

Betriebserfahrungen mit der thermischen Schlamm-Desintegration auf der Kläranlage Lingen/Ems

Ulrich Knörle (Ravensburg), Marianne Buchmüller (Grafenhausen) und Laurenz Hüer (Lingen/Ems)

Zusammenfassung

Auf der Kläranlage Lingen/Ems wird im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekts ein neues Verfahren zur thermischen Schlamm-Desintegration erprobt. Dies soll dazu beitragen, die Energieeffizienz der gesamten Anlage zu erhöhen. Nach dreijähriger Projektlaufzeit zeigt sich, dass durch die thermische Desintegration die Gasproduktion gestiegen ist, die organische Substanz besser abgebaut wird und der Schlamm bei gleichzeitig reduziertem Polymereinsatz leichter entwässerbar ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die Einbindung der thermischen Schlamm-Desintegration in den Kläranlagenbetrieb auch bei Klärwerken mittlerer Größe deutliche Vorteile und Einsparungen bringen kann.

Schlagwörter: Klärschlamm, Behandlung, Desintegration, thermisch, Entwässerung, Wärmeerzeugung, Energiegewinnung, Gas, Blockheizkraftwerk, Betriebserfahrung

DOI: 10.3242/kae2016.03.003

Abstract

Operating Experiences with Thermal Sludge Disintegration in the Lingen/Ems

A new process for the thermal disintegration of sludge is being tested in the Lingen/Ems wastewater treatment plant, within the scope of a project sponsored by the German Federal Ministry for Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMU). This is to contribute to the increase of the energy efficiency of the whole plant. After three years running of the project it appears that, through the thermal disintegration, the gas production is increased, the organic substance better degraded and the sludge is more easily dewatered with equilaterally reduced application of polymers. The results show that the integration of the thermal sludge disintegration in the operation of the wastewater treatment plant, and also with wastewater treatment works of medium size, can bring significant benefits and savings.

Key words: sewage sludge, treatment, disintegration, thermal, dewatering, heat generation, energy generation, gas, combined heat and power plant, operating experience

1 Einleitung

Kläranlagen gelten allgemein als größte Einzelverbraucher in der kommunalen Energiebilanz. Doch die Abwasseraufbereitungsanlagen haben auch das Potenzial zur Energiegewinnung. Am Beispiel der Kläranlage der Stadtentwässerung Lingen soll im Rahmen des durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) mit Mitteln aus dem Umweltinnovationsprogramm, Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Abwasseranlagen“, geförderten Projekts „Stadt Lingen: Plus-Energie-Kläranlage mit Phosphor-Rückgewinnung“ im großtechnischen Maßstab gezeigt werden, dass sich bestehende Klärwerke nicht nur zu Null-Energie-Anlagen umwandeln lassen, sondern zu Energieerzeugern mit positiver Energiebilanz. Ein wesentliches Element hierbei ist die thermische Desintegration des anfallenden Überschussschlammes. Zusätzlich ist geplant, 30 % des Phosphors – bezogen auf die im

Zulauf zur Kläranlage enthaltene Fracht – aus dem Schlammstrom zurückzugewinnen. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse zusätzlicher, außerhalb des Förderprojektes durchgeführter, großtechnischer Pilotversuche und erste Betriebserfahrungen mit der thermischen Desintegration der nunmehr dreijährigen Projektlaufzeit vor.

2 Ausgangslage

Die Stadtentwässerung Lingen im Emsland sammelt und reinigt das Abwasser der Stadt sowie einer benachbarten Gemeinde. Täglich behandelt die Anlage etwa 14 000 Kubikmeter Abwasser. Die Kläranlage beschäftigt 17 Mitarbeiter und besitzt eine Ausbaugröße von 195 000 EW. Die tatsächliche Belastung in Bezug auf die CSB-Fracht beträgt jedoch nur ca.

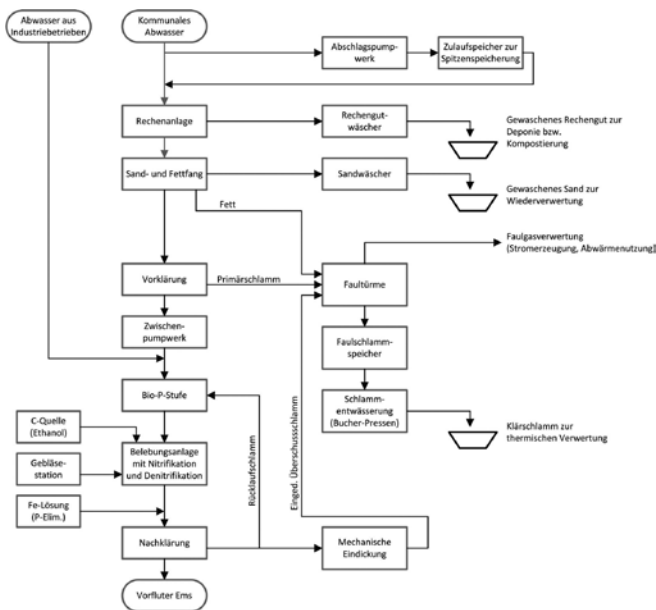


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der Kläranlage Lingen

140 000 EW (2011). Davon sind ca. 65 000 EW kommunales Abwasser, und ca. 75 000 EW stammen aus Industriebetrieben. Größter industrieller Einleiter ist ein Hersteller von Acrylfasern, dessen Abwasser sich durch einen hohen Anteil von schwer abbaubarem CSB auszeichnet. Aufgrund des hohen Industrieabwasseranteils von ca. 55 % ist die CSB-Konzentration im Zulauf etwas höher als üblich. Der mittlere Primär- und Überschussschlammanteil ist dagegen kleiner als der Wert, der sich bei einer Nachrechnung der Kläranlage gemäß DWA-A 131 [1] ergeben würde.

Um die Faulgasausbeute zu erhöhen, wurden vor der Implementierung der thermischen Desintegration ca. 3000 m³/a stark CSB-haltige und sehr gut abbaubare Abwässer aus der Biodieselproduktion als Co-Substrat in den beiden Faulbehältern mitbehandelt. Abbildung 1 zeigt ein vereinfachtes Blockfließbild der Kläranlage vor dem Start des Projekts.

Zur Entwässerung des ausgefaulten Schlammes setzt die Kläranlage Lingen zwei Schlauchfilterpressen (Bücher) ein. Auffallend bei den Betriebsdaten der Entwässerung im ursprünglichen Zustand war, dass ein relativ hoher spezifischer Polymereinsatz von ca. 19 kg WS/Mg TR notwendig war sowie eine zusätzliche Konditionierung mit einer Eisen-Lösung von ca. 230 kg/Mg TR, um akzeptable Feststoffkonzentrationen im Schlammkuchen von ca. 26 % TR zu erzielen.

3 Verfahren

In Lingen eingesetzt werden sollte das LysoTherm[®]-Verfahren, ein patentiertes System zur thermischen Desintegration von organischen Schlämmen. Ziel dieses Verfahrens: Verbesserung der anaeroben Stabilisierung (Faulung) von organischen Schlämmen. Erreicht werden sollen dadurch:

- die Erhöhung der Gasausbeute
- die Reduktion des Trockenstoffanteils im ausgefaulten Schlamm
- die Verbesserung der Schlämm-entwässerung
- die Erhöhung der Kapazität der Faultürme.

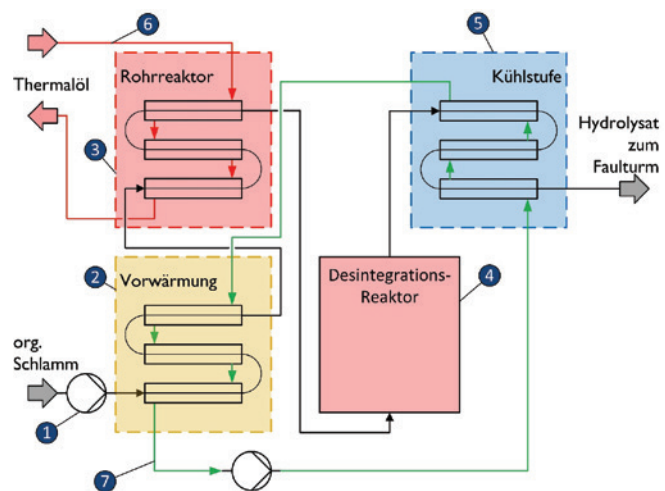


Abb. 2: Aufbau der Anlage zur thermischen Desintegration (1 Zufuhrpumpe, 2 Vorwärmung, 3 Rohrreaktor, 4 Desintegrationsreaktor, 5 Kühlstufe, 6 Thermalöl-Kreislauf, 7 Regenerativ-Kreislauf)

Weitere Vorteile der thermischen Schlämm-Desintegration sind eine reduzierte Schlämmviskosität, eine verminderte Schaumneigung im Faulturm, die Erhöhung des Phosphor-Rückgewinnungspotenzials aus dem Schlammstrom sowie die Elimination pathogener Keime im Schlamm [2]. Abbildung 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Anlage.

Der Schlamm gelangt über die Schlammpumpe (Zufuhrpumpe, 1) in ein mehrstufiges Wärmetauschersystem. Die Beschickung geschieht kontinuierlich. In der ersten Stufe des Wärmetauschersystems (2) erfolgt die Vorerwärmung, anschließend erhitzt der Rohrreaktor (3) den Schlamm auf die gewählte Reaktionstemperatur. Die eigentliche thermische Desintegration findet bei der festgelegten Reaktionstemperatur ohne weitere Wärmezufuhr im Desintegrationsreaktor (4) statt. In der Regel verbleibt der Schlamm dort für 30 bis 60 Minuten. Nach erfolgter Desintegration kühlt die Kühlstufe (5) den Schlamm so weit ab, bis die für den Eintritt in den Faulturm erforderliche Temperatur erreicht ist. Alternativ kann er mit kaltem Primärschlamm auf Faulraumtemperatur gemischt werden.

Die Beheizung des Systems erfolgt über zwei Heizkreisläufe:

- den Thermalöl-Kreislauf (6), der die notwendige Prozesswärme im Rohrreaktor bereitstellt. Diese wird aus der Abgaswärme der Blockheizkraftwerke (BHKW) gewonnen. So lässt sich eine Wärmequelle nutzen, deren Energie ansonsten direkt an die Atmosphäre verloren geht.
- den Regenerativ-Kreislauf (7), der mit Wasser als Wärmeträgermedium arbeitet. Dieser stellt Wärme für die Vorerwärmung zur Verfügung, die in der Kühlstufe aus dem thermisch desintegrierten Schlamm zurückgewonnen wurde.

Neben einer hohen Wärmerückgewinnungsrate wurde bei der Entwicklung des Verfahrens auch auf eine optimale Wärmeisolierung geachtet. So reicht die durch das BHKW gewonnene Abgaswärme für den Betrieb der Anlage aus – und es wird kein Faulgas zur Erzeugung der Prozesswärme verbraucht. In Abbildung 3 ist die Wärmeauskopplung aus den BHKWs schematisch dargestellt.

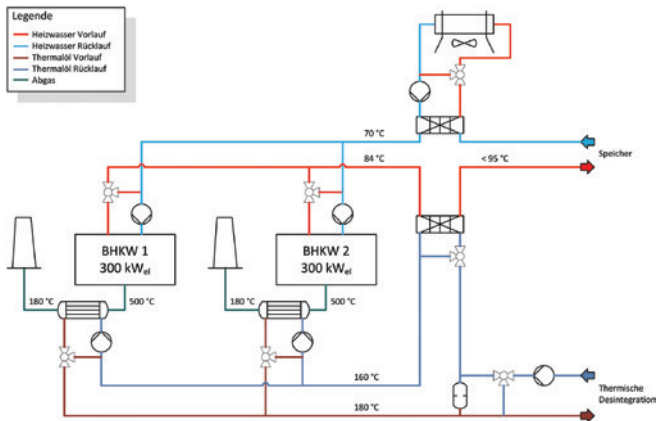


Abb. 3: Wärmeauskopplung aus den Blockheizkraftwerken mit Heizwasser- und Thermalöl-Kreislauf

Ausgekoppelt aus dem BHKW wird die Wärme auf zwei verschiedenen Niveaus: Einerseits aus dem Kühlkreislauf des Motors mit Heizwasser mit einer typischen Temperatur von ca. 84 °C und andererseits aus dem Abgas über Thermalöl auf einem Temperaturniveau von ca. 180 °C für den Betrieb der thermischen Desintegration. Das Heizungswasser gelangt in einen Speicher mit einem Inhalt von ca. 5 m³, der gleichzeitig die Schnittstelle zur Speisung des Fernwärmenetzes darstellt. Steigt die Temperatur im Rücklauf aus dem Speicher über 70 °C an, wird überschüssige Wärme über den Notkühler an die Umgebungsluft abgegeben, sodass die Rücklauftemperatur nicht über den festgelegten Maximalwert ansteigt und auch im Fall einer zu geringen Wärmeabnahme der Betrieb der BHKW jederzeit möglich ist.

Das Abgas der BHKWs durchfließt jeweils einen Abgaswärmetauscher, wodurch dieses von ursprünglich ca. 500 °C auf ca. 180 °C abgekühlt wird. Zur Vermeidung von Kondensatbildung im Abgasstrang wurde auf eine stärkere Abkühlung des Abgases verzichtet. Bei einer elektrischen Leistung von 300 kW können so ca. 130 kW Hochtemperaturwärme gewonnen werden. Sollte weniger oder keine Wärme in der thermischen Desintegration verbraucht werden, wird überschüssige Wärme über einen Thermalöl-Wasser-Wärmetauscher an den Heizwasser-Vorlauf abgegeben. Über diesen Wärmetauscher wird also die Hochtemperatur-Wärme in Niedertemperatur-Wärme transferiert. Die Temperatur im Heizwasser-Vorlauf zum Speicher kann aufgrund dieser Auslegung bis ca. 85 °C ansteigen. Auch ist damit sichergestellt, dass der Betrieb der BHKW von abhängigen Anlagen entkoppelt ist.

In Lingen erfolgt die Faulung des thermisch desintegrierten Überschussschlammes zudem aus heutiger Sicht künftig getrennt vom Primärschlamm. Dieses Verfahren ermöglicht unter anderem eine höhere Konzentration der Nährstoffe – in diesem Fall vor allem von Phosphor – und verbessert damit die Rückgewinnung als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). Die getrennte Faulung von Primärschlamm und thermisch desintegriertem Überschussschlamm führt zu einem deutlich höheren Gehalt an ortho-Phosphat im Überschussschlamm-Faulturm, was einerseits das Phosphat-Rückgewinnungspotenzial erhöht, gleichzeitig aber MAP-Ablagerungen im Faulturm begünstigt. Im Primärschlamm-Faulturm kann es aufgrund des fehlenden Eisens aus der Phosphatfällung zu einem Anstieg der Schwefelwasserstoff-Konzentration im Faulgas kommen. Beide Effekte sind Gegenstand der weiteren Untersuchungen und werden in

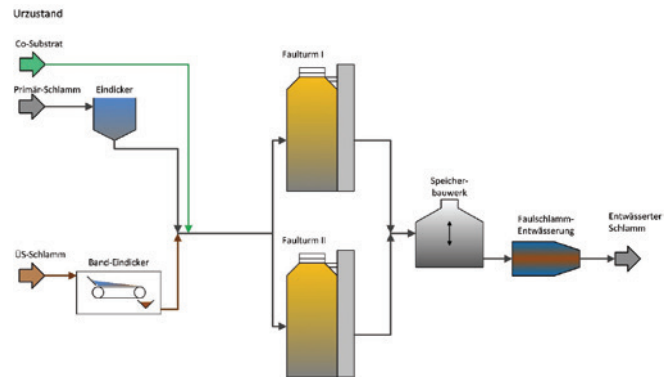
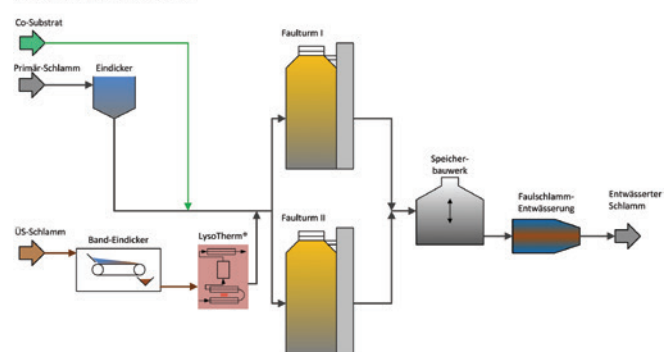


Abb. 4: Ausgangskonfiguration der Kläranlage Lingen

Phase 1: Implementierung LysoTherm*



Phase 2: Implementierung LysoTherm* und LysoGest*

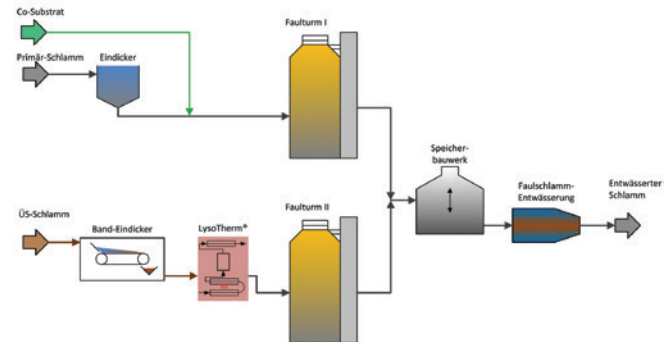


Abb. 5: Schrittweise Implementierung der thermischen Desintegration und der getrennten Faulung

die Entscheidung über die zukünftige Fahrweise der Faultürme einfließen.

4 Einbindung

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen den ursprünglichen Zustand der Schlammlinie sowie die phasenweise Einbindung der Anlage zur thermischen Desintegration und der getrennten Schlammfaulung in die bestehende Kläranlage Lingen.

Im Urzustand der Schlammlinie strömte der Primärschlamm, nach einer in die Vorklärung integrierten Eindickung, parallel auf beide Faultürme. Der Überschussschlamm wurde über einen Bandeindicker mithilfe von Polymeren auf einen Trockensubstanz-Gehalt von ca. 5 bis 6 % eingedickt und ebenfalls den beiden Faultürmen zugeführt. Der Primärschlamm wurde, zeitlich getaktet über 24 Stunden, aus der Vorklärung abgezogen. Der mechanische Überschussschlamm-

Bandeindicker lief ebenfalls im Dauerbetrieb und wurde nur zu Wartungs- und Reinigungszwecken außer Betrieb genommen.

Die Faultürme besitzen getrennte Umwälzkreise für die Beheizung und die Durchmischung (in der Abbildung nicht dargestellt). Jeder Faulturm verfügt über einen eigenen Umwälzkreislauf; der Heizkreislauf wird hingegen periodisch zwischen den beiden Faultürmen umgeschaltet. Aufgrund der räumlichen Verhältnisse wurden der Primärschlamm und der eingedickte Überschussschlamm in den Heizkreislauf der Faultürme eingespeist. Das Co-Substrat führte man den Faultürmen ebenfalls über den Heizkreislauf zu.

Am Ende des Prozesses entwässern die beiden bestehenden Bucher-Pressen den ausgefaulten Schlamm. Aufgrund der hohen Kapazität der Entwässerungsaggregate war der Betrieb nur an maximal vier bis fünf Tagen pro Woche erforderlich. Die Zwischenspeicherung des ausgefaulten Schlamms erfolgt in einem Speicherbauwerk mit einem Fassungsvermögen von ca. 550 m³. Der entwässerte Schlamm gelangt nach einer kurzen Zwischenspeicherung in einem Silo mittels LKW zur Verbrennung in ein Kohlekraftwerk.

In der ersten Projektphase wurde die thermische Desintegration in die Zufuhrleitung von eingedicktem Überschussschlamm zum Faulturm zwischengeschaltet. Die Beschickung der Faulbehälter geschah weiterhin parallel. Die Aufteilung des Rohschlammes und auch des Co-Substrats erfolgte zu gleichen Teilen auf beide Faulbehälter.

Seit der zusätzlichen Implementierung von LysoGest® in der zweiten Projektphase können beide Faulbehälter nun komplett getrennt beschickt werden. Primärschlamm und Co-Substrat gelangen nun in den Faulturm I, der eingedickte und der thermisch desintegrierte Überschussschlamm in Faulturm II. Die Wärmerückgewinnung der Desintegrationsanlage ist so ausgelegt, dass im Winterhalbjahr keine zusätzliche Beheizung des Faulturms II notwendig ist. Im Sommerhalbjahr sorgt eine Temperaturregelung für ein optimales Temperaturniveau.

Die Prozesswärme für den Betrieb der Desintegrationsanlage erzeugen Thermalöl-Wärmetauscher im Abgasstrom der beiden BHKWs. Da gleichzeitig auf die Beheizung des Faulturms II mittels Heizwasser verzichtet werden kann, bleibt die Wärmemenge, die zum Betrieb der Anlage und der Faulung notwen-



Abb. 6: Entwässerungsversuche nach Phase 1

dig ist, im Vergleich zum Urzustand nahezu gleich. Der einzige Unterschied ist das höhere Temperaturniveau des Wärmeträgers Thermalöl (ca. 170 °C) im Vergleich zum Heizwasser (ca. 80 °C). Dies ist vor allem deshalb wichtig, weil die durch die BHKWs erzeugte und nicht in der Kläranlage verbrauchte Wärmeenergie in ein kommunales Fernwärmenetz eingespeist wird. Gleichzeitig ist dies ein zusätzlicher Grund, die Faulgasausbeute zu maximieren.

5 Pilotversuche

Da zu erwarten war, dass die Übertragbarkeit der mit den Schlauchfilterpressen in Lingen erzielten Entwässerungsergebnisse auf andere Kläranlagen eingeschränkt ist, wurden großtechnische Versuche mit Entwässerungszentrifugen durchgeführt (Abbildung 6). Zum Einsatz kamen Aggregate der Firmen Centrisys und Hiller, deren Betriebsparameter auf die im großtechnischen Einsatz üblichen Werte eingestellt wurden. In beiden Fällen liefen die Entwässerungsversuche über einen mehrwöchigen Zeitraum.

Da die Rückgewinnung von Phosphor auch die Entwässerbarkeit des Faulschlammes verbessert, sollte sie vor der Entwässerung des Schlammstroms erfolgen. Daher wurde für einige Monate eine Versuchsanlage zur MAP-Fällung betrieben, um insbesondere die Auswirkungen auf die Betriebsergebnisse der Schlauchfilterpressen und der Zentrifuge zu untersuchen.

Parameter		2011				2012			
		TR		oTR		TR		oTR	
		kg/m ³	t/a	%	t/a	kg/m ³	t/a	%	t/a
Zulauf FT	PS	32,0	1353	85 %	1150	28,0	1275	85 %	1084
	ÜSS	58,0	1553	74 %	1149	55,0	1310	75 %	983
	Summe		2906	79 %	2300		2586	80 %	2067
Vergleich zu 2011							89,0 %		89,9 %
Auslauf FT	FS	27,0	1956	67 %	1310	23,0	1675	65 %	1089
							85,7 %		83,1 %
Abbau an TR und oTR			951		989		910		978
(bez. auf ges. Rohschlamm)			33 %		43 %		35 %		47 %

Tabelle 1: Messwerte vor und nach der Implementierung der thermischen Desintegration

Parameter		2011				2014			
		TR		oTR		TR		oTR	
		kg/m ³	t/a	%	t/a	kg/m ³	t/a	%	t/a
Zulauf FT	PS	32,0	1353	85 %	1150	35,0	1245	85 %	1058
	ÜSS	58,0	1553	74 %	1149	50,0	1228	76 %	933
	Summe		2906	79 %	2300		2473	81 %	1992
Vergleich zu 2011							85,1 %		86,6 %
Auslauf FT	FS	27,0	1956	67 %	1310	23,2	1413	65 %	925
	Vergleich zu 2011						72,2 %		70,6 %
Abbau an TR und oTR			951		989		1060		1067
(bez. auf ges. Rohschlamm)			33 %		43 %		43 %		54 %

Tabelle 2: Messwerte vor und nach der Implementierung der thermischen Desintegration und der getrennten Schlammfäulung

6 Ergebnisse

6.1 Phase 1: Implementierung der thermischen Desintegration

Tabelle 1 zeigt die Zu- und Ablaufwerte der Faulbehälter der Jahre 2011 (Referenzzustand) und 2012 (mit Desintegration, Phase 1). Es ist davon auszugehen, dass der Rückgang der TR- und oTR-Frachten auf folgenden Faktoren beruht:

- Rückgang der CSB-Fracht im Zulauf der biologischen Stufe der Kläranlage von 4006 t/a im Jahr 2011 auf 3892 t/a im Jahr 2012
- Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens im Mai 2011
- Erhöhung des Anteils der biologischen Phosphatentfernung an der gesamten Phosphatentfernung (biologisch + chemisch) von 48,9 % auf 59,8 %.

Da davon auszugehen ist, dass das Co-Substrat in der Fäulung vollständig abgebaut wird, bleibt dessen Einfluss in dieser Bilanzierung der TR- und oTR-Frachten unberücksichtigt.

Wenngleich die Desintegrationsanlage erst im März 2012 in Betrieb ging und die ersten Monate noch für Anpassungen der Betriebsparameter genutzt wurden, ist doch ein deutlicher Anstieg des oTR-Abbaus in der Fäulung von ursprünglich 43 % auf 47 % festzustellen. Die Erhöhung des Abbaugrads beruht ausschließlich auf dem erhöhten Abbau von Überschussschlamm als Folge der thermischen Desintegration. In Laborversuchen wurde zuvor der Abbaugrad von Primärschlamm und Überschussschlamm bestimmt. Basierend auf diesen Ergebnissen und den tatsächlichen Mengenverhältnissen lässt sich berechnen, dass der oTR-Abbau des Überschussschlammes von ursprünglich 25 % auf 33 % anstieg. Dies entspricht einer relativen Steigerung um ca. ein Drittel.

6.2 Entwässerungsversuch nach Phase 1

Großtechnisch ließ sich der Schlamm nach Abschluss der Phase 1 mithilfe der vor Ort installierten Schlauchfilterpressen auf ca. 28,2 % TR entwässern. Im Vergleich zum ursprünglichen Zustand bedeutet dies eine Steigerung um ca. drei Prozentpunkte. Diese Resultate wurden mit der Zentrifuge noch deutlich übertroffen. So lagen deren Austragswerte bei bis zu 30 % TR. Der Polymerverbrauch auf der



Abb. 7: Krümelige Struktur des thermisch desintegrierten, ausgefauten und über eine Zentrifuge entwässerten Faulschlammes

Schlauchfilterpresse stieg während Phase 1 um 3 bis 5 kg WS/Mg TR auf ca. 22 bis 24 kg WS/Mg TR, bei Einsatz der Zentrifuge wurde er signifikant reduziert und lag nur noch bei 14 kg WS/Mg TR.

Der thermisch desintegrierte, ausgefauten und entwässerte Faulschlamm weist eine sehr krümelige Struktur auf, die erwarten lässt, dass eine eventuelle spätere Trocknung deutlich erleichtert wird (Abbildung 7).

6.3 Phase 2: Implementierung der Desintegration und der getrennten Schlammfäulung

In Tabelle 2 sind die Zu- und Ablaufwerte der Faulbehälter der Jahre 2011 (Referenzzustand) und 2014 (Desintegration + getrennte Schlammfäulung, Phase 2) dargestellt. Im Jahr 2014 ist im Vergleich zum Referenzjahr 2011 ein weiterer Rückgang der TR- und oTR-Fracht zur Fäulung zu verzeichnen. Die Ursache hierfür liegt in einer von 4006 t/a auf 3690 t/a zurückgehenden CSB-Fracht im Zulauf zur biologischen Stufe der Kläranlage. Der Anteil der biologischen Phosphatelimination stabilisierte sich im Untersuchungszeitraum auf den bereits im Jahr 2012 ermittelten Wert von ca. 59 %.

Die Daten zeigen einen, auch im Vergleich zum Jahr 2012 (Phase 1), weiter gesteigerten Abbau der oTR des gesamten Schlammes (Primär- und Überschussschlamm) auf nun 54 %. Der oTR-Abbau des Überschussschlammes betrug dabei 51 %, der

Schlamm	TR-Gehalt	Polymerverbrauch	Abscheidegrad
ausgefaulter Mischschlamm (PS + ÜSS) – mit Fe-Konditionierung (4 L/m ³) – ohne MAP-Fällung	29–31 %	11–14 kg/Mg TR	> 99 %
Mischschlamm (PS + ÜSS) – ohne Fe-Konditionierung – mit MAP-Fällung	34 %	13–14 kg/Mg TR	> 98 %
ausgefaulter und hydrolysiertes ÜSS – mit Fe-Konditionierung (6 L/m ³) – ohne MAP-Fällung	25–27 %	15–19 kg/Mg TR	> 98 %
ausgefaulter und hydrolysiertes ÜSS – ohne Fe-Konditionierung – mit MAP-Fällung	27–29 %	17–20 kg/Mg TR	> 96 %
ausgefaulter und hydrolysiertes ÜSS – mit Fe-Konditionierung (4 L/m ³) – mit MAP-Fällung	28–30 %	15–17 kg/Mg TR	> 99 %
ausgefaulter PS – mit Fe-Konditionierung (1,2–2,2 L/m ³) – ohne MAP-Fällung	32 %	8 kg/Mg TR	> 99 %
ausgefaulter PS – mit Fe-Konditionierung (1,3–2,2 L/m ³) – ohne MAP-Fällung – Entwässerung über Bucher-Pressen	39–40 %	15–18 kg/Mg TR	> 99 %

Tabelle 3: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse (wenn nicht anders angegeben, Entwässerung mit Zentrifuge)

was einer relativen Steigerung gegenüber dem ursprünglichen Zustand von mehr als 100 % entspricht. Mit dem erhöhten Abbau der organischen Substanz wurde auch eine Steigerung der Gasproduktion beobachtet. Diese stieg im Faulturm 2 (desintegrierter ÜSS) von ursprünglich 0,25 m³/kg oTR_{zu} auf ca. 0,48 m³/kg oTR_{zu}. Die relative Steigerung beträgt ca. 92 % und liegt damit etwas unterhalb der relativen Steigerung des oTR-Abbaus.

Laborversuche haben gezeigt, dass mehr als 90 % des aus desintegriertem Überschussschlamm gewonnenen Faulgases bereits nach wenigen Tagen gebildet wird. Dieses Verhalten ließ sich auch während der Pilotversuche im großtechnischen Maßstab deutlich an der schnellen Reaktion der Gasproduktion auf schwankende Zulaufmengen erkennen. Damit konnte gezeigt werden, dass sich auch großtechnisch die Kapazität der Faulung bei vorgeschalteter ÜSS-Desintegration deutlich steigern lässt.

6.4 Entwässerungsversuch nach Phase 2

Um den Faulschlamm über die Schlauchfilterpressen zu entwässern, war der Verbrauch an Konditionierungsmitteln (Polymer, Eisenlösung) auch während der Phase 2 hoch und zudem stark schwankend. Mutmaßliche Ursache hierfür war eine im Tagesablauf sehr stark wechselnde Zusammensetzung des Faulschlammes im Schlammespeicher zwischen den Faultürmen und den Entwässerungsaggregaten. Vorversuche ergaben, dass das Entwässerungsverhalten sehr stark abhängig vom Mengenverhältnis der unterschiedlichen Faulschlämme aus Faulturm 1 (Primärschlamm und Co-Substrat) und Faulturm 2 (thermisch desintegrierter Überschussschlamm) ist.

Gleichzeitig ließ sich ein stark schwankender Polymerverbrauch auch bei der parallel erfolgenden Entwässerung über eine mobil installierte Zentrifuge beobachten, wenngleich der

Polymerverbrauch hier durchweg deutlich geringer war als bei den installierten Bucher-Pressen. Eine der Ursachen für den höheren Polymerverbrauch der Bucher-Pressen ist vermutlich der vergleichsweise geringe TR-Gehalt des Faulschlammes von lediglich circa zwei Prozent.

Das Versuchsprogramm mit der Zentrifuge sah vor, die Daten zu den folgenden Schlämmen nach der Faulung zu ermitteln:

- Mischschlamm
mengenproportionale Mischung aus den Abläufen von Faulturm 1 (Primärschlamm-Faulung) und Faulturm 2 (Faulung von desintegriertem Überschussschlamm)
- thermisch desintegrierter Überschussschlamm
Ablauf aus Faulturm 2
- Primärschlamm
Ablauf aus Faulturm 1.

In Tabelle 3 sind die Versuchsergebnisse, die mit der Zentrifuge erzielt wurden, mit Angaben zur Konditionierung der Schlämme zusammengefasst dargestellt. Sie enthält weiterhin Ergebnisse, die sich bei der Entwässerung von ausgefautem Primärschlamm auf den Schlauchfilterpressen ergaben.

Die Versuchsergebnisse zeigen deutlich, dass sich die thermische Desintegration positiv auf die Entwässerung auswirkt. Im Vergleich zum ursprünglichen Zustand, bei dem durchschnittlich ca. 26 % TR bei einem Polymerverbrauch von ca. 19 kg/Mg TR erzielt wurden, ergaben sich im Untersuchungszeitraum für alle thermisch desintegrierten Schlämme deutlich höhere Trockensubstanzgehalte im entwässerten Schlamm. Zudem konnte ein teilweise erheblich geringerer Polymerbedarf ermittelt werden. Bei der Entwässerung des ausgefauten Primärschlammes über die Schlauchfilterpressen ließen sich im Versuchszeitraum sehr hohe Trockensubstanzgehalte im ent-

wässerten Schlamm bei einem akzeptablen Polymerverbrauch erreichen.

Die Konditionierung mit Eisen wirkte sich im Untersuchungszeitraum positiv auf den Abscheidegrad aus. Eine zusätzliche MAP-Fällung im Schlammstrom vor der Entwässerung zeigte zusätzlich positive Effekte auf den Entwässerungsgrad (+4 bis +5 Prozent-Punkte beim TR) und den Polymerbedarf.

Die hier aufgezeigten Ergebnisse werden nach Abschluss des Vorhabens in einer einjährigen Messphase verifiziert.

7 Betriebserfahrungen

Die bisherigen Erfahrungen im Untersuchungszeitraum zeigen, dass der Betrieb der Desintegrationsanlage jederzeit sicher und problemlos durch das Kläranlagenpersonal beherrschbar ist. Der Zeitaufwand für den reinen Anlagenbetrieb wird mit ca. einer Stunde pro Tag abgeschätzt. Hinzu kommen die im Rahmen des Förderprojekts durchzuführenden zusätzlichen analytischen Messungen. Durch die weitgehend automatisierte Betriebsweise sind nur äußerst wenige manuelle Eingriffe durch das Betriebspersonal erforderlich.

Für den Betrieb der thermischen Desintegration werden ca. 160 kWh/d und für das Thermalöl-System ca. 200 kWh/d (Mit-

telwerte Juni 2015) an elektrischer Energie verbraucht. Damit wird nur ca. ein Drittel des Mehrgas-Ertrags von ca. 500 m³/d für die Bereitstellung der elektrischen Energie über die BHKWs verbraucht. Sämtliche für den Betrieb der thermischen Desintegration notwendige Hochtemperatur-Wärme lässt sich über die Abgas-Wärmetauscher der BHKW gewinnen. So betrug die verbrauchte Leistung an Hochtemperaturwärme nur ca. 80 bis 90 kW (Juni 2015). Selbst beim Betrieb nur eines BHKW bei Minimallast (60% der maximalen Leistung = 180 kW_{el}) reicht die dann produzierte Hochtemperaturwärme aus, den Betrieb der Desintegrationsanlage sicherzustellen. Der mit dem erhöhten oTR-Abbau einhergehende Mehrgas-Ertrag steht somit auch zur erhöhten Produktion von elektrischer Energie zur Verfügung und muss nicht zur direkten Erzeugung thermischer Energie verwendet und der bivalenten Nutzung entzogen werden.

8 Aufwand und Nutzen

In Tabelle 4 sind die Kosten und der Nutzen der thermischen Desintegration dargestellt. Demnach stehen den Investitionskosten von 1 350 000 € Betriebskosten in Höhe von ca. 57 100 €/a sowie Erlöse von 335 000 €/a entgegen. Aus dem Betrieb

ELIQUO | STULZ

MODERNSTE UMWELTTECHNIK – KLUG EINGESETZT



ABWASSER



SCHLAMM-
BEHANDLUNG



FAULGAS



TRINK- UND
BRUCHWASSER



REGENWASSER



EMSR-TECHNIK

Wir realisieren mit Ihnen das beste Konzept für Ihre Kläranlage.

Als einer der großen deutschen Anlagenbauer der Branche sind wir Ihr Partner für die nachhaltige kommunale Wasser- und Abwasser-aufbereitung und Klärschlammverwertung – von der Planung über den Bau bis hin zu Service und Betrieb.

www.eliquostulz.com

ELIQUO STULZ GMBH | Beim Signauer Schachen 7 | 79865 Grafenhausen | T +49 7748 9200-0



Investitionskosten		
LysoTherm®, einschließlich Thermalöl-System	€	1 350 000
Summe Investitionskosten	€	1 350 000
Betriebskosten		
Strom	€/a	19 600
Wartung	€/a	15 000
Personal	€/a	14 000
Chemikalien	€/a	3 000
Summe Betriebskosten	€/a	51 600
Erlöse		
Erhöhung Eigenstromerzeugung	€/a	175 000
Erhöhung Wärmeerzeugung (Fernwärme-Verkauf)	€/a	45 000
Reduzierung entwässerte Klärschlammfracht	€/a	100 000
Reduzierung Chemikalienverbrauch	€/a	15 000
Summe Erlöse	€/a	335 000

Tabelle 4: Investitions- und Betriebskosten sowie Erlöse aus dem Betrieb der thermischen Desintegration (alle Werte sind Nettowerte, das heißt zuzüglich der gesetzlichen Mehrwertsteuer)

der thermischen Desintegrationsanlage lässt sich also somit ein Betrag von 277 900 €/a erwirtschaften.

9 Fazit

Insbesondere in Phase 2 der Untersuchungen ließ sich der Effekt der thermischen Desintegration eindeutig nachweisen. Der Anstieg der Gasproduktion, der verbesserte oTR-Abbau des desintegrierten Schlammes und der erhöhte Entwässerungsgrad bei gleichzeitig reduziertem Polymerverbrauch sprechen für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Durch den Verzicht auf Dampf als Energieträger und die Nutzung der Abgaswärme der BHKW, verbunden mit einer hohen Wärmerückgewinnungsrate, führt der erzielte Mehrgas-Ertrag auch zu einer höheren Eigenenergieerzeugung von elektrischer Energie. Um die notwendige Prozesswärme zu erzeugen, muss kein Faulgas direkt verbrannt werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Implementierung der thermischen Desintegration in den Kläranlagenbetrieb auch bei mittleren Klärwerken deutliche Einsparungen bringen kann. Durch die Kombination der thermischen Desintegration mit der Umstellung auf eine getrennte Faulung lässt sich der Abbaugrad weiter steigern und auch die Entwässerung des ausgefaulten Schlammes nochmals deutlich verbessern, insbesondere in Kombination mit einer MAP-Fällung aus dem Schlammstrom.

Die mit der Implementierung der Desintegration einhergehende erhöhte Kapazität der bestehenden Faulung ergibt außerdem zusätzliche Freiheitsgrade zur Annahme von Fremdschlammern oder Co-Substraten, mit denen sich die Gasproduktion weiter steigern lässt.

Angesichts der nach Abzug der Betriebskosten erwirtschafteten Erlöse in Höhe von ca. 278 000 €/a ergeben sich für die Kläranlage deutliche wirtschaftliche Vorteile durch den Betrieb der thermischen Desintegrationsanlage. Die genannten Investitionskosten beziehen sich auf die Installation auf der Kläranlage Lingen. Durch Optimierungen des Fertigungsprozesses konnten die Investitionskosten für derartige Anlagen deutlich gesenkt werden mit dem Ergebnis einer damit zu erwartenden noch besseren Wirtschaftlichkeit neuer Anlagen.

Nach Abschluss des Projekts einschließlich Messprogramm und Erfolgskontrolle werden alle relevanten Ergebnisse in einem Abschlussbericht zum Vorhaben veröffentlicht werden. Dieser Abschlussbericht wird voraussichtlich Mitte 2017 vorliegen. Er ist dann im Internet abrufbar: www.umweltinnovationsprogramm.de

Literatur

- [1] DWA, „Arbeitsblatt DWA-A 131 - Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“, DWA, Hennef, 2000.
- [2] DWA, „Merkblatt DWA-M 302 – Klärschlammdeintegration (Gelbdruck)“, DWA, Hennef, 2015.
- [3] Stadtentwässerung Lingen, „Förderantrag KfW BMU-Umweltinnovationsprogramm“, 2009.

Autoren

Ulrich Knörle
Eliquo Stulz GmbH
Jahnstraße 36, 88214 Ravensburg

E-Mail: ulrich.knoerle@eliquostulz.com

Dr. Marianne Buchmüller
Eliquo Stulz GmbH
Beim Signauer Schachen 7
79865 Grafenhausen

E-Mail: marianne.buchmueller@eliquostulz.com

Laurenz Hüer
Stadtentwässerung Lingen
Waldstraße 31
49808 Lingen (Ems)

E-Mail: Hueer@stadtentwaesserung-lingen.de

