem Klärschlamm/Monat geringer als im Referenzzeitraum. Das entspricht für Versuchsphase 3 einem Rückgang um 14 % bezogen auf den Referenzwert von 613 t entwässertem Klärschlamm/Monat.

### Spezifischer Gasanfall bezogen auf die Faultrum-beschickung

Tabelle 8 zeigt eine Gegenüberstellung des spezifischen Gasanfalls bezogen auf

**Jahreskosten der Desintegrationsanlage, Hochspannung und Tenside** Tab. 11

Position	Kosten in €/a
Abschreibung (10 Jahre)	10.000
Kapitaldienst (6 %)	6.000
Wartung/Reparatur (5 %)	5.000
Personal (4 Mh/Monat zu 35 €/h)	1.680
Strom	1.500
Tenside	14.892
<b>Summe</b>	<b>39.072</b>

die dem Faulturn zugewehrten Schlamm-massen im Referenzzeitraum und in den Versuchszeiträumen.

Der spezifische Gasanfall bezogen auf die Beschickung des Faulturnes mit organi-scher Masse war in Versuchsphase 3 um 116 m<sup>3</sup>/t oTR höher (+ 29 %) als im Refe-renzzeitraum. Das ist besonders hinsicht-lich des Wegfalls der Schlachthofschläm-me in diesem Zeitraum erstaunlich.

**Spezifischer Gasanfall bezogen auf die abgebaute organische Masse**

Eine Gegenüberstellung des spezifischen Gasanfalls bezogen auf die abgebaute organische Masse im Referenzzeitraum und in den Versuchszeiträumen bildet Tabelle 9 ab.

Der spezifische Gasanfall bezogen auf die abgebaute organische Masse ist in Versuchsphase 3 um 122 m<sup>3</sup>/t oTR<sub>abgeb.</sub> angestiegen. Das sind 16,9 % mehr als im Referenzzeitraum.

**Flockungshilfsmittelverbrauch**

Der Verbrauch an Flockungshilfsmitteln bezogen auf die entwässerte Schlamm-menge ist im gesamten Versuchszeitraum im Mittel um 17,8 % gesunken.

Aufgrund der übereinstimmenden Men-gen in allen drei Versuchszeiträumen ist davon auszugehen, dass die Reduktion des FHM-Verbrauchs auf die Hochspan-nungsdesintegration zurückzuführen ist. Mit Hilfe der Kombination von Tensid-zugabe und Hochspannungsdesintegra-tion konnte erreicht werden, dass

- die zu entsorgende entwässerte Klär-schlammmenge monatlich um 14 % bzw. 86 t gesunken ist
- der spezifische FHM-Verbrauch um 14,7 g/m<sup>3</sup> bzw. 17,8 % zurückgegangen ist und

■ der spezifische Gasanfall bezogen auf die abgebaute organische Masse im Faulturn um 122 m<sup>3</sup> bzw. 16,9 % ange-stiegen ist (Tabelle 10).

**Wirtschaftlichkeits-betrachtung**

Für die gesamte Desintegrationsanlage (Hochspannungsdesintegration, Pumpe und Mazerator, Verrohrung) ist eine In-vestitionssumme von ca. 100.000 € ange-fallen. Bei einem Abschreibungszeitraum von 10 Jahren ergeben sich die jährli-chen Kosten gemäß Tabelle 11.

Der Stromverbrauch ist mit maximal 60 W pro Innofilt-Gerät vernachlässig-bar gering. Die monatliche Einsparung an zu entsorgendem Klärschlamm auf-grund der Kombination der Tensidzu-gabe mit der Hochspannungsdesinte-gration beträgt 86 t entwässertem Klär-schlamm/Monat bzw. ca. 1.032 86 t ent-wässertem Klärschlamm/a. Bei einem Entsorgungspreis von 63 €/t 86 t entwäs-ertem Klärschlamm ergeben sich für den Betreiber jährliche Einsparungen in Höhe von 65.016 €/a.

Dazu kommt eine deutlich höhere spezi-fische Gasproduktion. Bezogen auf die in Versuchsphase 3 im Faulturn abge-baute organische Masse in Höhe von monatlich 117,3 t oTR<sub>abgebaut</sub> sind 122 m<sup>3</sup>/t oTR<sub>abgebaut</sub> mehr an Gas angefallen. Das sind (117,3\*122\*12=) ca. 171.727 m<sup>3</sup> Gas pro Jahr mehr. Der Energiegehalt des Faulgases beträgt 6,4 kWh/m<sup>3</sup>/5/; der elektr. Wirkungsgrad eines BHKW ge-wöhnlich ca. 30 %. Somit werden mit 171.727 m<sup>3</sup> Faulgas pro Jahr (6,4\*171.727\*0,3=) 329.716 kWh an Strom er-zeugt, die bis Ende 2007 mit 7,5 Cent/kWh vergütet wurden. Somit beträgt der zusätzliche Erlös durch den erhöhten Gasanfall (329.716\*0,075=) 24.729 €/a.

Dazu kommen noch Einsparungen durch Reduktion des Flockungshilfsmittelver-brauchs.

Das Einsparpotenzial beträgt somit (65.016+24.729 =) **89.745 €/a**. Abzüglich der Kosten für die Hochspannungsdes-integration, die Tensidzugabe und die monatliche Datenanalyse incl. Vor-Ort-Service in Höhe von 39.072 €/Jahr verblei-ben dem Betreiber jährlich ca. **50.673 €**. Nachteilige Effekte auf den Kläranla-gen- und den Faulturnbetrieb sowie auf die Prozesswasserbehandlungsanlage (Terra-N-Verfahren) konnten nicht fest-gestellt werden. Es wird daher empfoh-len, das Kombinationsverfahren mit 400 ppm Tensiden auch künftig weiter zu betreiben.

**Ausblick**

Um die Desintegrationsleistung noch wei-ter zu intensivieren, wird eine Fortfüh-rung der Versuche notwendig sein. Auf-grund des wissenschaftlichen Kenntnis-standes ist die Zugabe von in Bezug auf die Zellmembranperforation noch „ag-gressiveren“ Tensiden geplant, um den Feststoffabbau und den Biogasertrag noch weiter zu steigern. Hierüber wird zu gegebener Zeit berichtet.

**LITERATUR**

- /1/ Zimmermann, U. et. al.: Electromanipulation of cells CRC Press, London, 1996
- /2/ Kopplov, O. et.al.: Vorbehandlung von Überschuss-Schlamm durch Elektroporation. In: Chemie Inge-nieur Technik, Heft 76, 2004, Seite 317-321
- /3/ Nickel, K.; Neis, U.: Klärschlamm-desintegration – Überblick über verschiedene Verfahren. Internet-seite der TU Hamburg-Harburg
- /4/ Lehne, G.: Parameter der mechanischen Desintegration von Überschussschlämmen. Dissertation, TU Braunschweig, 2000, S.35 ff
- /5/ Nellenschulte, Th.: Kostenreduzierung für Kommu-nen und Verbände durch effiziente Erzeugung und Verwertung von Faulgas als Primärenergie sowie Reduzierung der Faulschlammmenge, Teilprojekt: Betrieb von Blockheizkraftwerken, 2003, S. 13

**KONTAKT**

**Albert REGIERT**  
 Stadtwerke Landshut  
 Dirnau 2 · 84036 Landshut  
 Tel.: 08707/939897

EAZ Biogas – aus Archiv