

# STEIGERUNG DER BIOGASPRODUKTION DURCH ULTRASCHALLBEHANDLUNG

Uwe Neis, Hamburg

## 1 Grundlagen

Biogas ist das Endprodukt des anaeroben Abbaues von Klärschlämmen bzw. Biomasse. Neben den gasförmigen Endprodukten entstehen beim Abbau zum Beispiel auch anorganische Verbindungen wie  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HPO}_4^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{H}_2\text{S}$ .

Klärschlamm ist ein Feststoff-Wasser-Gemisch. Rohschlämme, ein Gemisch aus Primär- und Überschussschlamm, ohne wesentliche Anteile aus Gewerbe und Industrie weisen einen organischen Anteil von etwa 65 bis 70% auf. Die organische Fraktion liegt dabei im wesentlichen als partikuläre Phase vor, entweder als organischer Feststoff des Primärschlammes oder als biologische Zelle des Überschussschlammes. Unter anaeroben Bedingungen werden die organischen Schlammbestandteile von fakultativ bzw. obligat anaeroben Mikroorganismen abgebaut.

Bei der Faulung von Rohschlamm werden in der Praxis Gasausbeuten von etwa 700 bis 1000 NL/kg oTR<sub>abgebaut</sub> erzielt. Mit zunehmendem Fettgehalt der Klärschlämme steigt im allgemeinen der Anteil der organischen Inhaltsstoffe, die biologisch gut abbaubar sind. Im Hinblick auf die Optimierung der Klärschlammfermentation kommt dem hydrolytischen Aufschluß der großen Moleküle und Feststoffe eine Schlüsselrolle zu. Die Hydrolyse ist unabhängig davon, ob sie aerob oder anaerob erfolgt, sie wird von denselben fakultativ anaeroben Bakterien bewerkstelligt. Die Hydrolyse der Rohschlammfeststoffe stellt den geschwindigkeitsbestimmenden Teilschritt des anaeroben Abbauprozesses dar, Malina & Pohland [1]. Nach den gegenwärtigen Vorstellungen greifen von den fermentativen Mikroorganismen produzierte Exoenzyme das partikuläre Material an und lösen aus Monomere heraus. Die Herstellung der Exoenzyme ist für die Mikroorganismen energetisch sehr aufwendig und vermindert den Energiegewinn und damit das Zellwachstum. Klärschlammfette werden im Mittel zu 65% umgesetzt, Kohlenhydrate zu etwa 52% und Proteine nur zu etwa 40%. Während Stärke leicht hydrolysiert und damit dem anaeroben Abbau zugänglich gemacht wird, verläuft die Hydrolyse von Cellulose deutlich langsamer. Proteine sind größtenteils leicht abbaubar. Weil sie jedoch in der Hauptsache im Protoplasma oder als Bestandteil der Zellwand vorkommen, werden sie erst nach Zerstörung der Zellen für den anaeroben biologischen Abbau verfügbar.

Auf einer Kläranlage mit Vorklärung und Schlammfäulung wird nur knapp ein Drittel des Biogases aus dem Überschussschlamm erzeugt. Beim Ausfaulen von Rohschlamm mit einem Mischungsverhältnis von Primär- zu Sekundärschlamm von ca. 1:1 (Feststoff bezogen), kann im Mittel mit einer zufuhrspezifischen Biogasausbeute von 400 bis 500 NL/kg oTR<sub>zugeführt</sub> gerechnet werden. Überschlägig kann man erwarten, daß etwa 20 bis 25 L/(E\*d) Biogas erzeugt werden. Biogas hat einen Heizwert von ca. 7 kWh/m<sup>3</sup>.

## 2 Technische Grenzen der Schlammfäulung

In der Praxis beobachten wir Abbaugrade für kommunale Schlämme zwischen lediglich 40 und 55% bei üblichen Faulzeiten. Der wesentliche Grund für diese sogenannte technische Faulgrenze ist in der komplexen Zusammensetzung des Klärschlammes zu suchen, insbesondere im Hinblick auf die partikulären organischen Komponenten wie Bakterienzellen, die enzymatisch/biologisch in vertretbaren Zeiträumen nicht abbaubar sind.

Theoretisch könnte man sich demnach vorstellen die Biogasproduktion bei der Schlammstabilisierung zu verdoppeln, wenn man dafür sorgt, dass die gesamte organische

Fraktion biologisch verfügbar gemacht wird. Heute lohnt es durchaus darüber nachzudenken, unter welchen Voraussetzungen eine Steigerung der Gasproduktion sinnvoll ist, weil mit dem Biogas ein nicht fossiler, regenerierbarer Energieträger zur Verfügung steht. Die Frage läuft also darauf hinaus zu untersuchen unter welchen Bedingungen (insbesondere die Energiebilanzen betrachtend) eine Vorbehandlung des Ausgangsmaterials Sinn macht, um die Bioverfügbarkeit der organischen Fraktion zu erhöhen, damit der anaerobe Abbau intensiviert und mehr Biogas erzeugt wird. Bioverfügbar machen heißt hier: Auflösung der organischen Feststoffe und Reduzierung der Größe der abzubauenen Moleküle. Man ersetzt quasi den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt der enzymatischen Schlamm- bzw. Biomassenhydrolyse durch eine chemische, thermische oder mechanische Vorbehandlung. Man spricht auch von Desintegration der Biomasse und versucht so die traditionelle „technische Faulgrenze“ zu überwinden. Über wissenschaftlich/technische Ansätze berichten Neis und Tiehm [2].

### 3 Ultraschall und Kavitation

Bei der Beschallung von wässrigen Medien mit Ultraschall (Frequenzbereich  $>20$  kHz), tritt der Effekt der Kavitation ein. Vereinfacht gesagt ist darunter das kurzzeitige Auftreten und Zerfallen von Wasserdampfblasen zu verstehen. Dabei kommt es im wässrigen Medium zu sehr hohen Druck- und Temperaturspitzen. In der biologischen Forschung werden Ultraschallreaktoren zum Aufschluß von Zellen verwendet. Je nach Intensität des Ultraschalles und der Länge der Beschalldauer werden die Zellen zerstört und in Fragmente zerlegt.

Man kann das Ausmaß der Zellzerstörung über den sogenannten Aufschlußgrad bestimmen. Der Aufschlußgrad bezieht den Anteil zerstörter Zellen auf die gesamte Anzahl der Zellen im Klärschlamm. Zur Quantifizierung des Aufschlusses eignet sich die Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) in der wässrigen Fraktion. Der maximal freisetzbare CSB wird durch eine chemische Hydrolyse mit Natriumhydroxid bestimmt. Der Aufschlußgrad  $A_{CSB}$  wird definiert als das prozentuale Verhältnis von CSB-Freisetzung in die wässrige Schlammphase durch Ultraschallbehandlung zur CSB-Freisetzung durch alkalische Hydrolyse, Abwassertechnische Vereinigung, [3].

Wir haben in der Vergangenheit intensiv den Einfluss unterschiedlicher Ultraschallparameter auf den Schlammaufschluß untersucht und stellen heute fest:

- Je geringer die Ultraschall-Frequenz ist, desto besser wird der Aufschluß.
- Der Zellaufschluß ist eine (lineare) Funktion der Ultraschalldosis, d.h. der eingetragenen Energie.
- Alle Schlamm-/Biomassearten lassen sich mit Ultraschall hydrolisieren, auch ausgefauter, stabilisierter Schlamm kann weiter desintegriert werden.

### 4 Intensivierung der Schlammfäulung und Biogasproduktion

Durch Aufschluß des Zellmaterials im Klärschlamm wird ein weitergehender anaerober Abbau erzielt. Die Menge des ausgefauten Schlammes wird deshalb reduziert und weist einen verminderten organischen Restgehalt auf. Infolge des gesteigerten Abbaus ergibt sich ein quantitativer Anstieg an methanhaltigem Biogas. Die Ergebnisse entsprechender Tests zeigt Abbildung 1, wo die Ganglinie der Biogasentwicklung dargestellt ist, die deutlich macht, dass ein besserer Umsatz der organischen Substanz erfolgt: die Biogasproduktion ist für den beschallten Schlamm von Beginn an deutlich höher.

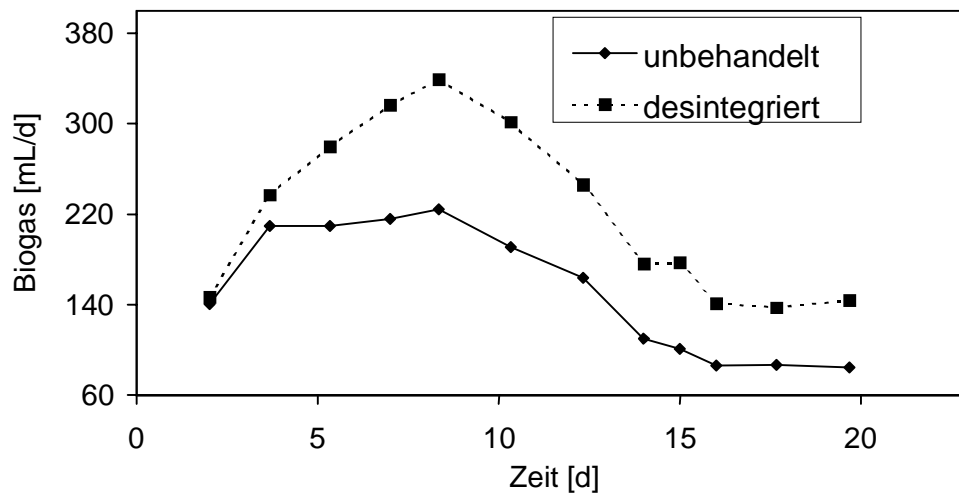


Abb. 1: Biogasentwicklung. Die Faulbehälter wurden mit unbehandeltem bzw. desintegriertem Überschussschlamm beschickt. Die Faulzeit war konstant 8 Tage. Die Ultraschallbehandlung führte zu einem Aufschlussgrad von  $A_{CSB} = 24\%$ .

Will man die Beeinflussung der anaeroben Abbaukinetik durch vorgeschalteten Zellaufschluss beurteilen, so muss die Ausfallzeit in den Fermentern variiert werden. In einem Langzeitversuch wurde Überschussschlamm bei unterschiedlichen hydraulischen Aufenthaltszeiten zwischen 4 und 16 Tagen stabilisiert. Der Schlammaufschluss erfolgte in einem Hochleistungs-Ultraschallreaktor bei 31 kHz, 8,0 W/cm<sup>2</sup> sowie 90 Sekunden Beschallzeit. Mit dieser Konfiguration wurde im Mittel wurde ein Aufschlussgrad  $A_{CSB}$  von 20% erzielt. Tabelle 1 zeigt die resultierende spezifische Biogasproduktion in den Fermentern. Werte zwischen 520 und 730 L/kg wurden beobachtet (bezogen auf den abgebauten organischen Trockenrückstand). Die Methananteile im Gas lagen unverändert zwischen 67 und 69%. Die Menge an abgebauter organischer Substanz konnte infolge des Zellaufchlusses bei 16 Tagen Verweilzeit um über 30% gesteigert werden. Eine weitere Steigerung der Abbauleistung liegt bei der verkürzten Verweilzeit von 8 Tagen vor. Der Abbaugrad wurde um über 40% gesteigert. Die höchste Abbauleistung wurde bei der kürzesten Faulzeit von nur 4 Tagen erzielt. Bemerkenswert ist, dass auch bei dieser sehr kurzen Verweilzeit der anaerobe Abbauprozess immer noch ungestört und stabil ablief, wie wir an Hand von Analysen der gelösten organischen Säuren nachweisen können.

Tab. 1: Spezifischer Gasanfall und Methangehalt des Klärgases bei der Fermentation von Überschussschlamm.

Überschussschlamm	Verweilzeit [d]	spezifische Gasanfallrate [m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> <sub>Reaktor</sub> * d)]	Methangehalt [%]
unbehandelt	16	0,19	67
desintegriert	16	0,21	68
unbehandelt	8	0,31	68
desintegriert	8	0,36	69
desintegriert	4	0,52	68

## 5 Diskussion

Das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) vom 29. März 2000 wird den Anstoß geben zum Bau von neuen Anlagen zur Stromgewinnung und Kraft-Wärme-Kopplung. Die Stromgewinnung aus Biomasse wird dadurch in Zukunft gefördert. Im EEG ist die abgestufte Vergütung von Strom aus Biomasse festgesetzt: 0,102 EUR/kWh bis zu einer installierten elektrischen Leistung von 500 kW, 0,092 EUR/kWh bis 5 MW und 0,087 EUR/kWh bis 20 MW. Erneuerbare Energien sollen nach Wunsch der Bundesregierung im Strombereich einen Anteil von 20% bis zum Jahr 2020 erreichen. Heute werden erst 1,6 Mrd. kWh oder 0,3% aus Biomasse gewonnen [4]. Man schätzt, dass in der Landwirtschaft etwa 200.000 neue Fermenter gebaut werden, um Methan aus Biomasse zu produzieren. Nimmt man als mittlere Größe für einen Fermenter 100 m<sup>3</sup> an, so ergibt sich Neubau-Potenzial von insgesamt 20 Mio. m<sup>3</sup> Fermentervolumen. Die Investitionskosten dafür sind etwa  $10 \cdot 10^3$  Mio. EUR. Die Bemessungskriterien für anaerobe Reaktoren sind identisch, gleichgültig ob wir Klärschlamm oder andere Biomasse behandeln. Konventionell wird auf 20 Tage Aufenthaltszeit (= Reaktionszeit) dimensioniert. Wir erwarten, dass durch Ultraschall-Vorbehandlung dieser Wert im Mittel um 60% reduziert wird. Dagegen sind die Anschaffungskosten für Ultraschallgeräte anzusetzen. Letztlich ist es in jedem Fall natürlich notwendig eine solide Kosten-Nutzen-Rechnung vorzunehmen. Als Beispiel betrachten wir hier das folgende Szenario.

Eine kommunale Kläranlage mit 75.000 EW, tägliche Schlammproduktion von 120 m<sup>3</sup> (TS = 6 %, organische Fraktion = 75%). Ziel: Maximierung der Biogasproduktion durch Zugabe von organischem Ko-Substrat aus Landwirtschaft oder Nahrungsmittelindustrie. Es wird ein Ultraschallreaktor benötigt von 30 kW Anschlussleistung (siehe unten abgebildetes Muster). Diese Geräte sind sehr kompakt (25 Liter Volumen). Wir schreiben sie auf 10 Jahre ab, was Jahreskosten von 30.000 EUR für das 30-kW-System ergibt. Die Betriebskosten werden von den Kosten für die Stromversorgung des Ultraschallreaktors dominiert. Die jährlichen Betriebskosten (Strom: 0,075 EUR/kWh, Wartung etc.) sind insgesamt 19.710 EUR. Mit vorgeschalteter Ultraschall-Desintegration werden 60% des Fermenter-inhaltes eingespart. Oder anders ausgedrückt: der Fermenter wird mit der entsprechenden Menge zusätzlichen Ko-Substrates beschickt; in diesem Beispiel sind es 180 m<sup>3</sup> täglich mehr an Biomassenzugabe. Daraus können pro Tag zusätzlich 3.000 m<sup>3</sup> Biogas erzeugt werden. Umgewandelt in elektrischen Strom lässt sich daraus ein Erlös von 350.000 EUR im Jahr erzielen. Resultat: es wird ein klarer Gewinn erwirtschaftet.

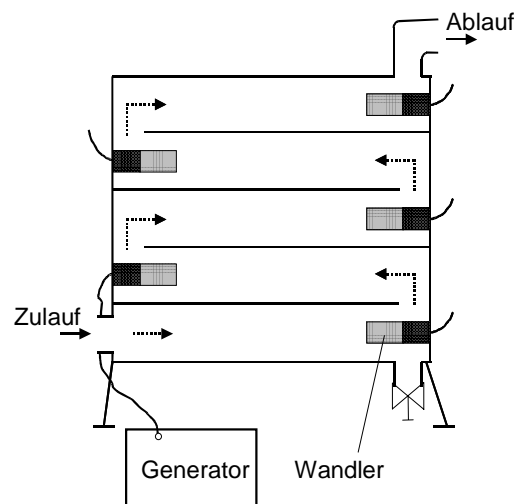


Abb. 3: Hochleistungs-Ultraschallreaktor (Frequenz 20 kHz, 5 kW Leistung) der Fa. WAVES Wasser und Umwelttechnologien GmbH, Hamburg.

## Literatur

- [1] Malina, J.F. und Pohland F.G. (1992). Water Quality Management Library, Vol. 7: Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes. Technomic Publishing Company, Lancaster, USA.
- [2] Neis, U. und Tihm, A.(1999). Ultrasound in Waste Water and Sludge Treatment. In: Tihm, A., Neis, U. (Hrsg.) Ultrasound in Environmental Engineering. TUHH Reports on Sanitary Engineering, 25, Technische Universität Hamburg-Harburg: 39-61.
- [3] Abwassertechnische Vereinigung (2000). Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 3.1.6: Verfahren und Anwendungsgebiete der mechanischen Klärschlamm-Desintegration. Korrespondenz Abwasser, Heft 4, 47: 570-576.
- [4] VDI Nachrichten, 20. April 2001, Nr.16: 24.