

Co-Vergärung in kommunalen Faulbehältern

Ein CSB-basierter Ansatz zur Bestimmung von Freivolumen

Ingo Urban und Holger Scheer (Essen)

Zusammenfassung

Die Bemessung von Faulräumen sowie die Bestimmung von Freivolumina zur Co-Vergärung erfolgt in der Regel über die zulässige Faulzeit und die Raumbelastung mit organischer Trockensubstanz (oTR). Die Verwendung der oTR-Raumbelastung als Bezugsgröße ist solange unkritisch, wie als Substrate vorwiegend Klärschlämme kommunaler Kläranlagen hinzugezogen werden, die sich in ihrer Zusammensetzung nur geringfügig unterscheiden. Werden jedoch andere Co-Substrate mit teils erheblich abweichenden Energiegehalten verwendet, wird eine Bestimmung der zulässigen Co-Substratmenge schwierig. Gerade bei stark energiehaltigen Co-Substraten kann bei einer Abschätzung über die oTR-Raumbelastung eine Überladung des Faulbehälters eintreten. Diesem Problem soll mit dem vorliegenden CSB-Ansatz begegnet werden. Über den CSB kann der tatsächliche Energiegehalt wesentlich genauer wiedergegeben werden als über den oTR. Zusätzlich lässt sich über den CSB der Energiegehalt von flüssigen Substraten relativ einfach bestimmen.

Schlagwörter: Abfall, Klärschlamm, Co-Vergärung, Faulbehälter, kommunal, Trockensubstanz, organisch, Bemessung, CSB

DOI: 10.3242/kae2011.01.004

Abstract

Co-Digestion in Municipal Digester Tanks A COD-based Approach to Determine Free Volume

The design of digester tanks as well as the determination of free volumes for co-digestion normally is based on admissible digestion time and volumetric loading with organic dry matter. The use of organic dry matter volumetric loading as a reference value is not critical as long as the substrates that are added are mainly sewage sludge from municipal wastewater treatment plants, which hardly vary in their composition. If other co-substrates with sometimes greatly diverging energy contents are used, however, it becomes difficult to determine the admissible quantity of co-substrate. Above all in the case of co-substrates with very high energy content, estimates on the basis of organic dry matter volumetric loading may lead to an overcharging of the digester tank. This problem can be solved by using the COD approach that is presented in this paper. On the basis of the COD, the actual energy content can be identified much more precisely than on the basis of organic dry matter. In addition, by using the COD approach, the energy content of liquid substrates can be determined relatively easily.

Key words: waste, sewage sludge, co-digestion, digester, municipal, dry matter, organic, design, COD

1 Veranlassung

Die Bemessung von Faulbehältern erfolgt üblicherweise über die Faulzeit und die Fracht an organischer Trockensubstanz (oTR). Bei einer reinen Beschickung von Faulbehältern mit kommunalen Schlämmen ist dieser Ansatz erprobt und führt zu guten Ergebnissen [1]. Eine abweichende Zusammensetzung von Schlämmen und auch Co-Substraten findet bei diesem Ansatz jedoch keine Berücksichtigung. Gerade die Zusammensetzung von Co-Substraten weicht teils erheblich von der von kommunalen Schlämmen ab. So haben flüssige Co-Substrate, wie zum Beispiel überlagerte Restmengen aus der Getränkeindustrie (zum Beispiel Bier, Wein) einen vernachlässigbaren oTR-Gehalt, jedoch ganz eindeutig einen hohen Energiegehalt. Um auch für diese Schlämme die zulässigen Co-Substrat-Mengen möglichst genau abschätzen zu können, wurde nach einem

genaueren Ansatz zur Bestimmung gesucht. Als Basis für diesen Ansatz wurde der CSB-Gehalt des Substrats gewählt.

2 Bemessungsansätze von Faulbehältern

Faulbehälter sind anaerobe Durchlaufreaktoren, die üblicherweise im mesophilen Temperaturbereich (ca. 35 °C) betrieben werden. Da es keine Vorrichtungen zum Biomassenrückhalt gibt, sind in einem Faulbehälter Schlammlager und hydraulische Verweilzeit nicht entkoppelt. Die Faulzeit entspricht somit sowohl dem Aufenthalt des Substrats als auch der Biozönose im System. Eine detaillierte Vorgabe zur Bemessung von Faulbehältern, wie zum Beispiel das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 [2] für aerobe Belebungsverfahren, existiert nicht. Vielmehr er-

Anlagengröße	< 50 000 EW	50 000–100 000 EW	> 100 000 EW
Faulzeit [d]	20–30	15–20	15–18
Raumbelastung [kg oTR/(m ³ × d)]	1,5	3,0	4,5
organische Säuren [mg/L] (gemessen im Reaktor)	< 300 im täglichen Betrieb		

Tabelle 1: Richtwerte für Faulraumbemessung nach [3]

Anlagengröße	40 000 EW	
Schlammengen gemäß ATV-DVWK-M 368 [4]	kg oTR/d	kg TR/d
Primärschlamm ($t_{R,VKB} = 1,0$ h)	938	1400
Überschussschlamm ($t_{RS} = 15$ d)	974	1392
Rohschlamm	1912	2792
Rohschlammmenge (Eindickgrad = 40 g TR/L)	70 m ³ /d	

Tabelle 2: Kennwerte der 40 000-EW-Beispielanlage

folgt die Bemessung überschlägig über die Raumbelastung und die Faulzeit (Tabelle 1). Die Faulzeit orientiert sich dabei an der Generationszeit der beteiligten Mikroorganismen.

In Tabelle 1 sind die Faulzeit sowie die maximal zulässige Raumbelastung in Abhängigkeit von der Anlagengröße wiedergegeben. Durch die Staffelung entsprechend den angeschlossenen EW-Gleichwerten wird eine gewisse Überkapazität und damit Sicherheit für kleinere Anlagen erreicht. Über die Angabe eines maximal zulässigen Gehalts an organischen Säuren im Reaktor (gemessen im Ablauf des Faulbehälters) soll sichergestellt werden, dass der Schlamm ausreichend stabilisiert ist, zusätzlich können in diesem Wertebereich Substrathemmungen infolge einer gesteigerten Hydrolyse ausgeschlossen werden (ATV-DVWK-M 368).

Eine grafische Aufbereitung der Bemessungswerte ist in Abbildung 1 wiedergegeben. Hier sind die Zusammenhänge zwischen Rohschlammmenge (linke y-Achse), Rohschlammfracht (rechte y-Achse) und Faulbehältervolumen dargestellt. Zur Bemessung von Faulbehältern wird ausgehend von der y-Achse das erforderliche Faulbehältervolumen abgelesen, wobei der größere Wert für das Faulbehältervolumen maßgebend ist.

Es ist auf die Wahl der richtigen Faulzeit bzw. Raumbelastung zu achten. Die Vorgehensweise wird anhand des Beispiels einer 40 000-EW-Anlage verdeutlicht (Tabelle 2).

Für eine Kläranlage mit 40 000 angeschlossenen EW ist gemäß Tabelle 1 eine *minimale* Aufenthaltszeit von 20 d sowie eine *maximale* oTR-Raumbelastung von 1,5 kg/d maßgebend.

Entsprechend der Darstellung in Abbildung 2 ergibt sich das erforderliche Faulbehältervolumen zu 1350 m³ (bezogen auf die Faulzeit) bzw. 1750 m³ (bezogen auf die Raumbelastung). Da beide Kriterien eingehalten werden müssen, ist in diesem Fall das größere Volumen (1750 m³) maßgebend.

Das Diagramm kann zusätzlich auch zur Bestimmung der Freivolumen für eine Co-Vergärung genutzt werden. In diesem Fall werden ausgehend von dem bestehenden Faulbehältervolumen die maximal mögliche Rohschlammmenge und -fracht bestimmt. Die möglichen freien Kapazitäten ergeben sich in diesem Fall als Differenz aus den maximal möglichen Mengen und den Ist-Mengen. Als Beispiel für dieses Vorgehen sei die oben erwähnte Anlage gewählt. Es wurde ein Faulbehälter mit 2000 m³ Volumen gebaut und mit den in Tabelle 2 gegebenen Schlammengen das mögliche Freivolumen der Faulung bestimmt.

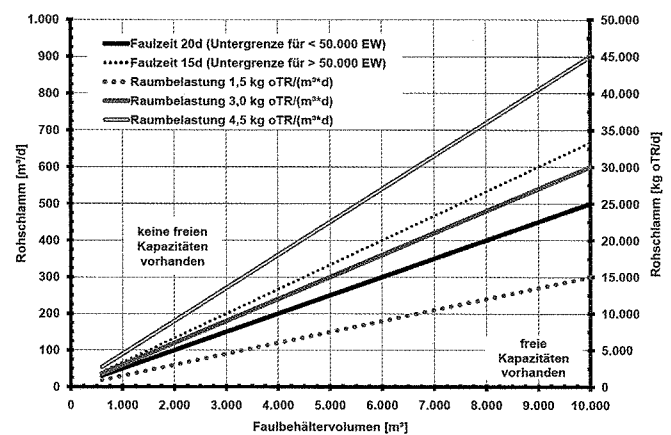


Abb. 1: Grafische Darstellung der Richtwerte für die Faulraumbemessung nach dem oTR-Ansatz

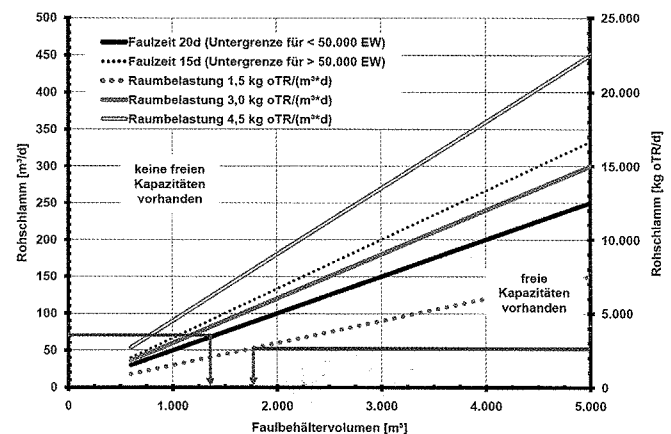


Abb. 2: Erforderliches Faulraumvolumen für eine 40 000-EW-Kläranlage

Wie in Abbildung 3 zu erkennen, ergibt sich sowohl für die Rohschlammmenge (m³/d), als auch für die Rohschlammfracht (kg oTR/d) ein Wert, mit dem der Faulbehälter maximal beschickt werden kann. Zieht man von diesen die in Tabelle 2 angegebene Belastung ab, so erhält man die in Tabelle 3 aufgeführten freien Kapazitäten der Faulung.

Bei beiden Varianten, der Bemessung und auch der Bestimmung von freien Volumina, ist darauf zu achten, dass so

Faulbehältervolumen	2000 m ³	
	kg oTR/d	m ³ /d
Rohschlamm der 40 000-EW-Kläranlage	2792	70
maximale Kapazität des Faulbehälters	3000	100
freie Kapazität	208	30

Tabelle 3: Freivolumen zur Co-Vergärung für eine 40 000-EW-Anlage

Energieträger	Gasausbeute [m ³ /kg oTR]	CH ₄ -Gehalt [%]	Energiegehalt [kWh/kg oTR]	CSB/oTR [kg/kg]
Kohlenhydrate	0,83	50	4,2	1,20
Proteine	0,72	71	5,1	1,46
Fette	1,43	70	10,0	2,87

Tabelle 4: Biogaserträge nach ATV-DVWK-M 363 [10], erweitert

wohl die Faulzeit als auch die Raumbelastung eingehalten werden. Die Betrachtung nur eines Parameters ist dabei nicht zulässig.

3 Schwierigkeiten bei der Anwendung auf Co-Substrate

Wie beschrieben, beruht der gängige Ansatz zur Bemessung von Faulbehältern auf der Raumbelastung mit organischer Trockenmasse ($B_{R,oTR}$) und der Faulzeit. Die Angabe der im Minimum einzuhaltenen Faulzeit berücksichtigt hierbei die Generationszeit der limitierenden Mikroorganismen, der Methanbildner. Die Generationszeit dieser Organismen (*Methanosaeta*) liegt bei zehn Tagen; unter Berücksichtigung eines Anreicherungs-faktors von 1,5, der die notwendigen Sicherheiten gegenüber einem Ausschwemmen der Mikroorganismen berücksichtigt, ergibt sich somit ein „Mindestschlammalter“ von 15 Tagen (siehe auch [5]). Unter Berücksichtigung von entsprechenden Sicherheiten ergibt sich hieraus die einzuhalten-de Faulzeit im Reaktor. Analog zum Belebungsverfahren gilt auch hier, dass bei kleineren Anlagen die Stoßbelastungen (relativ) größer ausfallen [2], die hierfür benötigten Leistungsreserven werden durch die Anhebung des „Bemessungsschlammalters“ zur Verfügung gestellt.

Problematischer ist hingegen die Nutzung der organischen Trockenmasse zur Bestimmung der maximalen Raumbelastung. Die Organik lässt sich zwar labortechnisch relativ einfach und auch sicher (reproduzierbar) bestimmen, sagt jedoch nur bedingt etwas über die Zusammensetzung des Substrats aus. Betrachtet man mehrere Substrate hinsichtlich ihres Energiegehalts, angegeben in kg CSB/kg oTR, so erkennt man, dass diese teils erheblich voneinander abweichen. In Abbildung 4 ist sowohl für Primär- und Überschussschlamm als auch einige Co-Substrate der Energiegehalt angegeben. Gerade die stark fetthaltigen Co-Substrate wie zum Beispiel Flotatschlamm und teilweise auch Fettabscheiderinhalte weisen einen wesentlich höheren Brennwert auf als das Rohschlammgemisch aus Primär- und Überschussschlamm.

Wie in Tabelle 4 ersichtlich, sind die Energiegehalte (und damit auch die Gasausbeute) der drei Energieträger Kohlenhydrat, Protein und Fett, sehr unterschiedlich. Fette haben einen mehr als doppelt so hohen Brennwert wie die Proteine und Kohlenhydrate. Dies ist nicht nur wichtig in Bezug auf die zu

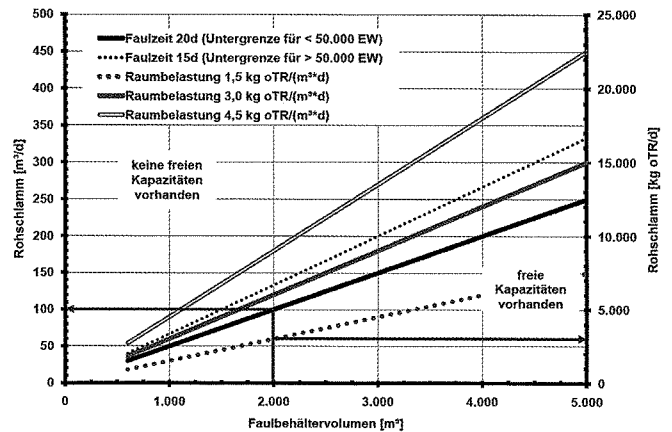


Abb. 3: Bestimmung des Freivolumens zur Co-Vergärung für eine 40 000-EW-Kläranlage

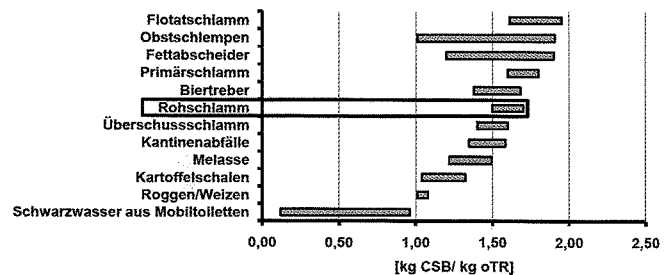


Abb. 4: CSB/oTR-Verhältnis unterschiedlicher Co-Substrate, zusammengestellt aus [6–9]

erwartende Gasausbeute, sondern auch für die Milieubedingungen innerhalb des Faulbehälters. Werden nämlich bei einer Co-Substrat-Dosierung die Substrate nur hinsichtlich ihres oTR-Gehalts berücksichtigt, kann dies bei hochkalorischen Substraten zu einer Überladung des Faulbehälters führen. Sobald die Leistungsfähigkeit der Methanbildner überschritten ist, kommt es zu einer Substrathemmung infolge der Akkumulation der organischen Säuren, ein Prozess, der in der anaeroben Abwasserbehandlung leider nur zu gut bekannt ist (siehe auch [11]).

Eine weitere Problematik stellt die Erfassung der gelösten Verbindungen in einem Co-Substrat dar. Betrachtet man Co-Substrate wie zum Beispiel Kartoffelschalen oder Speisereste,

Anlagengröße	< 50 000 EW	50 000–100 000 EW	> 100 000 EW
Faulzeit [d]	20–30	15–20	15–18
Raumbelastung [kg CSB/(m ³ × d)]	2,5	5,0	7,5

Tabelle 5: Faulraumbemessung über den CSB-Ansatz (mit 1,67 g CSB/g oTR)

Faulbehältervolumen	2000 m ³		
	kg oTR/d	kg CSB/d	m ³ /d
Rohschlamm der 40 000-EW-Kläranlage	2792	4663	70
maximale Kapazität des Faulbehälters	3000	5000	100
freie Kapazität	208	337	30

Tabelle 6: Freivolumen zur Co-Vergärung für eine 40 000-EW-Anlage, bestimmt über den CSB-Ansatz

so ist der Anteil der gelösten Verbindungen vernachlässigbar. Bei flüssigen Co-Substraten (überlagerte Getränke, Industrieabwässer mit hohen CSB-Gehalten) ist dies jedoch anders. Wählt man zum Beispiel überlagertes Bier als Co-Substrat, so hat dies einen CSB von überschlägig 100 000 mg/L, ist dabei aber nahezu feststofffrei. Dosierte man dieses Substrat entsprechend seiner oTR-Fracht, würde dies eindeutig zu einer Überladung des Faulbehälters führen.

4 CSB-basierter Ansatz

Unter Berücksichtigung verschiedener Quellen (zum Beispiel [12, 13]) kann für einen üblichen Rohschlamm ein mittlerer CSB-Gehalt von ca. 1,67 g CSB/g oTR angesetzt werden (Abbildung 4). Dieser Wert kann, abhängig von der Betriebsweise der Kläranlage, geringfügig variieren. Die wichtigsten Parameter sind hierbei die Aufenthaltszeit in der Vorklärung (Primärschlammmenge) und das Schlammalter der Belebung (Überschussschlammmenge). Aufgrund der unterschiedlichen CSB/oTR-Verhältnisse der beiden Schlämme (Abbildung 4) ergeben sich entsprechende Schwankungsbreiten.

Da sich die Richtwerte zur Faulraumbemessung in Tabelle 1 auf einen „normalen“ Betrieb von kommunalen Faulbehältern beziehen, wird von einem ausgewogenen Primär- und Überschussschlammgemisch (ca. 50 % Primärschlamm und 50 % Überschussschlamm) als Input ausgegangen. Somit können mittels des CSB/oTR-Verhältnisses und der in Tabelle 1 angegebenen Richtwerte zur Bemessung die Richtwerte für eine maximale CSB-Raumbelastung ermittelt werden. Diese sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Die Anwendung des CSB-basierten Ansatzes erfolgt analog der beschriebenen Faulraumbemessung mittels der oTR-Fracht. Während bei einer Bemessung eines Faulbehälters, der nur mit Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen beschickt wird, dieser Ansatz noch keinen Vorteil bringt, ändert sich die Situation, sobald Co-Substrate angenommen werden. Gerade dann, wenn die Energiegehalte dieser Substrate stark von dem des Rohschlammgemisches abweichen, wird eine Abschätzung der maximalen Beladung des Faulbehälters über die oTR-Fracht ungenau.

Wie bereits in Abbildung 1, sind auch in Abbildung 5 die Richtwerte zur Faulraumbemessung, diesmal allerdings mit der CSB-Raumbelastung, grafisch dargestellt.

Zur Erläuterung wird hier, wie in Kapitel 2, als Beispiel die Abschätzung von Freivolumen für eine 40 000-EW-Kläranlage angeführt. Das Beispiel beruht dabei auf denselben Grundlagen (siehe Tabellen 2 und 3).

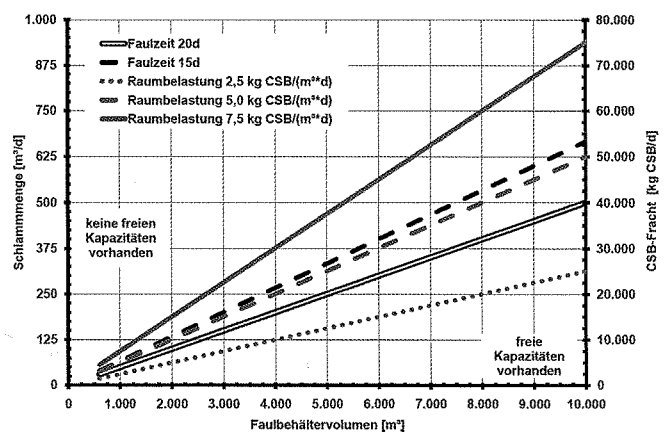


Abb. 5: Grafische Darstellung der Richtwerte für die Faulraumbemessung auf CSB-Basis

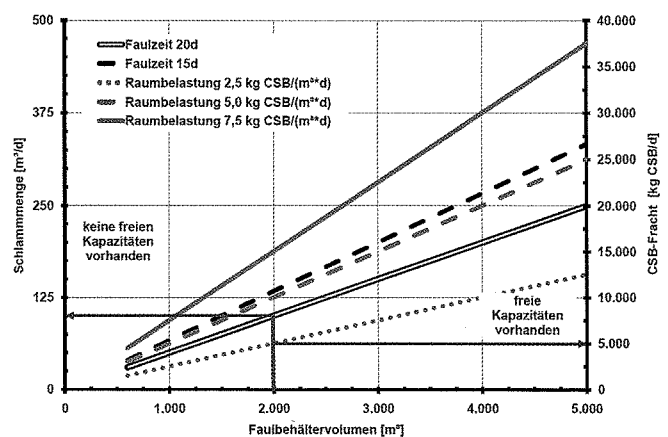


Abb. 6: Bestimmung des Freivolumens zur Co-Vergärung für eine 40 000-EW-Kläranlage mittels des CSB-Ansatzes

Aus Abbildung 6 ergeben sich sowohl für die Schlammmenge als auch für die CSB-Fracht die maximal zulässigen Werte. Abzüglich der Rohschlammmenge ergibt sich das in Tabelle 6 ermittelte Freivolumen. Zur Ermittlung des CSB für Rohschlamm wurde der Faktor 1,67 kg CSB/kg oTR verwendet.

Über die Umwandlung des oTR-Ansatzes in einem CSB-Ansatz zur Bemessung bzw. zur Bestimmung von freien Kapazitäten wird ein direkter Vergleich mit anderen anaeroben Verfahren möglich. In Abbildung 7 ist die anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung) im Vergleich mit einigen ausgewählten Verfahren zur anaeroben Abwasserreinigung aufgetragen. Die

Parameter	Wert
Volumen _{FB}	2000 m ³
Q _{Rohschlamm}	70 m ³ /d
B _{d,oTR}	2792 kg/d
B _{d,CSB}	4467 kg/d
Belastungssituation:	
B _{R,oTR}	1,40 kg oTR/(m ³ × d)
B _{R,CSB}	2,23 kg CSB/(m ³ × d)
t _R	28,6 d
freie Kapazitäten (aus den Tabellen 3 und 6)	
Q	30 m ³ /d
B _{d,oTR}	208 kg/d
B _{d,CSB}	337 kg/d

Tabelle 7: Belastungsdaten der Beispielanlage

anaerobe Schlammstabilisierung liegt in der Spannweite für schwach und mittel belastete Anlagen und reiht sich dabei mit den anaeroben Belebungsanlagen und UASB-Reaktoren zur Kommunalabwasserbehandlung in eine Gruppe ein. Diese Verfahren haben neben ihrer annähernd gleichen Raumbelastung noch folgende Gemeinsamkeiten:

Eine Substratstruktur, die auf kommunalem Abwasser basiert bzw. diesem ähnlich ist. Dieses beinhaltet neben einer (im Vergleich zu den Hochlastreaktoren) hohen Feststofffracht auch einen eher geringen Anteil an leicht abbaubaren Verbindungen, ablesbar an einem CSB/BSB₅-Verhältnis von 2 oder kleiner.

Die Biomasse liegt in suspensierter Form bzw. als Schlammflocken vor. Bedingt durch das Substratangebot kann die Biozönose nur in seltenen Fällen eine granuliert Struktur ausbilden. Hierdurch sind der Art sowie dem Grad der Biomassenanreicherung im System gewisse Grenzen gesetzt. Durch den damit einhergehenden geringeren Biomassengehalt im System können entsprechend, unter Berücksichtigung der maximalen Schlammbelastung, nur geringere Raumbelastungen als bei Verfahren mit granuliertem Schlamm erreicht werden.

Im Vergleich zu den Hochlastverfahren fallen die hydraulischen Aufenthaltszeiten sehr hoch aus. Hierbei fällt vor allem die anaerobe Schlammstabilisierung auf, da bei einem Ausschwemmreaktor die hydraulische Aufenthaltszeit an das Schlammalter gekoppelt ist.

Wie der oben aufgeführte Vergleich der anaeroben Verfahren verdeutlicht, kann davon ausgegangen werden, dass die Bemessung von Faulbehältern über die CSB-Raumbelastung ein konstruktiver Ansatz für die Abschätzung von freien Volumina für die Co-Vergärung darstellt.

Die Nutzung des CSB als Bezugsgröße entbindet den Betreiber nicht von der Pflicht, die Substrate auf den eventuell möglichen Gehalt an Hemmstoffen zu untersuchen. Gerade bei dem Einsatz von stark eiweiß- bzw. fetthaltigen Substraten sei hier auf die Gefahr von NH₄⁻ bzw. H₂S-Hemmungen hingewiesen.

5 Anwendungsbeispiel

Für das Anwendungsbeispiel wird die bereits bekannte Anlage aus dem vorherigen Beispiel verwendet. In Tabelle 7 sind die relevanten Anlagendaten noch einmal zusammengefasst.

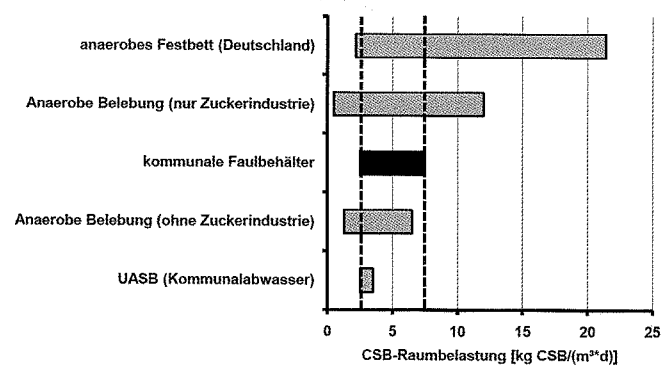


Abb. 7: Vergleich der Raumbelastung von Faulbehältern mit anderen anaeroben Verfahren, basierend auf [5] und [14]

Co-Substrat	CSB [g/L]	oTR [g/L]
Rohschlamm	46	28
Flotatschlamm	680	350
Schwarzwasser	10	12
Bier	100	–

Tabelle 8: Parameter der untersuchten Co-Substrate

Es wird eine Co-Vergärung für vier unterschiedliche Substrate untersucht. Diese sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung gewählt. Es handelt sich hierbei um:

Rohschlamm:

Es wird zusätzlicher Rohschlamm einer anderen kommunalen Kläranlage angenommen. Da dieser in seiner Zusammensetzung dem bereits vorhandenen Rohschlamm gleicht, ergibt sich somit nur eine Leistungssteigerung (analog zu einer Erweiterung des Einzugsgebietes).

Flotatschlamm:

Flotatschlamm zeichnen sich durch einen sehr hohen Fettgehalt aus (siehe Tabelle 4). Der daraus resultierende hohe Gasertrag macht diesen Schlamm als Co-Substrat sehr begehrt. Gleichzeitig ist aus der Praxis aber auch bekannt, dass eine zu hohe Dosierung zu Betriebsproblemen im Faulbehälter (Schäumen, Versäuerung etc.) führen kann. Es zeigt sich anhand dieses Beispiels, dass eine Dosierung der Co-Substrate gemäß der minimalen Faulzeit nicht zulässig ist.

Schwarzwasser aus Mobiltoiletten:

Schwarzwasser aus Mobiltoiletten hat zwar einen relativ hohen Feststoffgehalt, jedoch ist der zugehörige CSB relativ gering. Hieraus resultiert ein geringes CSB/oTR-Verhältnis (siehe Tabelle 4).

Überlagertes Bier:

Als letztes Co-Substrat wird überlagertes Bier gewählt. Im Gegensatz zu den vorherigen Substraten ist der oTR des Biers mit üblichen (Kläranlagen-) Laborstandards nicht bestimmbar. Eine Ermittlung der maximalen Substratmenge wäre somit über die oTR-Raumbelastung nicht zu ermitteln. Anhand dieses Substrats wird der Vorteil des CSB-basierten Ansatzes deutlich.

Mit den in Tabelle 7 angegebenen freien Kapazitäten der Beispielanlage und den in Tabelle 8 angegebenen CSB- und oTR-Konzentrationen der Co-Substrate wurden die maximal

	Rohschlamm [m ³ /d]	Flotatschlamm [m ³ /d]	Schwarzwasser [m ³ /d]	Bier [m ³ /d]
über Faulzeit	30,0	30,0	30,0	30,0
über B _{R,oTR}	7,6	0,7	16,8	–
über B _{R,CSB}	7,4	0,5	33,4	3,4

Tabelle 9: Zulässige Co-Substratmengen gemäß den in Tabelle 7 angegebenen freien Kapazitäten

zulässigen Co-Substratmengen in Abhängigkeit von den Parametern Faulzeit, oTR-Raumbelastung und CSB-Raumbelastung bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 wiedergegeben.

Basierend auf den in Tabelle 9 enthaltenen Ergebnissen lassen sich folgende Aussagen für die einzelnen Co-Substrate treffen:

Rohschlamm:

Die maximale Raumbelastung ist maßgebend. Da die Umrechnung der zulässigen Raumbelastung von oTR auf CSB mit dem CSB/oTR-Verhältnis des Rohschlamm durchgeföhrt wurde, sind die Abweichungen zwischen beiden Ansätzen verschwindend gering. Für die Dosierung des Rohschlamm ergeben sich somit keine Unterschiede zwischen dem oTR- und dem CSB-Ansatz.

Flotatschlamm:

Für den Flotatschlamm ist ebenfalls die Raumbelastung maßgebend. Aufgrund der hohen CSB- und oTR-Frachten darf nur eine wesentlich geringere Menge an Co-Substrat dosiert werden. Diese Problematik ist in der Praxis durchaus bekannt, es wird im Allgemeinen empfohlen, Fette nur vorsichtig in geringen Mengen zu dosieren. Zusätzlich wird hier die Auswirkung des hohen CSB/oTR-Verhältnisses von Flotatschlämmen deutlich. Legt man den CSB-Ansatz zugrunde, reduziert sich die zulässige Co-Substratmenge um über 20 %. Mit anderen Worten: Bei einer Ermittlung der zulässigen Co-Substratmenge über den oTR-Ansatz besteht die Gefahr einer 20-%igen Überdosierung!

Schwarzwasser aus Mobiltoiletten:

Aufgrund der geringen Konzentrationen im Schwarzwasser stellt sich hier die Situation gänzlich anderes dar. Betrachtet man nur den oTR-Ansatz, so ist die maximale Raumbelastung maßgebend. Ganz anderes ist dieses jedoch bei der Betrachtung des CSB-Ansatzes. Aufgrund des geringen CSB/oTR-Verhältnisses kann der Reaktor mit einer wesentlich höheren Fracht beladen werden. Es ergibt sich über den CSB-Ansatz eine Verdopplung der zulässigen Co-Substratmenge, ohne dass die Gefahr einer Überladung des Reaktors besteht. In diesem Fall wird sogar die einzuhaltende Mindestaufenthaltszeit im Reaktor maßgebend.

Überlagertes Bier:

Bei flüssigen Co-Substraten stellt sich die Problematik des nicht bzw. nur schwer bestimmbareren oTR des Substrats. Eine daraus resultierende alleinige Bestimmung der zulässigen Menge über die Faulzeit kann zu einer vollkommenen Fehleinschätzung der Reaktorbelastung und daraus resultierenden Betriebsstörungen führen. Am Beispiel des Biers wird dieses deutlich: Eine Bestimmung über die Faulzeit führt zu einer zulässigen Co-Substratmenge von 30 m³/d. Berücksichtigt man nun die CSB-Raumbelastung, führt dieses zu einer Reduktion der zulässigen

Co-Substratmenge auf 3 m³/d und damit gegenüber dem Ansatz mit der Faulzeit zu einer Reduktion um 90 %.

Die Bestimmung der zulässigen Co-Substratmenge für die oben aufgeführten Substrate führt zu insgesamt vier Kernaussagen bezüglich der zulässigen Raumbelastung, die einzuhaltende Faulzeit wird davon *nicht* beeinflusst:

Für die Dosierung von Co-Substraten, die in ihrer Zusammensetzung kommunalen Schlämmen ähnlich sind, ändert sich nichts.

Für Schlämme mit einem hohen Energiegehalt, erkennbar an dem hohen CSB/oTR-Verhältnis, wird sich die zulässige Co-Substratmenge reduzieren. Hiermit wird der erhöhten Schlammbelastung [in kg CSB/(kg oTR × d)] Rechnung getragen und eine Überladung des Reaktors und daraus resultierende Betriebsstörungen vermieden.

Für Schlämme mit niedrigen Energiegehalten (niedriges CSB/oTR-Verhältnis) wird die zulässige Co-Substratmenge erhöht. Dieses Vorgehen rechtfertigt sich durch die geringere Schlammbelastung [in kg CSB/(kg oTR × d)], die aus der Dosierung dieser Schlämme herrührt. Eine Limitierung der zulässigen Co-Substratmenge über die einzuhaltende Faulzeit ist möglich.

Eine Bestimmung des oTR gestaltet sich für flüssige Co-Substrate schwierig. Somit ist der CSB-basierte Ansatz die einzige Möglichkeit, die Raumbelastung bestimmen zu können. Eine Überladung des Reaktors kann hierdurch vermieden werden.

6 Zusammenfassung

Die Bemessung von Faulräumen sowie die Bestimmung von Freivolumina zur Co-Vergärung erfolgt in der Regel über die zulässige Faulzeit und die Raumbelastung mit organischer Trockensubstanz. Die Verwendung der Trockensubstanz als Bezugsgröße für die Raumbelastung ist solange unkritisch, wie als Substrate vorwiegend Klärschlämme kommunaler Kläranlagen hinzugezogen werden, die sich in ihrer Zusammensetzung nur geringfügig unterscheiden. Werden jedoch andere Co-Substrate mit teils erheblich abweichenden Energiegehalten verwendet, wird eine Bestimmung der zulässigen Co-Substratmenge schwierig. Gerade bei stark energiehaltigen Co-Substraten kann bei einer Abschätzung über die oTR-Raumbelastung eine Überladung des Faulbehälters eintreten. Diesem Problem soll mit dem vorliegenden CSB-Ansatz begegnet werden. Über den CSB kann der tatsächliche CSB-Gehalt wesentlich genauer wiedergegeben werden als über den oTR. Zusätzlich lässt sich über den CSB der Energiegehalt von flüssigen Substraten relativ einfach bestimmen und somit deren Dosiermenge zuverlässig bestimmen.

Literatur

- [1] Bischofsberger, W., Dichtl, N., Rosenwinkel, K.-H.- Seyfried, C. F.- Böhnke, B.: *Anaerobtechnik*, 2. Aufl., Springer, Berlin, 2005

- [2] ATV-DVWK-A 131: *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*, Hennef, 2000
- [3] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: *Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen*, Düsseldorf, 2001
- [4] ATV-DVWK-M 368: *Biologische Stabilisierung von Klärschlamm*, Hennef, 2003
- [5] Meyer, H.: *Leistungsfähigkeit anaerober Reaktoren zur Industrieabwasserreinigung*, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Band 123, 2004
- [6] Bekker, M.: *Charakterisierung der anaeroben Abbaubarkeit von spezifischen organischen Stoffen*, Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Schriftenreihe SWW, Band 125, Karlsruhe, 2007
- [7] Wendler, D.: *Erfassung und Behandlung ausgewählter Stoffströme in der Siedlungswasserwirtschaft*, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Bd. 131, 2005
- [8] Keymer, U.: *Biogasausbeuten verschiedener Substrate*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, München, 2004, www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225
- [9] ATV-M 770: *Behandlung und Verwertung von Reststoffen aus Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetrieben*, Hennef, 1995
- [10] ATV-DVWK-M 363: *Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen*, Hennef, 2002
- [11] Kroiss, H.: *Anaerobe Abwasserreinigung*, Wiener Mitteilungen, Bd. 62, Wien, 1985
- [12] Rückbelastung aus der Schlammbehandlung – Menge und Beschaffenheit der Rückläufe, 1. Arbeitsbericht der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe AK-1.3, KA 2000, 47 (8), 1181–1187
- [13] Schmelz, K.-G.: *Faulgasreinigung und Faulgasnutzung*, in: *Wasserwirtschaftskurs M4: Schlammbehandlung, -verwertung und -beseitigung*, DWA, Hennef, 2007
- [14] v. Sperling, M., Chernicharo, C. A.: *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, IWA Publishing, London, 2005

Autoren

Dr.-Ing. Ingo Urban

Dr.-Ing. habil. Holger Scheer

Emscher Gesellschaft für Wassertechnik mbH
Hohenzollernstraße 50, 45128 Essen

E-Mail: urban@ewlw.de
scheer@ewlw.de





EMSCHER WASSERTECHNIK
LIPPE WASSERTECHNIK



WASSER MANAGEMENT

- Beratung
- Planung
- Betrieb

Emscher Gesellschaft für Wassertechnik mbH
Lippe Gesellschaft für Wassertechnik mbH
Hohenzollernstraße 50
D-45128 Essen
Fon: +49 (0) 201 3610-0
Fax: +49 (0) 201 3610-100
e-mail: info@ewlw.de
Internet: www.ewlw.de