

Anaerobe Behandlung von häuslichem Schmutz- und Schwarzwasser mit UASB-Reaktoren

S. Wasielewski, C. Morandi, R. Minke, H. Steinmetz

ISWA Universität Stuttgart

Stand 27.02.2017

1 Hintergrund

Die separate Erfassung von Schwarzwasser auf Haushaltsebene ermöglicht die energetische und ggf. stoffliche Verwertung konzentrierter Abwasserteilströme, da Schwarzwasser im Vergleich zum Schmutzwasser deutlich höhere Konzentrationen an organischen Substanzen aufweist. Um diese während der Transition von Infrastrukturen energetisch zu nutzen, könnte Schwarzwasser gemeinsam mit Schmutzwasser anaerob behandelt werden, wobei sich aufgrund der im Vergleich zu kommunalen Klärschlamm deutlich geringeren CSB-Konzentrationen Verfahren anbieten, bei denen die hydraulische Aufenthaltszeit und das Schlammalter entkoppelt werden. Dies geschieht z. B. im UASB-Reaktor (Engl.: Upflow Anaerobic Sludge Blanket), in dem das Abwasser mit einer hydraulischen Aufenthaltszeit von ca. 4 bis 10 Stunden ein Schlammbett aus granularer Biomasse (Anaerobbakterien als Pellets) von unten nach oben durchfließt. Aufgrund seiner hohen Dichte verbleibt der Schlamm im Reaktor, ist aber im Regelfall flexibel genug, um Verstopfungen z. B. durch einen erhöhten Feststoffeintrag zu vermeiden. Die Anaerobbakterien werden so mit den im Abwasser enthaltenen organischen Kohlenstoffen versorgt, welche sie dann zu Methan und Kohlenstoffdioxid umsetzen. Das gebildete Biogas wird gesammelt und z. B. in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet. Das gereinigte Abwasser verlässt den Reaktor über ein Ablaufsystem, welches eine Phasentrennung zwischen Abwasser, Gas und Schlamm pellets ermöglicht und muss zur Einhaltung der in Deutschland vorgeschriebenen Überwachungswerte vor Einleitung in ein Gewässer weiter behandelt werden.

2 Zielsetzung innerhalb des Forschungsvorhabens TWIST++

Die schrittweise Implementierung von Neuartigen Sanitärsystemen (NASS) in ein bestehendes Abwasserentsorgungs- und -behandlungssystem (Transition) führt bei Einsatz wassersparender Technologien, der dezentralen Behandlung von Grauwasser oder der gemeinsamen Behandlung von Schwarz- und Schmutzwasser zu einer Erhöhung der Konzentrationen an organischen Abwasserinhaltsstoffen, so dass dieses Abwasser mittels UASB-Reaktoren vorbehandelt und Biogas gewonnen werden kann. Der Ablauf des UASB-Reaktors muss einer weiteren Reinigungsstufe und/oder einer gezielten Nährstoffrückgewinnung zugeführt werden, z.B. durch

- Elektrokoagulation zur Elimination des Nährstoffes Phosphat
- Rückgewinnung von Phosphat z. B. durch MAP Fällung oder Sorption an funktionalisierten Partikeln und Magnetseparation,
- Rückgewinnung des Nährstoffes Ammonium in einer Zeolithstufe,



- eine aerobe biologische Behandlung zur Elimination der Restorganik und der enthaltenen Nährstoffe aus dem Abwasser.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Ist ein stabiler Betrieb mit zunehmendem Anteil an Schwarzwasser im Abwasser möglich?
- Gibt es Anwendungsgrenzen der anaeroben Behandlung von häuslichem Schmutz- und Schwarzwasser mit UASB-Reaktoren?
- Wie wirken sich unterschiedliche Transitionszustände (zunehmender Anteil an Schwarzwasser) auf die Biogasausbeute und Elimination von Kohlenstoffverbindungen aus?
- Welche Energiepotenziale sind nutzbar?
- Welche Aspekte sind bei der Transition zu NASS für die gesamte Verfahrenskette relevant?

3 Untersuchungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens TWIST++ wurde ein vom Projektpartner HST Systemtechnik GmbH gebauter UASB-Reaktor ($V = 730 \text{ L}$; mit Pelletschlamm aus einer Papierfabrik geimpft; Einfahrphase: 73 d) mit häuslichem Schmutzwasser (entnommen aus dem Trennkanal Stuttgart-Büsnau) zusammen mit einem steigenden Anteil an Schwarzwasser aus Unterdrucktoiletten (gesammelt im Betriebsgebäude des LFKW der Uni Stuttgart sowie aus Zugtoiletten) im mesophilen Temperaturbereich betrieben. Im Rahmen der Untersuchungen wurden für verschiedene Transitionszustände die Biogaserzeugung, die Prozessstabilität und der Abbau organischer Inhaltsstoffe untersucht. Um Verstopfungen zu vermeiden wurde auf einen Drei-Phasen-Abscheider im Reaktor verzichtet und stattdessen ein separater Entgasungstank nachgeschaltet.

Die Mischung mit häuslichem Schmutzwasser erfolgte in einem dem Reaktor vorgelagerten Behälter. Übergangszustände von 0 bis 14 % CSB-Fracht aus Schwarzwasser im Reaktorzulauf wurden untersucht. Jeder Übergangszustand wurde ca. 42 d betrieben um eine Adaption der Anaerobbakterien an den jeweiligen Betriebszustand zu ermöglichen.

4 Ergebnisse

Eine Übersicht über die wesentlichen Ergebnisse der Versuche in Abhängigkeit der Betriebseinstellungen ist in Tabelle 5–1 sowie Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 dargestellt.



Abbildung 4-1 zeigt die spezifische Methanausbeute bezogen auf die täglich zugeführte CSB-Fracht in den verschiedenen Untersuchungsphasen. In allen Phasen lag die spezifische Methanausbeute mit ca. 50 L/kg CSB_{elim} weit unter dem theoretischen Maximum von 0,35 m³ CH₄/kg CSB_{elim}. Für die niedrige Methanausbeute sprechen Gründe wie z. B. die Akkumulation von Feststoffen im Reaktor, welche zu einer Verstopfung des Auslasses führte, oder der Verlust von gelöstem Methan im Ablauf, Verzicht auf den Drei-Phasen-Separator sowie die relativ abgeflachte Bauform des UASB-Reaktors, welche im Einzelnen jedoch nicht überprüft wurden. Eine abschließende Bewertung der einzelnen Gründe ist daher nicht möglich.

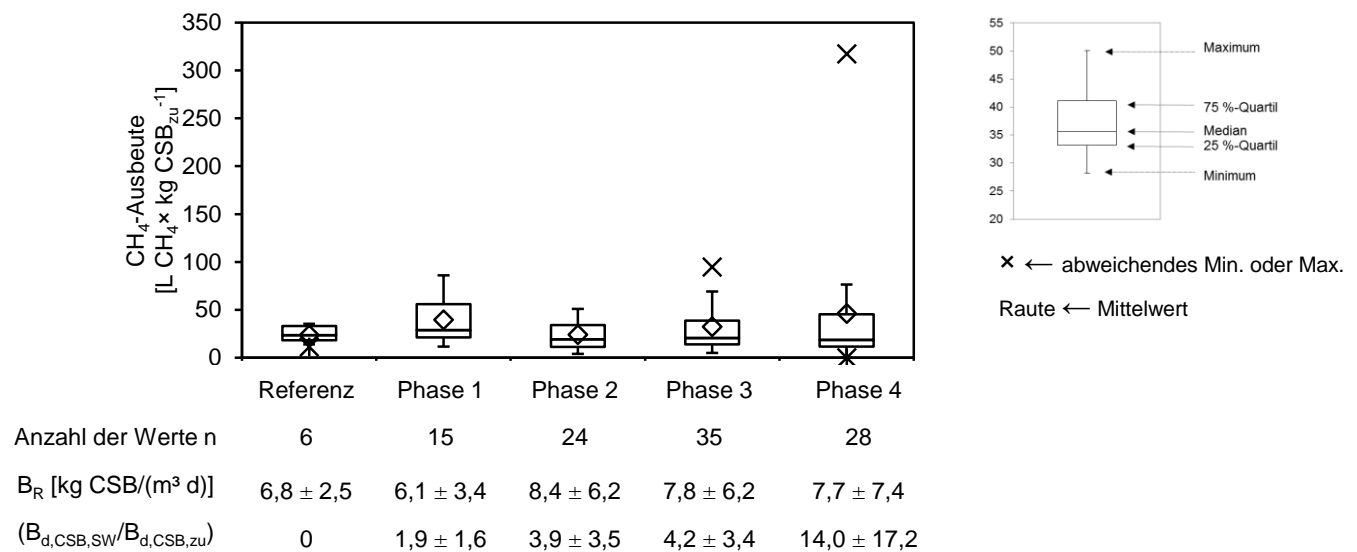


Abbildung 4-1: Spezifische Methanausbeute bezogen auf die täglich zugeführte CSB-Fracht im halbtechnischen UASB-Reaktor bei zunehmender Transition

Abbildung 4-2 zeigt, dass die auf das Reaktorvolumen bezogenen Methanbildungsraten starken Schwankungen unterliegen. Die Methanbildungsrate reicht dabei von weniger als 100 L bis zu annähernd 700 L CH₄/(m³·d).

Der erzielte Methangehalt im Biogas kann durch die Zugabe von Schwarzwasser von 60 auf 71 % (Vol./Vol.) gesteigert werden. Der auftretende Störfall im anaeroben Abbauprozess zeigte sich in Form einer sich verändernden Gasqualität, weshalb der Methangehalt in Phase 4 schlagartig auf 56 % (Vol./Vol.) sank.

Die Untersuchungsergebnisse lassen aufgrund der aufgetretenen Störung durch Verstopfungen und Ablagerungen nur bedingt Aussagen über eine Vollstrombehandlung von häuslichem Abwasser zusammen mit Schwarzwasser zu. Dennoch konnte phasenweise eine stabile anaerobe Behandlung erreicht werden, so dass bei Umsetzung technischer und betrieblicher Modifikationen die gemeinsame Behandlung von Schmutz-

und Schwarzwasser möglich sein kann. Aufgrund der aufgetretenen betrieblichen Probleme ist eine weitere Verfolgung eines technisch vereinfachten Aufbaus des UASB-Reaktors durch Verzicht auf den internen Drei-Phasen-Abscheider zu überdenken.

Die Teil- oder Vollstrombehandlung von häuslichem und Schwarzwasser mittels UASB-Reaktoren führt nicht zu einer Verminderung von Abwasserinhalts- und Nährstoffen in dem für eine direkte Einleitung ins nachgelagerte Gewässer nötigen Maße. Zur Entfernung von Nährstoffen und CSB bzw. BSB muss in jedem Falle eine Nachbehandlungsstufe dem UASB-Reaktor nachgeschaltet werden, so dass diese Technologie für eine Transition in Deutschland hin zu NASS nicht geeignet ist.

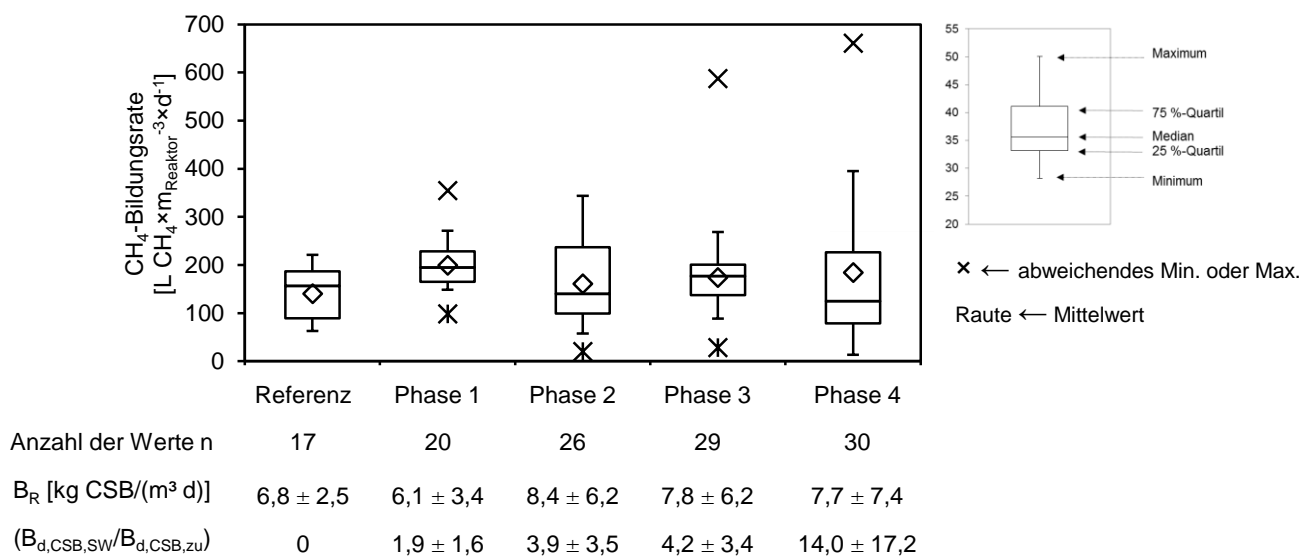


Abbildung 4-2: Spezifische Methanbildungsrate je m³ Reaktorvolumen des halbtechnischen UASB-Reaktors bei zunehmender Transition

5 Fazit und Ausblick

- Eine Behandlung von kommunalem Schmutzwasser mit Schwarzwasser aus NASS ist in einem UASB-Reaktor prinzipiell möglich.
- Der Methangehalt im gebildeten Biogas verbessert sich durch Zugabe von Schwarzwasser von 60 auf 71 %, bis in Phase 4 aufgrund einer Fehlfunktion des Reaktors die Elimination/Biogasproduktion einbricht.
- Es kann im untersuchten Bereich keine Korrelation zwischen Biogasbildungsrate/Methanausbeute und Raumbelastung festgestellt werden. Dies kann durch die stark schwankende Zulaufqualität beeinflusst sein.
- Der CSB wird nur zu maximal knapp 70 % eliminiert. Die anaerobe Behandlung von häuslichem Abwasser und Schwarzwasser ist daher nur als Vorbehandlungsstufe geeignet. Eine anschließende Nachbehandlung des Ablaufes zur Kohlenstoff- und Nährstoffelimination ist zur Einhaltung der Überwachungswerte erforderlich.
- Durch den Abbau von CSB im UASB-Reaktor ist ein limitiertes Nährstoffverhältnis für eine nachgeschaltete Nitrifikation/Denitrifikation zu erwarten. Daher bedarf es ab einem kritischen Übergangszustand einer separaten Stickstoffelimination aus dem Prozesswasser oder einer gezielten Nährstoffrückgewinnung (vgl. Steckbriefe Phosphorrückgewinnung mittels MAP-Fällung, Ammoniumrückgewinnung mittels Zeolithe, Phosphorrückgewinnung mittels magnetisch abtrennbarer Mikropartikel).
- Eine Entgasung des Ablaufes muss vorgesehen werden um hohe Verluste durch gelöstes Methan zu vermeiden.
- Insgesamt ist das dargestellte Verfahrens- und Behandlungskonzept für die Transition zu NASS in Deutschland aufgrund der beschriebenen Nachteile wenig geeignet.

Tabelle 5–1: Gemittelte Werte der Parameter Temperatur, CSB-Elimination und Raumbelastung der unterschiedlichen Transitionszustände (frachtbezogene Betrachtung), Format: Mittelwert \pm Standardabweichung (Anzahl der Werte)

Parameter	Einheit	Referenz	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4*
Anteil SW $B_{d,CSB,SW} \times B_{dCSB,ges}^{-1}$	[%]	0	1,9 \pm 1,6 (20)	3,9 \pm 3,5 (26)	4,2 \pm 3,4 (28)	14,0 \pm 17,2 (28)
Temperatur	[°C]	32,8 \pm 2,9 (19)	33,4 \pm 3,8 (28)	31,1 \pm 5,4 (29)	33,7 \pm 3,8 (30)	33,2 \pm 6,4 (29)
Raumbelastung	[kg CSB/(m ³ d)]	6,8 \pm 2,5 (5)	6,1 \pm 3,4 (17)	8,4 \pm 6,2 (27)	7,8 \pm 6,2 (28)	7,7 \pm 7,4 (28)
Elimination	[% CSB]	61 \pm 16 (8)	61 \pm 30 (17)	57 \pm 22 (26)	67 \pm 31 (28)	40 \pm 63 (26)
spez. Methanausbeute	[L CH ₄ /kg CSB _{el}]	41 \pm 25 (8)	77 \pm 34 (14)	48 \pm 57 (23)	64 \pm 78 (34)	27 \pm 25 (18)
Methangehalt	[% CH ₄]	60 \pm 17 (14)	57 \pm 16 (20)	59 \pm 10 (27)	71 \pm 10 (38)	56 \pm 16 (35)

* Störfall

