

Abbaufunktionen bei der Klärschlammstabilisierung

Karl A. Wuhrmann

Résumé: Dynamique de la stabilisation des boues résiduelles

Les paramètres de digestion: température, densité de population, taux de la matière dégradable dans la MV et potentiel de dégradation déterminent la dynamique du procédé.

Cette étude examine les effets nettement différents de ces paramètres en fonction du mode d'opération: charge unique ou charge continue d'un réacteur à mélange parfait. Il est donc nécessaire de prêter spécialement attention à ces différences lors d'une comparaison entre des essais de laboratoire et des procédés techniques.

Synopsis: Dynamics of sewage sludge stabilization

The digestion parameters: temperature, population density, portion of degradable substance in the VS and degradation potential determine the dynamics of the process.

This paper deals with the dissimilar effects of the above parameters as a function of the operating principle: batch versus continuously fed, fully mixed reactor. Special attention should be given to these differences when comparing laboratory tests with full scale plants.

Unter biologischem Abbau versteht man allgemein die Zerlegung von organischen Verbindungen durch die Tätigkeit von Lebewesen. Insbesondere ist damit die Veratmung von Substanz durch Mikroorganismen gemeint, d. h. die vollständige Zerlegung gewisser Substratanteile, die zwangsläufig mit einer Teilerlegung oder Umwandlung anderer Substratanteile verbunden ist. Bei diesem Prozess verschwinden in erster Linie leicht abbaubare Substanzen (Faulung, Vergärung), deren Abbau häufig mit dem Entstehen von übelriechenden Zwischenprodukten verbunden ist.

Wird der Abbau organischer Verbindungen, die häufig dem einfach zu bestimmenden Glühverlust GV_0 gleichgesetzt werden, in einem bestimmten Ausmass vorgenommen, das wir mit ΔGV bezeichnen, so spricht man von Stabilisierung. Das Ausmass der Veratmung gilt somit als Mass für die Wahrscheinlichkeit, dass die Reste des Substrates und der Biomasse später zu keinen Geruchsbelästigungen führen.

Die Aufteilung des Glühverlustes in leicht abbaubare und schwer oder nicht abbaubare Substanz ist willkürlich und nicht genau definiert. Aus Erfahrung ist bekannt, dass bei Frischschlamm eine Reduktion des Glühverlustes um 30 bis 50 % mit einem weitgehenden Verschwinden von übelriechenden Substanzen und solchen, die bei weiterer biologischer Tätigkeit zur Geruchbildung führen, verbunden ist.

Den entsprechenden Abbaugrad nennt man Stabilitätsgrenze. Sie variiert je nach Schlammart und Temperatur im obengenannten Bereich, liegt also häufig bei 40 % für Klärschlamm.

Für die analytische Behandlung des Abbauprozesses muss man seine Parameter kennen:

Prozesstemperatur ϑ_p

Populationsdichte der spezifisch erforderlichen Organismen

Anteil an leicht abbaubarer Substanz A im GV_0 , $k = A/GV_0$

Abbaupotential P , d. h. der momentan verfügbare Anteil an leicht abbaubarer Substanz, gemessen an der ursprünglich vorhandenen Menge A .

Der Abbau ist eine Funktion der Verweilzeit. Zur Darstellung der Zeitfunktion müssen Vereinfachungen vorgenommen werden. Unter den Voraussetzungen:

Prozesstemperatur konstant

Populationsdichte von Anfang an genügend für volle Bioaktivität

ist der zeitliche Verlauf von $a = \Delta GV/V_0$ proportional zum Abbaupotential P und eine Funktion der Verweilzeit t_v des Substrates.

$$P = 1 - e^{-\frac{t_v}{T}} \quad (1)$$

wörin T die Zeitkonstante des Prozesses darstellt. Diese hängt vom Dispersionsgrad des Substrates und der Reaktionsgeschwindigkeit der abbaulichen Organismen ab.

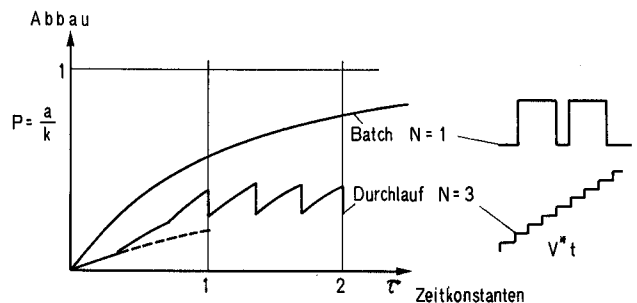


Bild 1. Der Abbau im Batchprozess sowie im intermittierenden Durchlaufverfahren mit 3 Chargen zur Auffüllung des Reaktorinhalts V_R .

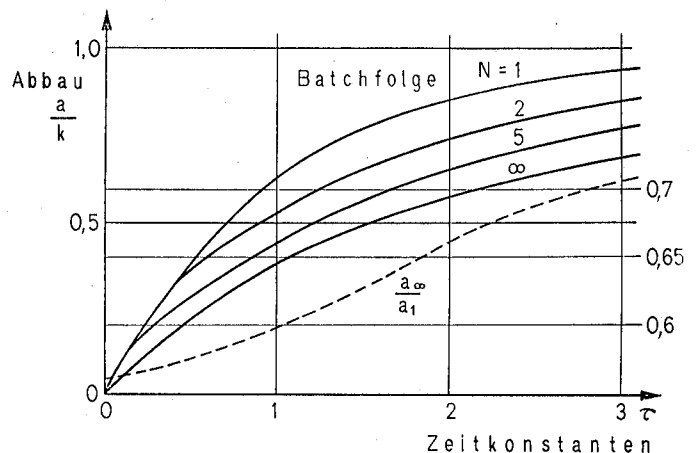


Bild 2. Abbauverlauf bei variablen Prozessparametern ohne Berücksichtigung der Anlaufkurve

a Abbaugrad = $\Delta GV/GV$

k Anteil der total abbaubaren Substanz

τ relative Batchzeit = V_R/V^*T

wörin V_R Reaktorvolumen

V^* Volumendurchsatz

T biologische Zeitkonstante

N Chargenzahl = V_R/V_c mit V_c = Chargenvolumen

a_∞/a_1 Abbauverhältnis zwischen Batch- und stetig beschicktem Mischer

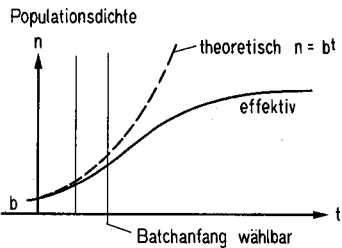


Bild 3, links. Verlauf der Populationsdichte n in Funktion der Zeit t .

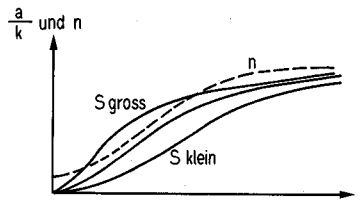


Bild 4, Mitte. Verlauf von Populationsdichte n und Abbaugrad a/k bei verschieden starker Impfung S .

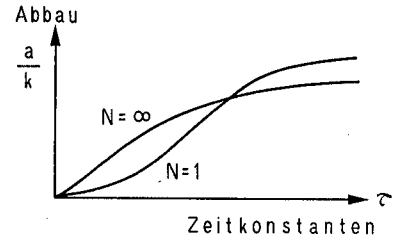


Bild 5, rechts. Gegenüberstellung der Abbauleistungen je eines Batchreaktors und eines stetig gespeisten Durchlauf-Mischreaktors, wobei vorausgesetzt wird, dass die Anlauffunktion $P=f(\tau)$ durch eine inhärente Anlaufzeitkonstante gekennzeichnet ist, die wesentlich grösser ist als diejenige der Abbaufunktion. τ = relative Batchzeit = V_R/V^*T ; a/k = Abbaurrate der abbaubaren Substanz.

Der Abbaugrad a ist mit P verknüpft durch den Umstand, dass

$$\Delta A = \Delta GV \quad a = \Delta GV / GV_0 = k \Delta A / A \quad P = a/k$$

$$\text{somit } a = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2)$$

Die Verweilzeit t_v wird bestimmt durch die Grösse des Reaktors V_R und diejenige der Chargen V_c . Im folgenden verwenden wir das Verhältnis

$$N = V_R / V_c$$

Ferner ist t_v bestimmt durch den volumetrischen Durchsatz V^* durch den Reaktor. Als Batchzeit t_B gilt die Verweilzeit der Charge, wenn $N = 1$. Sie ist demnach

$$t_B = V_R / V^*$$

oder relativ zu T

$$\tau = t_B / T = V_R / V^* T \quad \text{relative Batchzeit}$$

Der intermittierend beschickte Mischreaktor als gebräuchliches Mittel für den biologischen Abbau liefert einen Abbaugrad, der am Ende jedes Chargenintervalls in Erscheinung tritt, wenn der als ideale Mischung des Reaktorinhalts vorausgesetzte Faulschlamm abgezogen wird. Im oben genannten Zeitpunkt befinden sich im Mischreaktor N Chargen mit unterschiedlicher Verweilzeit, nämlich je eine Fraktion mit Verweilzeiten von $i\tau/N$ wobei $i = 1$ bis N .

Der Abbaugrad wird also

$$P = a/k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - e^{-\frac{i\tau}{N}}) \quad (3)$$

Bild 1 zeigt als Beispiel den Abbau im Batchprozess sowie im intermittierenden Durchlaufverfahren mit 3 Chargen zur Auffüllung des Reaktorinhalts V_R .

Allgemein verwendbar für verschiedene Werte τ ist die Darstellung nach Bild 2 die vom Batchprozess $N = 1$ bis zum stetig beschickten Mischreaktor $N = \infty$ die Abbaugrade angibt.

Diese Darstellung gestattet, Prozesse zu optimieren, bei denen die abbauaktiven Populationen in genügender Menge in der Charge enthalten sind oder so schnell wachsen, dass sie jederzeit zur vollen Ausnützung des Substratpotentials befähigt sind.

Wo dies nicht der Fall ist, müssen sich nach jeder Charge die Populationen auf das dem Substratpotential angemessene

Ausmass n — eventuell auf das biologisch mögliche Maximum der Populationsdichte — vergrössern.

Bei extrem langsam wachsenden Organismen (z. B. den Methanbakterien) wird praktisch immer mit einer Impfung gearbeitet, d. h. auch im Batchversuch müssen gewissermassen «Starter» beigefügt werden, so dass die so erhaltenen Abbaufunktionen nicht im theoretischen Zeitpunkt 0 anfangen. Je grösser die Impfgabe, desto steiler die Anfangstangente der Wachstumskurve, aber desto geringer die verfügbare Substratmenge. Nimmt man vereinfachend an, dass der Abbau ohne Zeitverzug proportional zur verfügbaren Populationsdichte und zum Abbaupotential erfolgt, so kann die Abbaufunktion des Batchprozesses entsprechend der Impfintensität S parametrisiert werden.

Umgekehrt ist im geimpften Reaktor der Anteil des Abbaubaren k_i

$$k_i = k(1 - S) + a_s S$$

wobei a_s den Abbauzustand der Impfmasse bezeichnet. Wird letztere dem Produkt des selben Prozesses entnommen, so haben wir es mit einem Mischreaktor zu tun mit $S + 1/N$. Für $N = \infty$ nähert sich die Funktion $a/k = f(\tau)$ dem in Bild 2 angegebenen Verlauf.

In Bild 5 sind die Abbauleistungen je eines Batchreaktors und eines stetig gespeisten Durchlauf-Mischreaktors einander gegenübergestellt, wenn vorausgesetzt wird, dass die Anlauffunktion $P = f(\tau)$ durch eine inhärente Anlaufzeitkonstante gekennzeichnet ist, die wesentlich grösser als diejenige der Abbaufunktion ist.

Daraus ist ersichtlich, dass in diesem Fall der Durchflussmischreaktor in einem wesentlichen Bereich von τ dem Batchreaktor an Abbauleistung überlegen ist.

Folgerung

Die praktische Anwendung dieser Erkenntnisse bei der Stabilisierung von Klärschlamm zeigt, dass für die Belüftung (aerobe Stabilisierung mit kurzer Anlaufzeitkonstanten) der Batchprozess, für die anaerobe Methangärung (Faulung mit grosser Anlaufzeitkonstanten) der Mischdurchlaufreaktor für eine bestimmte Batchzeit τ , d. h. gegebenen Durchsatz und gegebenes Reaktorvolumen, die höheren Abbaugrade a liefert. Auch bei der Übertragung von Laborversuchen auf praktische Anwendungen sind diese Erkenntnisse von Bedeutung.

Adresse des Verfassers: Karl A. Wuhrmann, dipl. Ing. ETH, EAWAG, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf.