

Kurzfassung

Schlagwörter: kommunale mesophile Schlammfäulung, hoher Trockensubstanzgehalt, Optimierungspotential, Mischenergie, Durchmischungsgrad, Rheologie, hydraulischer Druckverlust, Sandakkumulation

In dieser Arbeit wird das Optimierungspotential für kommunale Kläranlagen bei Umstieg von aerober auf anaerobe Schlammstabilisierung dargestellt. Chancen, Grenzen und Herausforderungen werden erläutert.

Ändert man die Art der Schlammstabilisierung von aerob auf anaerob, ergibt sich großes Einsparungspotential hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Entsorgungskosten des anfallenden Klärschlammes. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass der Grad der Stabilisierung und der Entwässerbarkeit steigen. Außerdem können dadurch Kapazitätsreserven der biologischen Reinigung genutzt werden.

Die theoretischen Grundlagen für die Ermittlung des erforderlichen Schlammalters bei einstufigen Schlammfäulanlagen im mesophilen Bereich werden erläutert. Dabei hat sich gezeigt, dass bei der Bemessung neben theoretischen Grundlagen auch Praxiserfahrungen unabdingbar sind, um einen stabilen Betrieb und einen guten Stabilisierungsgrad zu gewährleisten.

Wird die Fäulung mit erhöhtem organischem Trockensubstanzgehalt betrieben, wird durch Hydrolyse vergleichsweise mehr Stickstoff und Phosphor in Lösung gebracht. Je höher der pH-Wert, desto größer ist die Gefahr kristalliner Ausfällungen an Phosphor (hauptsächlich als MAP), die sich im Schlamm oder als Anlagerung, z.B. an Rohrleitungen wieder finden, wo diese Probleme bereiten können. Stickstoff wird freigesetzt und dissoziiert in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur zu Ammoniak und Ammonium. Das Ammonium erhöht mit Hydrogencarbonat die Pufferkapazität, sodass der pH-Wert stabilisiert wird und etwas steigt.

Organische Säuren und Schwefelwasserstoff dissoziieren mehr, je höher der pH-Wert ist. Da vor allem deren undissoziierte Anteile hemmend auf die Methanbakterien wirken, ist die Erhöhung des pH-Wertes in diesem Zusammenhang günstig. Beim Ammoniak verhält es sich umgekehrt, da hier ein Anstieg des pH-Wertes das Verhältnis von Ammonium/Ammoniak zum giftigen Ammoniak verschiebt. Bleibt der pH-Wert stabil, ist dieses Problem nicht latent.

Auf der Hauptkläranlage-Wien (HKA-Wien) wurden Versuche durchgeführt. Die HKA-Wien ist bereits von der Planung her eine Anlage mit geringem Energiebedarf mit Rohschlammverbrennung. Durch die 2-stufige Belebungsanlage gelingt es mehr Energie in den Schlamm einzulagern als bei einer einstufigen Anlage. Mit Hilfe einer Schlammfäulung mit Faulgasverstromung kann in der Anlage mehr elektrische Energie erzeugt werden als für den Betrieb notwendig ist.

Im Zuge des derzeit in Umsetzung begriffene Projekt EOS (Energieoptimierung-Schlammbehandlung der Hauptkläranlage Wien) wird eine Schlammfäulanlage errichtet, für die eine Minimierung der Investitionskosten angestrebt wird. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Pilotanlage zur Schlammfäulung im halbtechnischen Maßstab betrieben

($V_{FB} = 130 \text{ m}^3$). Die Anlage wurde mit maschinell eingedicktem Rohschlamm, einer Mischung aus Primär- und Überschussschlamm, der 2-stufigen Abwasserreinigungsanlage, beschickt. Dieser energiereiche Schlamm hatte einen Glühverlust von etwa 75 bis 81 %. Die Schlammeindickung erfolgte mittels Seihband. Die sich einstellende Trockensubstanzkonzentration des Faulschlammes (TS_{FS}) lag zwischen 3,7 und 4,1 %. Die Temperatur lag im Regelbetrieb bei etwa 38 °C. Bei einem Schlammalter ($t_{TS,FB}$) von etwa 24 Tagen wurde ein durchschnittlicher oTS-Abbau von 50,5 % und ein CSB-Abbau von 59,4 % ermittelt. Bei Verkürzung des Schlammalters auf etwa 20 Tage war der ermittelte Abbau ähnlich. Der oTS-Abbau lag bei 52,7 % und ist damit etwas höher als bei 24 Tagen Schlammalter. Die leichte Erhöhung kann auf die Unschärfe der Bestimmung bzw. auf den jahreszeitlichen Einfluss zurückzuführen sein. Der CSB-Abbau war mit 59,3 % praktisch gleich groß wie bei 24 Tagen Schlammalter. Der Methangehalt des produzierten Gases lag zwischen 63 und 65 %. Durch die erhöhte Trockensubstanz stellte sich eine Ammoniumkonzentration zwischen 1.800 und 1.900 mg/L ein. Der pH-Wert lag zwischen 7,4 und 7,5.

Bei der maschinellen Schlammeindickung soll ein hoher Wirkungsgrad der Feststoffabtrennung erreicht werden. In der Praxis ist die Verifikation aufgrund fehlender Durchflussmessungen oft nicht möglich. Es wird ein Vorschlag zur Berechnung des Abscheidegrades erarbeitet und ein praxisgerechtes grafisches Verfahren zur Ermittlung des spezifisch eingesetzten Polymers vorgestellt.

Durch die Eindickung kommt es zur Veränderung der rheologischen Schlammeigenschaften. Die theoretischen Grundlagen des Verhaltens von Newtonschen und nicht-Newtonschen Flüssigkeiten werden erklärt und ein Algorithmus zur Berechnung der hydraulischen Verluste in Rohrleitungen vorgestellt. Anhand von ermittelten Fließparametern (Fließindex n und Konsistenzfaktor K) werden die hydraulischen Verlusthöhen h_r anhand von Beispielen quantifiziert. Bei einem Rohr mit einer Länge $l = 100 \text{ m}$ und einem Durchmesser $D = 0,2 \text{ m}$ errechnet sich bei einer Geschwindigkeit $v = 0,5 \text{ m/s}$ bei Wasser ein hydraulischer Druckverlust von 0,12 m. Bei Faulschlamm ist dieser etwa um den Faktor ($h_{r,FS} / h_{r,Wasser}$) 2 bis 3 größer. Der Faktor für den hydraulischen Druckverlust zwischen Rohschlamm und Faulschlamm ($h_{r,RohS} / h_{r,FS}$) beträgt 12 bis 55. Bei höherer Geschwindigkeit werden die absoluten Verluste größer, die relativen Verhältnisse jedoch kleiner. So beträgt der Faktor bei $v = 2,0 \text{ m/s}$ bei Faulschlamm zu Wasser ($h_{r,FS} / h_{r,Wasser}$) etwa 1,2 bis 1,5 und bei Rohschlamm zu Faulschlamm ($h_{r,RohS} / h_{r,FS}$) etwa 3 bis 10.

Der Einfluss des in der Faulung entstehenden Gases auf die Durchmischung wird in der vorliegenden Arbeit untersucht. Eine Formel zur Ermittlung der Energiedichte wird vorgestellt und der Zusammenhang zwischen Gasproduktion, Reaktorhöhe und Energiedichte hergestellt. Anhand von Betriebsdaten der Pilotanlage wurde die erforderliche Gasproduktion für vollständige Durchmischung (Energie der aufsteigenden Blasen) mit 1,0 bis 1,3 W/m³_{FB} quantifiziert.

Die im Faulschlamm enthaltene Gasmenge ist im Wesentlichen von der Tiefe des Reaktors abhängig. Bei spontaner Durchmischung des Reaktors kann ein erheblicher Anteil davon entweichen. Bei einem Methangehalt des Faulgases von 64 % und ohne Berücksichtigung des

Gasüberdrucks im Gasraum des Faulbehälters beträgt die austreibbare Gasmenge $0,0115 \cdot h_{\text{FB}} \cdot V_{\text{FB}}$ [m³]. Darüber hinaus ist mit einer Gasübersättigung zu rechnen, die bei einem Versuch bei 41 % lag.

Eine Abschätzung zur Quantifizierung des sich akkumulierenden Sandes im Faulbehälter wird durchgeführt. Bei der Pilotanlage, die mit einer TS von 3,4 % (Medianwert über 18,4 Monate) betrieben wurde betrug die Sandakkumulation $\sim 0,71 \text{ cm}/(m_{\text{FB}} \cdot a)$.

Abstract

Keywords: municipal mesophilic digestion, high solid content, optimization potential, mixing-energy, mixing efficiency, rheology, hydraulic loss, sand-accumulation

This work outlines the potential for the optimization of municipal wastewater treatment plants when switching from aerobic to anaerobic sludge stabilization. Opportunities, challenges and limitations are explained.

By changing the type of sludge-stabilization from aerobic to anaerobic, a large saving potential with respect to energy-consumption and disposal costs for the stabilized sludge can be expected. Improved stabilization and dewatering of the sludge are further benefits of this process change. Moreover, anaerobic sludge treatment frees up capacity in the biological wastewater treatment stage.

The theoretical backgrounds for the calculation of the required sludge retention in mesophilic single-stage digester systems are discussed. It has been demonstrated that for the design beside of theoretical backgrounds also practical experiences are essential to ensure a stable process and a good level of stabilization.

Operating the digesters with increased dry solid matter, relatively more nitrogen and phosphor will be released by hydrolysis. The higher the pH-value, the higher the risk of crystalline precipitation of phosphor (mainly MAP), which can be found in the digested sludge or as incrustation, e.g. in pipes, where it can cause severe problems. Nitrogen will be resolved and dissociate in dependency of the pH-value and temperature to ammonium and ammonia. The ammonium increases in combination with hydrogen carbonate the buffering capacity, so that the pH-value will be stabilized and slightly increased.

With higher pH, higher dissociation rates of organic acids and hydrogen sulfide are expected. Their undissociated fractions inhibit the methane bacteria, thus increasing the pH-value in this context is advantageous. For ammonia it is different, an increase of pH will shift the ammonium/ammonia ratio towards toxic ammonia. Consequently, a stable pH-value is necessary to avoid these addressed problems.

Test were realized at the main wastewater treatment plant of Vienna (WWTP-Vienna). The WWTP-Vienna has originally been designed in a way to minimize the energy-demand with incineration of raw-sludge. As a result of the 2-stage activated sludge plant it is possible to transfer more energy into the sludge in comparison to single stage plants. With the anaerobic sludge digestion and the conversion of the digester gas into electricity, more electrical energy can be produced in comparison to the demand of operating the plant.

As part of the project EOS (energy optimization sludge treatment of the WWTP-Vienna), a sludge digestion plant will be build, for which the investment costs should be minimized. As part of this project a pilot plant was operated in half technical scale ($V_{digester} = 130 \text{ m}^3$). The digester was fed with a mixture of primary and excess sludge (raw sludge) of the 2-stage WWTP. This sludge had an organic solid content in the range of 75 to 81 % of the total solids. The sludge was mechanically thickened using a gravity drainage deck. The dry solid content

of the digested sludge was in the order of 3.7 to 4.1 %. The temperature of the digester was set to 38°C. At a retention time of ~24 days, the average reduction of volatile solids (VS) was 50.5 % and a COD reduction of 59.4 % could be obtained. At reduced sludge retention time of 20 days, a slightly higher VS-degradation of ~52.7 % was determined. This variance may be due to the uncertainty of the determination or the seasonal influence. COD removal was identical (59.3 %). The methane content of the produced gas was 63-65 %. As a consequence of the increased dry solid content, the ammonium concentration in the liquid phase ranged between 1800 and 1900 mg/L. The pH-value ranged from 7.4 to 7.5.

To reach the aspired high dry matter content of the feeding sludge, special focus needs to be given to the mechanical sludge thickening unit. In practice, verification of the separation efficiency is often not given, due to missing flow measurements. Thus, a methodology for the calculation for the separation efficiency was proposed and a practical graphical method to determine the specific load of polymer is presented.

As a result of the thickening, significant changes in the rheological sludge properties are expected. The theoretical fundamentals of the behavior of Newtonian and non-Newtonian fluids in pipes are explained and an algorithm to calculate the hydraulic losses is presented. Based on the determined flow parameters (flow index n , and consistency factor K) the hydraulic head losses are quantified based on trials. In a pipe with a length of $L = 100$ m and a diameter of $D = 0.2$ m the calculated hydraulic head loss of water at a velocity of $v = 0.5$ m/s is 0.12 m. Compared to water, digested sludge shows a higher hydraulic head loss by the factor of 2 to 3, while the factor between raw and digested sludge is 12 to 55. At higher velocity, the absolute hydraulic head losses are higher, but the relative proportions are smaller. At a typical velocity of $v = 2.0$ m/s, the factor between digested sludge and water is 1.2 to 1.5 and between raw and digested sludge 3 to 10.

The influence of the produced gas on the mixing in the reactor was observed. A formula to calculate the energy density and the relationship between gas production, reactor height and energy density is shown. On the basis of the determined operational data, the required energy density for a complete mixing of the reactor is 1.0 to 1.3 W/m³.

The amount of dissolved gas in the digested sludge is mainly related to the depth of the reactor. In case of spontaneous reactor turnover, a significant additional amount of gas can escape from the sludge. Taking into account a methane content in the digester gas of 64 %, neglecting the gas overpressure in the gas-space of the digester, the amount of gas which could be desorbed is $0.0115 \cdot h_{\text{digester}} \cdot V_{\text{digester}}$ [m³]. Additionally, the supersaturation of gas has to be considered, which was 41 % (one experiment).

Due to higher dry matter content, increased sand-accumulation in the digester is expected, which was extrapolated from the pilot plant to quantify the amount of sand in the full scale digester. During the 18 month operation and a dry matter content of 3.4 %, the specific annual sand accumulation was ~0.71 cm/(m·a).