

ERNEUERBARE ENERGIE AUS DEM SCHLAMM KLEINER UND MITTLERER ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGEN

K. Lützner, M. Barth, Dresden, A. Huber, Bodenmais, R. Tietze, Dresden

1. Einführung

Klärschlamm fällt bekanntlich bei der Abwasserreinigung in Abhängigkeit von der Verfahrensgestaltung als Primärschlamm, Überschussschlamm und ggf. durch Verwendung von Fällmitteln an. Die Rohschlämme bedürfen einer Behandlung, die die Beschaffenheit so verändert, dass keine kritischen Belastungen mehr für die Umwelt in Luft, Boden und Wasser während der nachfolgenden Verwertung oder Beseitigung auftreten.

Auf kleineren Kläranlagen ist die Schlammbehandlung und -entsorgung oft mit der Emission von Treibhausgasen aus der energieaufwendigen aeroben simultanen Schlammstabilisierung verbunden, Klärschlamm kann aber auch als klimaneutraler, nicht fossiler Energieträger genutzt werden. Biogas aus der Schlammbehandlung wird als erneuerbare Energiequelle auf größeren Kläranlagen im Regelfall genutzt, auf kleineren Kläranlagen ist hingegen aus wirtschaftlichen Gründen die Nutzung bisher sehr selten gegeben.

Für Klärschlämme aus kleineren Kläranlagen und allgemein ist festzustellen, dass

- die für die Nährstoffelimination erforderliche organische Fracht als Biogaspotenzial verloren ist, so dass ein Kompromiss zwischen optimaler Energieerzeugung und Anforderungen an die Abwasserreinigung (ist primär zu sichern!) zu finden ist (betrifft insbesondere Kläranlagengrößen 2 und 3)
- der anaerobe Abbau einer Reaktion 1. Ordnung folgt, wobei sich die maßgebende Geschwindigkeitskonstante aus der Hydrolysegeschwindigkeit ergibt. Für den Hydrolyseprozess ist die energieaufwendige Bildung lysierender extrazellulärer

Enzyme notwendig. Durch den gezielten Aufschluss von Zellen kann der anaerobe Abbau beschleunigt werden und weitergehend erfolgen. Allerdings ist die Rückbelastung durch das Schlammwasser auf den Betrieb der Kläranlage nicht geklärt (NH_4^+ , CSB, Schadstoffe)

- in kalten Regionen (z. B. Wintersportgebieten) die simultane aerobe Schlammstabilisierung umstritten ist (Stabilisierungsgrad, oTR-Abbau)
- anaerob stabilisierte Schlämme gegenüber aerob stabilisierten Schlämmen bei üblichen Bemessungswerten geringere organische Reststoffe und bessere Entwässerungseffekte aufweisen.

Im Rahmen eines Forschungsthemas ist zu untersuchen, inwieweit bei kleinen und mittleren Kläranlagen die organischen Abwasserinhaltsstoffe stärker als bisher als erneuerbare Energiequelle genutzt werden können, um letztlich auch die CO_2 -Belastung und die Schlammensorgungskosten zu verringern. Um die Energiebilanz zu verbessern, muss deshalb gleichzeitig die Intensivierung der Schlammfäulung erfolgen, wobei umfassend die Auswirkungen zu berücksichtigen sind.

Schwerpunkte der Forschungsarbeit sind:

- Untersuchungen zur Optimierung der Schlammfäulung i. A. von der Rohschlammbeschaffenheit
 - durch die Verfahrensgestaltung (mesophil, thermophil, Kombination) auf der Grundlage von Laborversuchen und gezielten großtechnischen Versuchen
 - durch Rohschlammkonditionierung, insbesondere Desintegration und thermische Konditionierung
- Aussagen zur Rückbelastung bei verschiedenen Konditionierungsverfahren
- Verbesserung der Energiebilanz durch Zusatzsubstrate (insbesondere Fäkal-schlämme) und Auswirkungen auf die Denitrifikation
- großtechnische Untersuchungen zum Betrieb einer Schlammfäulung mit einfacher bautechnischer Lösung
- Kostenbetrachtungen und Energiebilanzen.

Im Rahmen des Vortrages werden erste Ergebnisse vorgestellt.

Nachdem durch maßgebende Politiker die landwirtschaftliche und landbauliche Klärschlammverwertung und demzufolge auch die Kompostierung infolge der aufgetretenen BSE-Fälle in Frage gestellt wird und demnach künftig nur noch die Schlammverbrennung oder Druckvergasung für die Schlammverwertung/-beseitigung erfolgen könnte, ist grundsätzlich die Frage zu stellen, inwieweit dann die aufwendige Schlammstabilisierung überhaupt noch sinnvoll ist.

Unter Berücksichtigung der in Anlage 1 aufgeführten Annahmen wird deutlich, dass die **Kombination Schlammfaulung - Entwässerung - Verbrennung** gegenüber der **Kombination Entwässerung von Rohschlamm - Verbrennung** rund die gleiche verfügbare Energie liefert. Praktisch verbessert sich die Energiebilanz zugunsten der

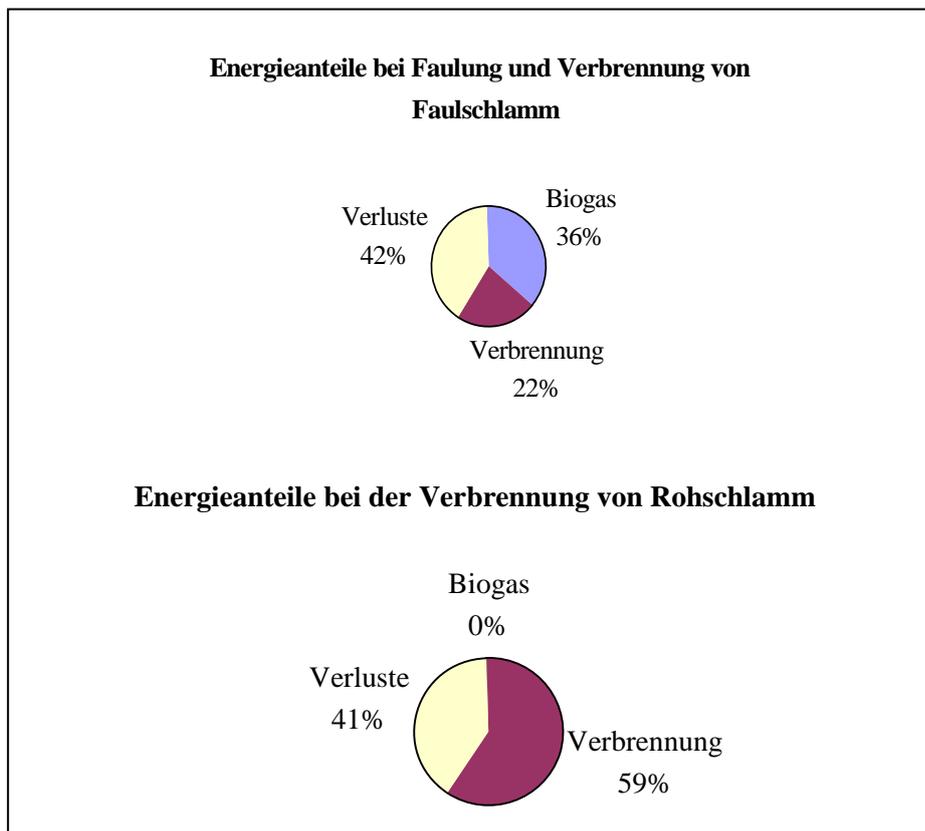


Abbildung 1: Energieanteile bei Verbrennung von Roh- bzw. Faulschlamm

Schlammfaulung, da im Regelfall der Entwässerungsgrad von Rohschlamm ungünstiger ist (im Beispiel sowohl für Rohschlamm als auch für stabilisierten Schlamm 25 % TR gewählt). Die Energieanteile sind im Einzelnen in Abbildung 1

dargestellt. Hinzu kommt, dass sich die Schlammmenge bei Stabilisierung um rd. $\frac{1}{3}$ verringert und insbesondere die Lagerfähigkeit von Rohschlamm infolge unkontrollierter Gärung verbunden mit Geruchsemissionen nicht gewährleistet ist.

Abbildung 2 zeigt einen Vergleich von CO₂-Äquivalenten. Es wird deutlich, dass die unkontrollierte Abgabe von Methan in die Atmosphäre sehr hohe Werte liefert. Die Unterschiede zwischen Tropfkörper- und Belebtschlammverfahren ergeben sich durch den unterschiedlichen Schlammanfall infolge der Fresskette beim Tropfkörperverfahren. Die Unterschiede zwischen simultaner aerober Schlammstabilisierung und Schlammfäulung mit optimaler Energienutzung betragen rd. 250 %.

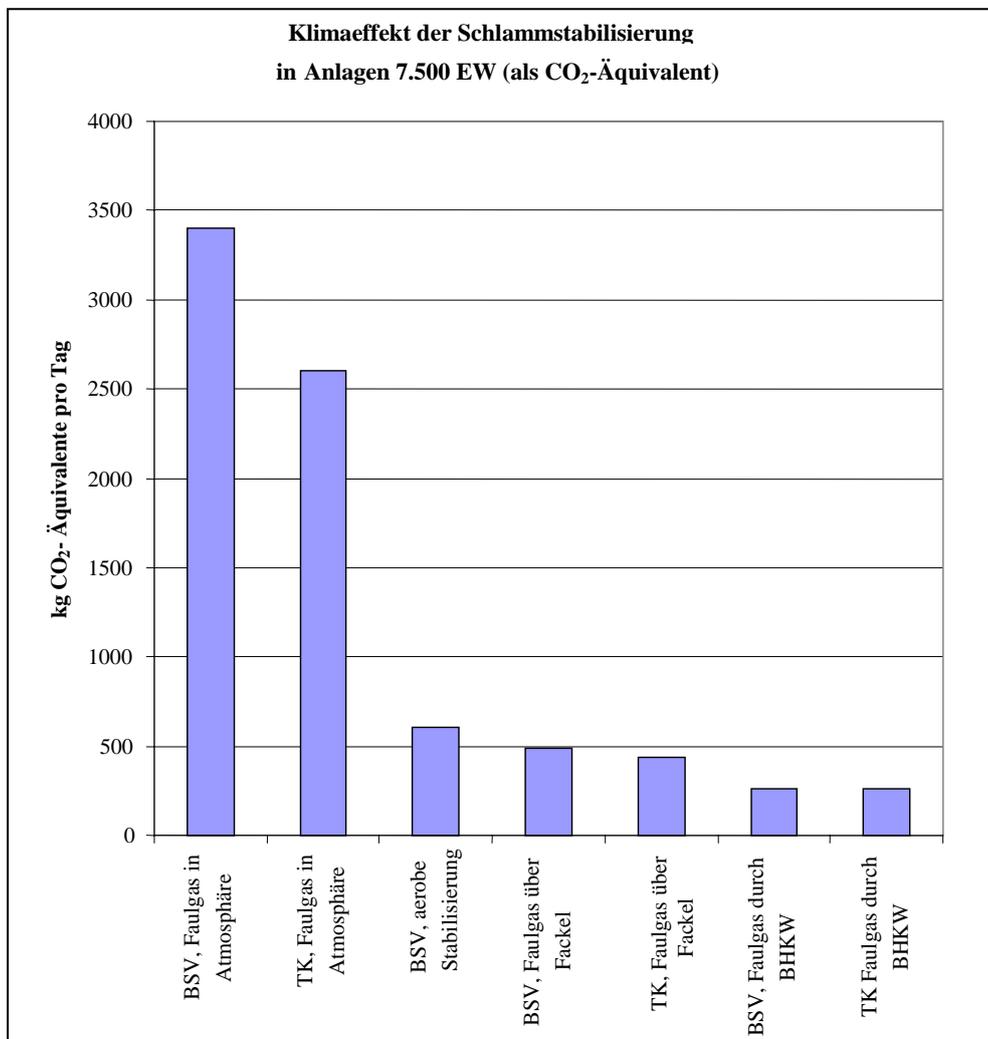


Abbildung 2: Klimaeffekt in Verbindung mit der Schlammstabilisierung und der Biogasverwertung/-beseitigung

2. Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuche wurden insgesamt in 6 Reaktoren durchgeführt. Drei Reaktoren wurden thermophil (55°) und drei Reaktoren mesophil (35°) betrieben. Die Verweilzeiten betragen 6, 12 und 24 d. Das Reaktorenvolumen (Abbildung 3) betrug 6 l und wurde bei den Reaktoren mit Betriebsproblemen auf 4 l abgesenkt. Die Versuche wurden als Durchlaufversuche betrieben. Die Beschickung der Reaktoren erfolgte täglich. Der ausgefaulte Schlamm wurde über den Ablaufstutzen entnommen. Vor der Probenahme wurde die Durchmischung stark erhöht, um Ablagerungen zu vermeiden. Die Durchmischung des Faulrauminhaltes erfolgte kontinuierlich. Kontrolle auf Dichtigkeit der Reaktoren erfolgte täglich. Das Gas wurde über eine Gasmaus in eine Gastüte geleitet. Die volumetrische Gasbestimmung erfolgte täglich. Die Gaszusammensetzung wurde 2 x pro Woche analysiert. Die Probenahme erfolgte mit Gasspritze aus der Gasmaus. Die Versuchstemperaturen betragen 35°C bzw. 55°C. Sie wurden jeweils an Thermostaten eingestellt. Die Beheizung der Faulbehälter erfolgte über die doppelwandige Ausführung der Versuchsreaktoren. Für die Faulversuche wurde Überschussschlamm aus einer halbtechnischen Belebungsanlage mit Stickstoffelimination ohne Vorklärung genutzt. Die Belebungsanlage bestand aus Spaltsieb, Sandfang, Belebungsbecken und Nachklärung. Der Betrieb war darauf gerichtet, einen möglichst energiereichen Überschussschlamm zu erzeugen. Dazu wurde das Gesamtschlammalter auf 15 d festgelegt.

Das aerobe Schlammalter betrug zunächst 9 d und wurde im Weiteren Versuchsverlauf unter Beachtung der Ablaufwerte minimiert. Der Überschussschlamm wurde nachts abgezogen und statisch auf ca. 1 % voreingedickt. Anschließend erfolgte mit Hilfe einer Laborzentrifuge ohne Zusatz von Flockungshilfsmittel eine Eindickung auf ca. 7,5 % TR.

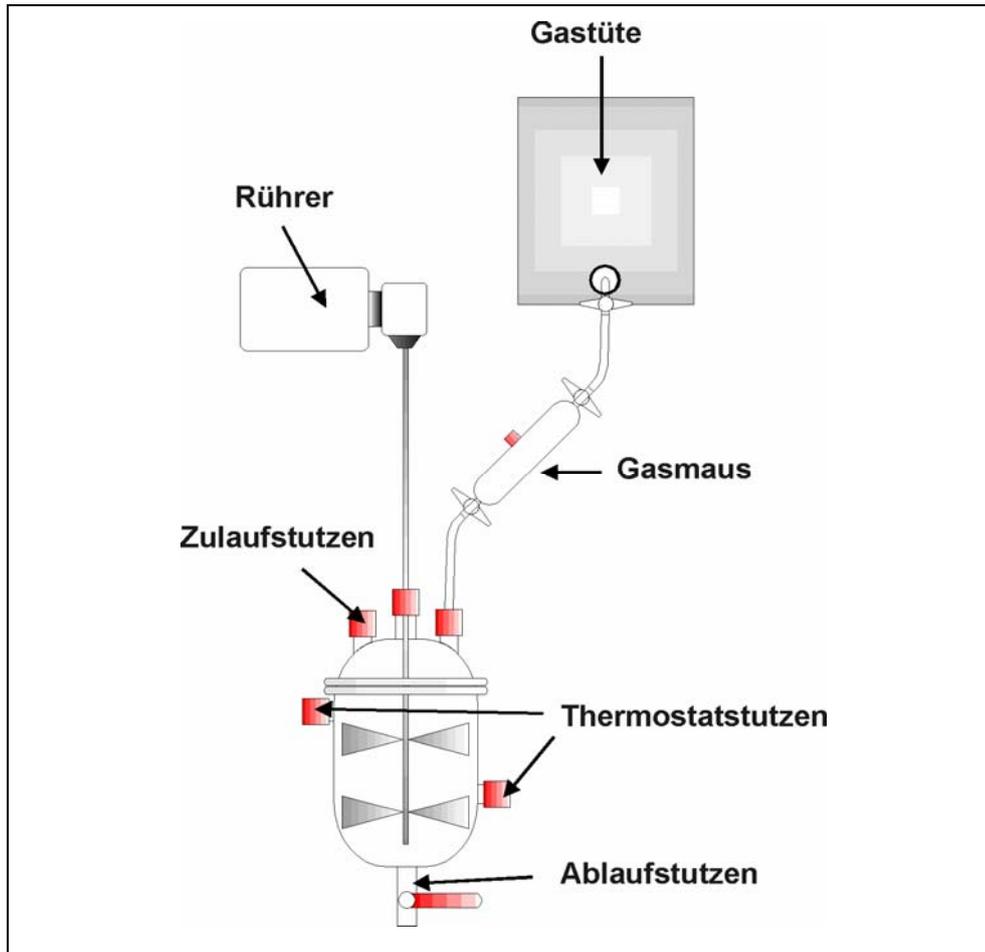


Abbildung 3: Aufbau der Laborversuchsanlage

3. Ausgewählte Versuchsergebnisse

3.1 Vergleich von mesophiler und thermophiler Schlammpfäulung als Grundlage für den Nachweis der Wirkungen verschiedener Konditionierungsverfahren

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der mesophile Betrieb der Reaktoren bei allen hydraulischen Aufenthaltszeiten (6, 12 und 24 d) schwierig war. Alle Reaktoren neigten zur Schaumbildung, am Auffälligsten war der Reaktor mit 6 d hydraulischer Aufenthaltszeit. Der thermophile Betrieb dagegen war ohne Betriebsprobleme möglich. Nach ersten Auswertungen, eine Bilanzierung erfolgte bisher nur für min.

TR mit Abweichungen von maximal 5 %, ist bei Vergleich von thermophiler und mesophiler Faulung festzustellen:

- eine höhere spezifische Gasproduktion $l/kg \cdot oTR_{Zufuhr}$
- ein höherer oTR -Abbau
- höhere organ. Säurekonzentration
- eine höhere CSB-Rückbelastung
- höhere N-Rückbelastung
- ein schlechteres Entwässerungsverhalten und
- eine Verringerung des inkorporierten Stickstoffs.

Mittelwerte über eine 1-monatige Versuchsreihe mit eingefahrenen Reaktoren sind in Tabelle 1 dargestellt. Die ausführliche Auswertung ist im Zwischenbericht (Barth, 2001) enthalten. Es ist vorgesehen, die Plausibilität der Werte durch CSB-, N- und P-Bilanzen nachzuweisen.

Die allgemein übliche spezifische Gasertragsangabe, z. B. $[l/oTR_{Zufuhr}]$, ist in Bezug auf den konkreten Gasertrag $[l/E]$ oder $[l/CSB_{Zufuhr}]$ ohne Angabe des Schlamm-anfalles nicht aussagefähig, deshalb soll im Rahmen der Forschungsarbeit der Bezug auf CSB_{Zufuhr} erfolgen. Wird zunächst überschlägig der spezifische Gasanfall nach Kapp, 1984, mit 280 bzw. 550 $l/kg \cdot oTR_{Zufuhr}$ für Überschuss- bzw. Primärschlamm verwendet und auf den spezifischen oTR -Anfall von rd. 30,5 bzw. 23,5 $g \cdot oTR/E \cdot d$ für Primär- bzw. Überschussschlamm bezogen, ergibt sich bei 24 d Faulzeit ein spezifischer Gasanfall von rd. 21 $l/E \cdot d$. Demgegenüber ergeben sich nach Tabelle 1 für mesophilen bzw. thermophilen Betrieb Werte von rd. 16 bzw. 18 $l/E \cdot d$. Die Ursachen der verminderten Gasproduktion liegen in den getroffenen Annahmen, der Abwasserentnahme zum Betrieb der halbtechnischen Versuchsanlage im Zulaufkanal (Schichtungen) und einer Hydrolyse partikulärer Inhaltsstoffe und somit dem Abbau der gelösten Substrate unter aeroben bzw. anoxischen Milieubedingungen. Im Vergleich zu anderen Veröffentlichungen ist der Gasertrag normal. Erstaunlich sind die verhältnismäßig hohen Gaserträge bei geringen Faulzeiten. Die Werte dienen als Grundlage für den Vergleich der Wirkungen von verschiedenen Konditionierungsverfahren.

Tabelle 1: Mittelwerte zum Vergleich einer mesophilen und thermophilen Betriebsweise von Faulanlagen

Kenndaten mesophiler Betrieb der Faulung von Überschussschlamm ohne Vorklärung (t_{TS} 15 d)

HRT	Spez. Gas / oTR Zufuhr	Spez. Gas / oTR Abbau	oTR Abbau	CSB mf Ablauf / CSB roh Zulauf	TKN mf Ablauf / TKN roh Zulauf	TKN / oTR	CST / TR	TR Reaktor	oTR Reaktor	Org. Säuren
	[l/kg]	[l/kg]	[%]	[%]	[%]	[%]	[s/kg]	[%]	[%]	
Zulauf						8,4				
6	200	750	25	3,5	25	8,7	36	6,15	60	< 200
12	250	750	30	3,5	32	8,5	29	5,7	58	< 100
24	300	700	40	2,5	34	8,8	28	5,15	56	< 30

Kenndaten thermophiler Betrieb der Faulung von Überschussschlamm ohne Vorklärung (t_{TS} 15 d)

HRT	Spez. Gas / oTR Zufuhr	Spez. Gas / oTR Abbau	oTR Abbau	CSB mf Ablauf / CSB roh Zulauf	TKN mf Ablauf / TKN roh Zulauf	TKN / oTR	CST / TR	TR Reaktor	oTR Reaktor	Org. Säuren
	[l/kg]	[l/kg]	[%]	[%]	[%]	[%]	[s/kg]	[%]	[%]	
Zulauf						8,4				
6	300	850	36	12	46	7,2	74	5,7	57	< 1000
12	330	850	39	12	51	7,2	70	5,5	55	< 600
24	330	700	45	13	51	6,9	51	4,95	53	< 1000

3.2 Erste Ergebnisse von Konditionierungsmaßnahmen

Als Konditionierungsverfahren wurden zunächst die physikalische Konditionierung (Desintegration mit Kugelmöhlen) und die thermische Konditionierung eingesetzt. Gemäß Literaturangaben (Barth, 2001) ist mit Aufschlussgraden bis zu 50 % bezogen auf den CSB-Totalaufschluss zu rechnen.

In den Versuchen wurden Kugeln der Größe 200 mm und 0,8 - 1,2 mm gewählt. Die Mahldauer betrug 3 bis 60 min. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt.

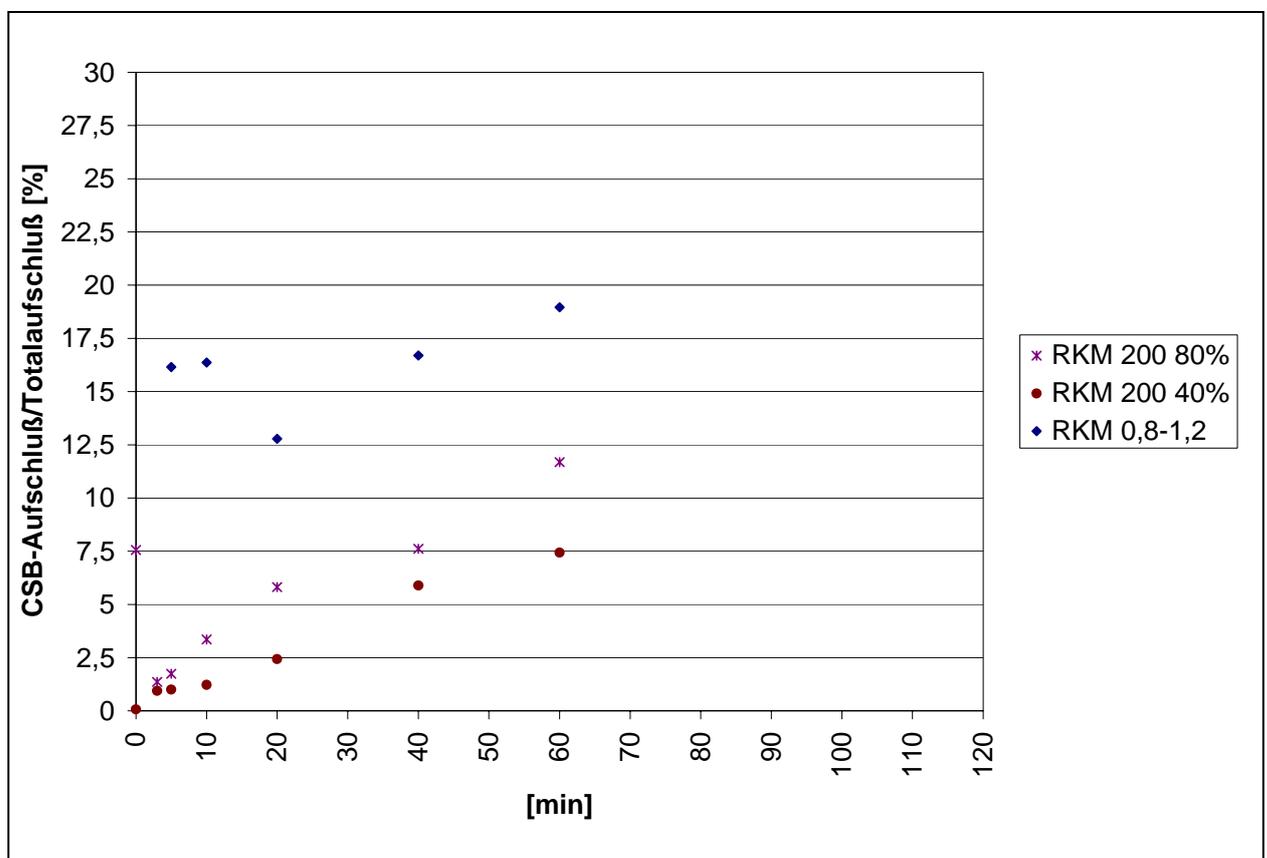


Abbildung 4: CSB-Aufschlussgrad durch den Einsatz von Kugelmöhlen

Parallel zum CSB-Aufschluss erfolgte die Überprüfung des TKN-Aufchlusses, der bei Verwendung kleiner Mahlkörper höher ausfiel. Die Literaturangaben wurden nicht erreicht. Im Weiteren war nachzuweisen, inwieweit der erreichte Aufschluss tatsächlich für den anaeroben Abbau verfügbar ist. Dazu wurden 0,8 - 1,2 mm Mahlkörper und 10 min. Mahldauer gewählt. Der Aufschlussgrad ergab sich bei

70 % Totalaufschluss zu rd. 13 %. Bei mesophiler Faulung erhöhte sich die spezifische Gasproduktion von 270 auf 300 (12 d Faulzeit) bzw. 325 l/kg oTR_{zugeführt} (24 d Faulzeit), also um 11 bis 12 %. Der oTR-Abbaugrad verbesserte sich bei 12 d Faulzeit von 33 auf 36 %, die TKN-Rückbelastung erhöhte sich von rd. 23 % auf 29 %. Leider verschlechterte sich das Entwässerungsverhalten. Bei thermophiler Betriebsweise erhöhte sich die Gasproduktion bei 24 d (!) um rd. 18 %. Die Stickstoffrückbelastung erhöhte sich gegenüber der mesophilen Faulung um 50 %. Das Entwässerungsverhalten wurde erwartungsgemäß noch ungünstiger.

Die thermische Konditionierung ergab gegenüber dem Aufschluss mit Kugelmühlen i. A. von Temperatur und Einwirkzeit wesentlich höhere Aufschlussgrade (Abbildung 5).

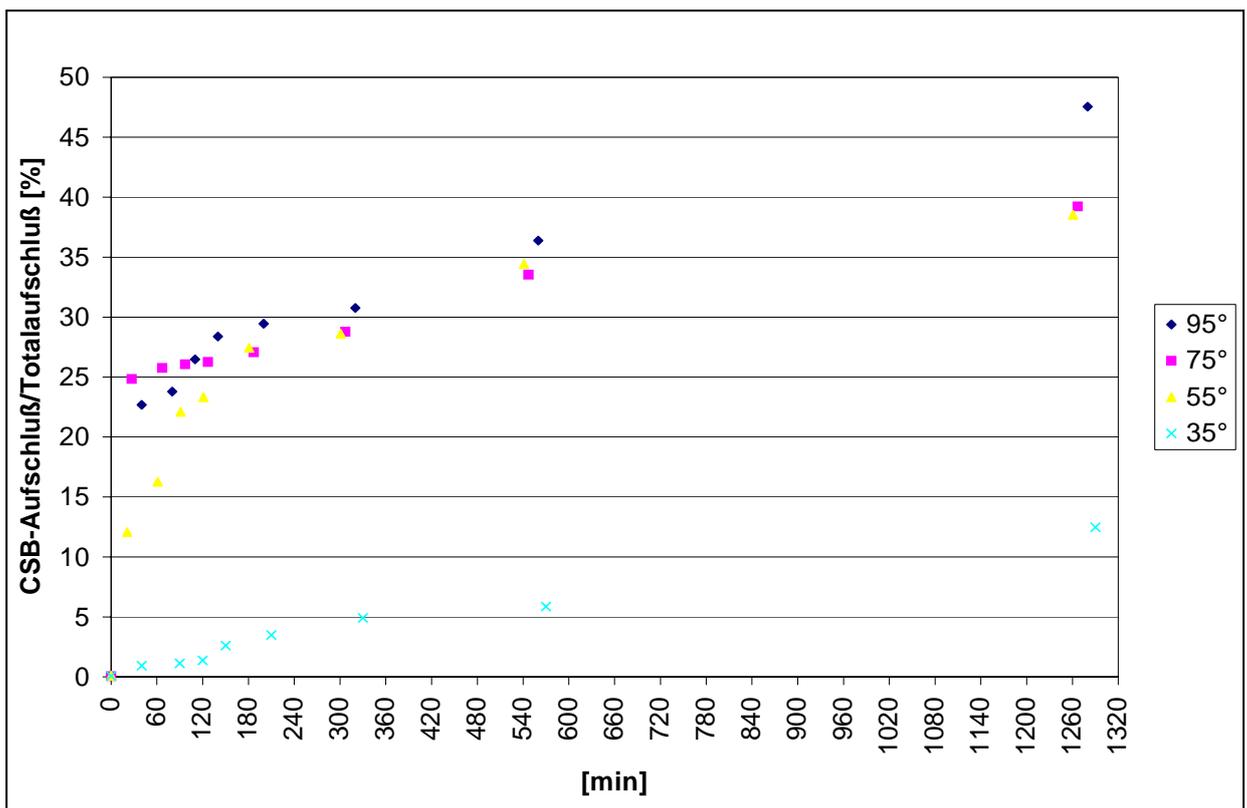


Abbildung 5: CSB-Aufschlussgrad durch thermische Konditionierung

Von praktischer Bedeutung ist ein Temperaturbereich von 55 bis 75°C. Ein gleicher Verlauf ist in Bezug auf die TKN-Freisetzung zu beobachten. Für den Nachweis der erhöhten Gasausbeute wurde ein thermischer Voraufschluss von 1,5 h, davon 0,5 h

Aufwärmphase von 20 auf 75°C genutzt. Die CSB-Freisetzung betrug dabei (wieder bezogen auf 70 % chem. Totelaufschluss) rd. 28 %. Die Gasausbeute wurde z. B. bei 12 d Faulzeit unter mesophilen Bedingungen um 30 % erhöht. Es erhöhten sich erwartungsgemäß der oTR-Abbau und die TKN-Rückbelastung. Das Entwässerungsverhalten blieb gleich. Interessant war das Ergebnis für thermophile Betriebsweise, das praktisch nur geringfügige Veränderungen zum Vergleichsreaktor ergab.

Auf der Grundlage der Versuchsergebnisse ist im Weiteren zu untersuchen, welche technischen Realisierungen unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit überhaupt möglich sind, um die nachgewiesenen Verfahren zur Verbesserung der Energiebilanz und zu weiteren Auswirkungen auf die gesamte Kläranlage sinnvoll einsetzen zu können.

4. Pilotanlage Kläranlage Bodenmais

Das Schema der Pilotanlage ist in Abbildung 6 dargestellt. Es handelt sich um eine zweistufige Schlammfäulung für 20.000 EW. Die erste Stufe kann sowohl mesophil als auch thermophil mit 55°C betrieben werden, die zweite Stufe mesophil.

In Anlage 2 ist ein Kostenvergleich durchgeführt worden. Die Kläranlage bestand neben den üblichen mechanischen Reinigungsstufen aus einer Vorklärung kombiniert mit kalter Faulung, Belebungsbecken und Nachklärbecken. Es bestand die Aufgabe, die Kläranlage entweder als simultane aerobe Schlammstabilisierung zu erweitern oder zusätzlich eine Faulung zu errichten. Letzteres wurde gebaut. Die Kosten entsprechen den tatsächlichen Aufwendungen, für die simultane aerobe Schlammstabilisierung wurden Annahmen getroffen. In den Kosten für die Schlammfäulung sind die Schlammpresse und die maschinelle Voreindickung nicht enthalten.

Abbildung 7 zeigt, dass die Investitionsmehrkosten von 30 DM/EW z. B. bei Biogasverwertung und Entsorgung von entwässertem Schlamm bereits nach rd. 3 Jahren amortisiert sind.

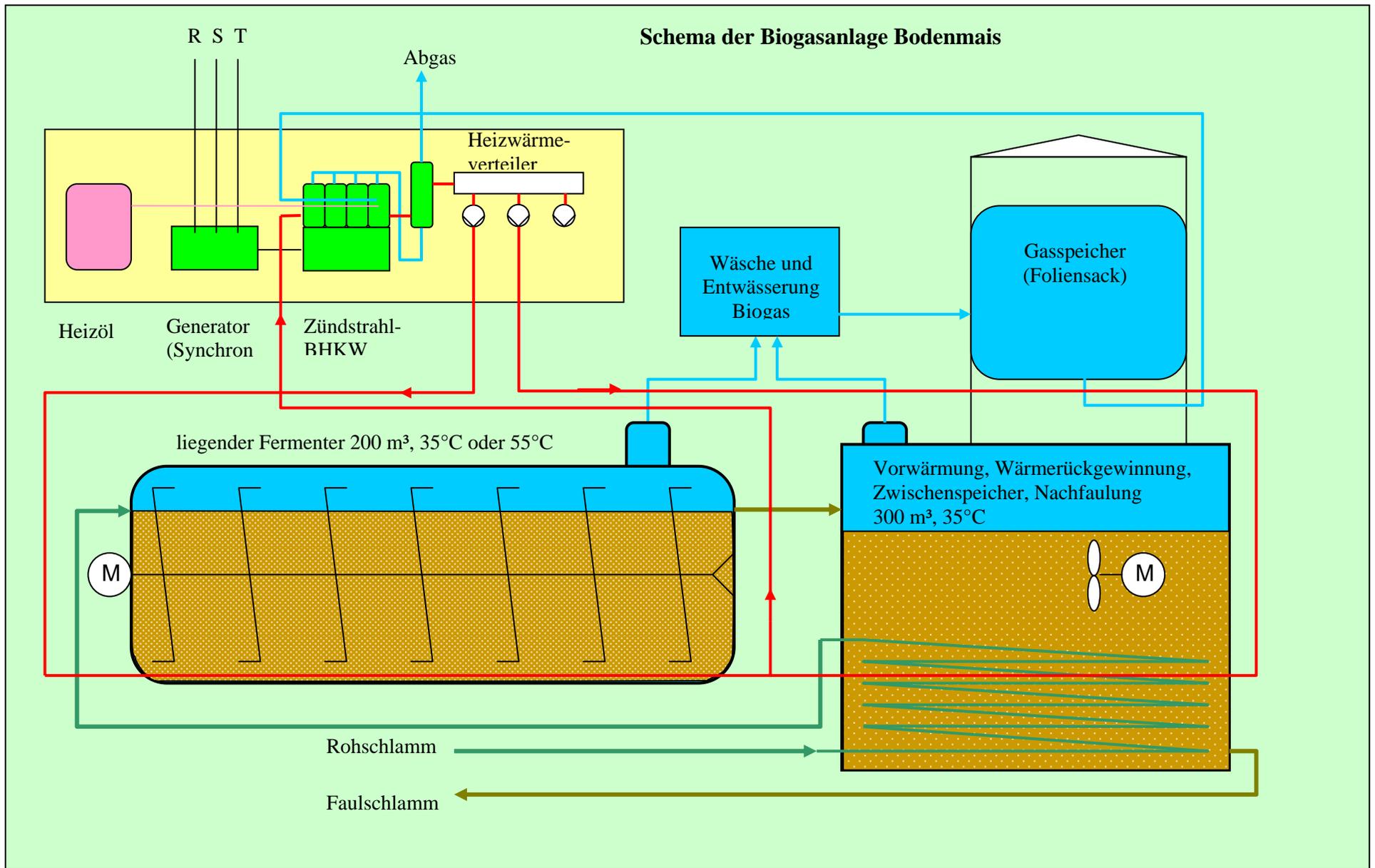


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Pilotanlage Bodenmais

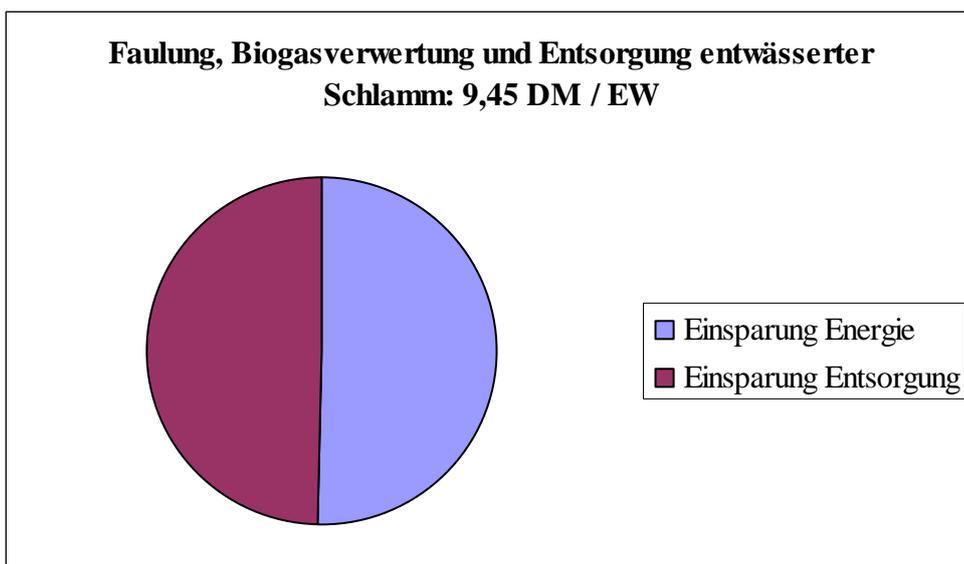
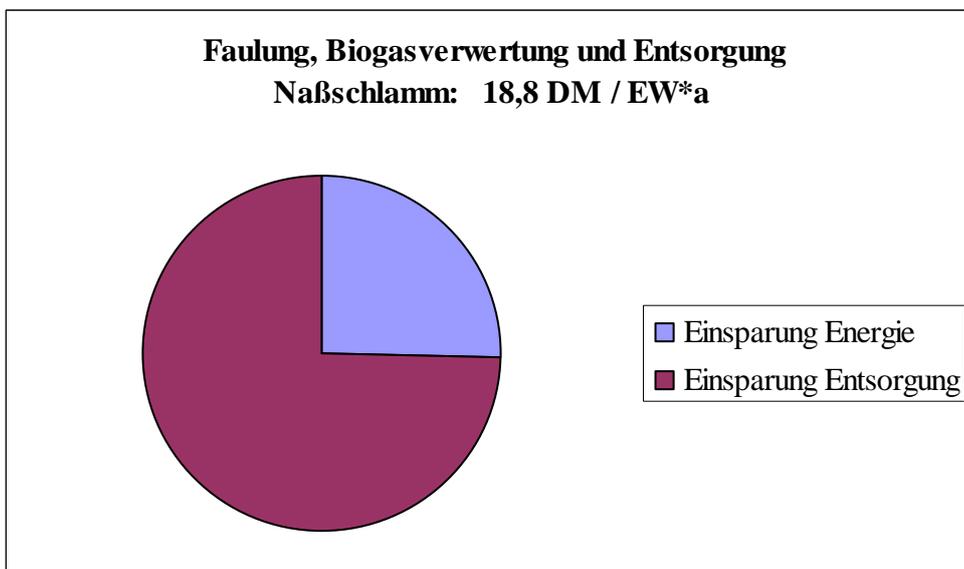
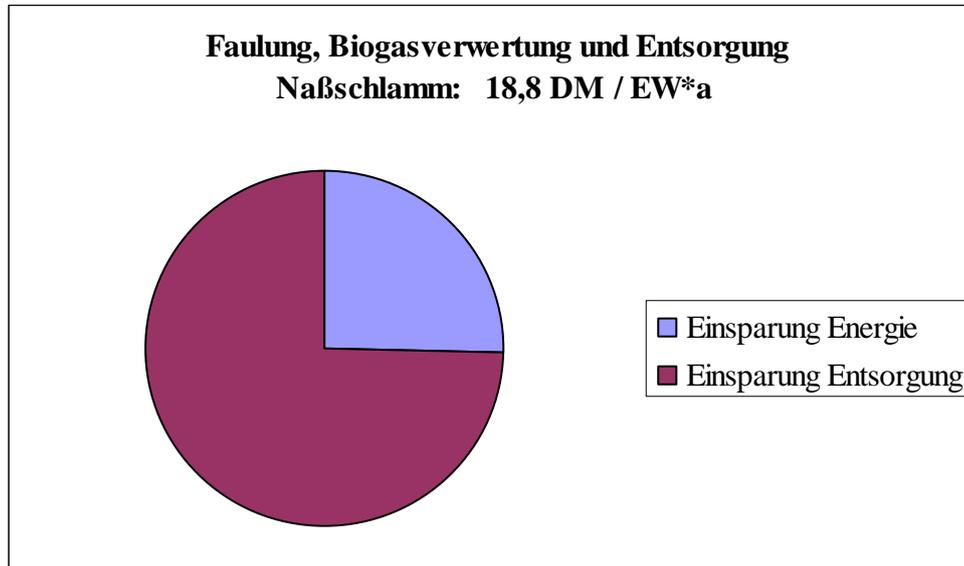


Abbildung 7: Energiekosteneinsparung i. A. vom Schlamm Entsorgungsweg

5. Zusammenfassung

- Die Vorteile einer anaeroben gegenüber einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung bzw. einer Rohschlammverbrennung werden im Vortrag erläutert. Kostenbetrachtungen an einer konkreten Kläranlage zeigen, dass zwar die Investitionskosten bei Wahl einer simultanen aeroben Schlammstabilisierung geringer sind als bei einer Schlammfäulung, sich jedoch diese Mehrkosten bereits nach wenigen Jahren (ca. 3 Jahre) amortisiert haben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dem Kostenvergleich eine teure zweistufige Fäulung und ein BHKW mit Synchronmaschine zugrunde liegt. Zur Zeit wird eingeschätzt, dass die anaerobe Schlammstabilisierung als Alternative bis etwa 10.000 EW sinnvoll einsetzbar ist.
- Eine konkrete Aussage zur Sinnfälligkeit einer thermophil-mesophilen Schlammfäulung muss durch eine Kostenvergleichsrechnung am jeweiligen Einsatzort getroffen werden. Die Grundlage dazu ist, neben den Kosten, eine Bilanzierung der Stoffströme, die noch aussteht.
- Die Verbesserung der Energiebilanz durch ausgewählte physikalische Konditionierungsverfahren und eine thermische Konditionierung ergaben nicht in allen Fällen die erhofften Ergebnisse. Der Einsatz von Ultraschall konnte nicht getestet werden. Die eingesetzten Mahlkörper wurden nicht optimiert. Die Versuchsergebnisse sind trotzdem von den Größenordnungen her aussagefähig. Der Aufschlussgrad gemessen am CSB war gegenüber von Literaturangaben wesentlich geringer. Die thermische Konditionierung ergab dagegen sehr gute Aufschlussgrade. Im Weiteren ist die technische Realisierbarkeit mit Erfassung der Randbedingungen zu erarbeiten, um auch hierbei auf der Grundlage von Kostenvergleichsrechnungen die Einsatzgrenzen zu bestimmen.

Die Bearbeiter danken dem BMBF für die Förderung des Projektes „Erneuerbare Energie und Minderung der Emission von Treibhausgasen durch moderne Verfahren der Abwasser- und Schlammbehandlung auf kleinen und mittleren Kläranlagen“.

Literatur

ATV-Handbuch (1996)
Klärschlamm – 4. Auflage
Ernst & Sohn Verlag, Berlin

Barth, M. (2001)
Zwischenbericht zum BMBF-Projekt Erneuerbare Energie und Minderung der Emission von Treibhausgasen durch moderne Verfahren der Abwasser- und Schlammbehandlung auf kleinen und mittleren Kläranlagen

Bunge, F. (1992)
Mechanischer Zellaufschluss in Rührwerkskugelmöhlen
VDI Verlag, Düsseldorf

Dichtl, N. Müller, J. Englmann, E. Günthert, W. Osswald, M. (1997)
Desintegration von Klärschlamm – ein aktueller Überblick
Korrespondenz Abwasser, 44 (1997) 10, S. 1726-1739

Elbing, G. Dünnebeil, A. (1999)
Thermischer Zellaufschluß mit anschließender Faulung – Laboruntersuchungen
Korrespondenz Abwasser, 46, (1999) 4, S. 538-547

Kapp, H. (1984)
Schlammfäulung mit hohem Feststoffgehalt
Kommissionsverlag R. Oldenbourg, München

Köppke, K.-E. (1999)
Zielsetzungen, Verfahren und Anwendungsmöglichkeiten des Klärschlammaufschlusses
Korrespondenz Abwasser, 46 (1999) 7, S.1094-1100

Müller, J. (1996)
Mechanischer Klärschlammaufschluss
Shaker Verlag, Aachen

Müller, J. (1998)
Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Klärschlammaufschlusses als Verfahrensschritt der anaeroben Schlammstabilisierung
Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, TU Braunschweig, Band 61, S. 281-294

Müller, J. Tiehm, A. Eder, B. Günthert, W. Hruschka, H. Kopp, J. Kunz, M. Oles, J. Schmelz, K.-G. Seiler, K. (2001)
Verfahrensvergleich und Ergebnisse der mechanischen Klärschlamm-desintegration,
Korrespondenz Abwasser, 48 (2001) 3, S. 393-400

Nickel, K. Tiehm, A. Neis, U. (2000)

Desintegration von Klärschlamm mit Ultraschall zur anaeroben Schlammstabilisierung
Innovative Energieträger in der Verfahrenstechnik, Shaker Verlag, Aachen

Pinnekamp, J. (1987)

Steigerung der Leistungsfähigkeit der anaeroben Klärschlammstabilisierung durch eine
thermische Vorbehandlung des Schlammes
Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Band 96, Aachen

Seiler, K. Pöpel, H.J. (1998)

Klärschlamm-desintegration – Verfahren und Ergebnisse
Schriftenreihe WAR, TU Darmstadt, S. 141-176

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Lützner
Dipl.-Ing. M. Barth
TU Dresden
Institut für Siedlungs- und
Industriewasserwirtschaft
D - 01062 Dresden
Tel. 0351/4632337
Fax 0351/4637204

Dipl.-Ing. A. Huber
Dr.-Ing. habil. R. Tietze
SC Abwasser- und
Umwelttechnik GmbH
Finkenweg 7
D - 94249 Bodenmais
Tel. 09924/9434620
Fax 09924/9434629

Anlage 1

Heizwert oTS Schlamm	7 kWh / kg
oTS Rohschlamm	52 g/EW*d
GR Rohschlamm	28 g/EW * d
Heizwert Rohschlamm pro EW	0,364 kWh / EW
stabilisierter Schlamm	25 g/EW*d
Heizwert stab. Schlamm pro EW	0,175 kWh/EW
Umsatz oTS zu Faulgas	27 g/EW*d
spez. Faulgasausbeute	0,75 m ³ /kg oTS-Abbau
Faulgas pro EW	20,25 l/d
Heizwert Faulgas	6,5 kWh/m ³
Heizwert Gas pro EW	0,131625 kWh/EW
Verlust Heizwert durch Stab.	0,057375 kWh/EW
	16%

Faulschlamm ist ein schlechter Energieträger, Entwässerung günstig. Wasser muss vor bzw. in der Verbrennung verdampft werden und steht für den unteren Heizwert nicht zur Verfügung.

Trocknung und Verbrennung von entwässertem Faulschlamm:

TS-Gehalt	25 %
TS pro EW	50 g/EW*d
Menge entw. Schlamm	200 g/EW*d
Wasser	150 g/EW*d
Verdampfungswärme	0,626 kWh/kg
Verdampfungswärme pro EW	0,0939 kWh
Nutzenergie pro EW	0,0811 kWh/EW
Nutzenergie pro kg	0,4055 kWh/kg

Summe verwertbarer Heizwert **0,212725 kWh/EW**

Rohschlamm ist ein schlechter Energieträger. Entwässerung schwierig. Wasser muss vor bzw. in der Verbrennung verdampft werden und steht für den unteren Heizwert nicht zur Verfügung.

Trocknung und Verbrennung von entwässertem Rohschlamm:

TS-Gehalt	25 %
TS pro EW	80 g / EW*d
Menge entw. Schlamm	320 g / EW*d
Wasser	240 g/EW*d
Verdampfungswärme	0,626 kWh/kg
Verdampfungswärme pro EW	0,15024 kWh
Nutzenergie pro EW	0,21376 kWh/EW
Nutzenergie pro kg	0,668 kWh/kg

Verwertbare Energie **0,21376 kWh/EW**

In der Summe liefert die Kombination

a) Faulung - Entwässerung - Trocknung - Verbrennung von Faulschlamm
die gleiche Energieausbeute wie die Kombination

b) Entwässerung - Trocknung - Verbrennung von Rohschlamm.

Wegen der fehlenden Stabilisierung ist der Weg b nur für Großkläranlagen
mit unmittelbar angeschlossenem Kraftwerk umsetzbar (KA Wien)

Bei kleineren Verhältnissen ist die Faulung zu bevorzugen.

Anlage 2

		Energiekostenvergleich 12d und 25 d Schlammalter	
EW mittel, maßgeblich f. Schlammmenge	20.000,00		
Investitionskosten	1.200.000,00 DM	$OV_{C,12}$	1,3 kg/kg BSB
spez. Investitionskosten Faulung	60,00 DM/EW _{mittel}	$OV_{C,25}$	1,6 kg/kg BSB
Mehrbedarf BB für aerobe Stab.	3.000,00 m ³	$B_{d,ohne\ VK}$	60 g/EW*d
Kosten zuzusätzliches BB-Volumen	600.000,00 DM	$B_{d,mit\ VK}$	45 g/EW*d
spez. Mehrkosten BB 25 d / 12 d	30,00 DM/EW _{mittel}	$B_{a,ohne\ VK}$	21,9 kg/a
Differenz der Investitionskosten	30,00 DM/EW _{mittel}	$B_{a,mit\ VK}$	16,425 kg/a
		$OV_{C,12, jährlich}$	35,0 kg/a
Gasanfall	20,00 l/EW*d	$OV_{C,25, jährlich}$	21,4 kg/a
	7.300,00 l/EW*a		
Energieinhalt	6,50 kWh/m ³	Energiebedarf	
			0,5 kWh/kg O ₂
in Strom umsetzbar	2,17 kWh/m ³	12 d	17,52 kWh/EW*a
Stromerzeugung pro EW	15,82 kWh/EW	25 d	10,68 kWh/EW*a
Stromkosten	0,20 DM/kWh	Differenz	6,84 kWh/EW* a
Einsparung Stromkosten	3,16 DM/EW _{mittel}	Einsparung	1,37 DM/EW*a
Nutzwärme	3,25 kWh/m ³		
produzierte Nutzwärme pro EW	23,7 kWh/EW*a		
Anteil externer Verbraucher	15 %		
Wärmeabgabe an externe	3,6 kWh/EW * a		
Kosten Heizöl	0,7 DM/l	Energieeinsparung durch	
Energieinhalt	11,6 kWh/kg	Erzeugung	3,16 DM/EW*a
Einsparung Heizöl	0,31 l/EW	weniger Belüftung	1,37 DM/EW*a
	0,21 DM/EW*a	erspartes Heizöl	0,21 DM/EW*a

Summe Einsparung durch Biogas	3,38 DM/EW*a	Summe	4,75 DM/EW*a
Summe Energieeinsparung	4,75 DM/EW*a		
Schlammanfall als TS	0,045 kg/EW*d		
	16,43 kg/EW*a	Einsparung	4,75 DM/EW*a
		Energie	
		Einsparung	14,08 DM/EW*a
		Entsorgung	
Naßschlamm eingedickt			18,83 DM/EW*a
TS aerob stab	3,50 %		
TS anaerob stab	7,00 %		
Menge aerob stab	469,29 kg/EW*a		
Menge anaerob stab	234,64 kg/EW*a		
Entsorgungskosten	60,00 DM/t		
aerob stab	28,16 DM/EW		
anaerob stab	14,08 DM/EW		
Einsparung Schlamm Entsorgung	14,08 DM/EW	Einsparung	4,75 DM/EW*a
		Energie	
		Einsparung	4,69 DM/EW*a
		Entsorgung	
			9,44 DM/EW*a
TS aerob stab.	25,00 %		
TS anaerob stab	35,00 %		
Menge aerob stab	65,70 kg/EW*a		
Menge anaerob stab	46,93 kg/EW * a		
Entsorgungskosten	250,00 DM/t		
aerob stab.	16,43 DM/a		
anaerob stab.	11,73 DM/a		
Einsparung	4,69 DM/a		

