



EKSH Projekt

**Nutzung von Molkereiabwässern
zur internen Substitution von
Brennstoffen**

Projektbericht

Corin Dirk Nikoleiski
Martina Carstensen
Prof. Dr. Jens Born
Prof. Dr. Hinrich Uellendahl

Hochschule Flensburg
Kanzleistraße 91-93
24349 Flensburg

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung des Projektes.....	2
1.1	Die Projektziele im Einzelnen:	2
1.2	Problemstellung	3
1.3	Zeitplan	4
2	Aufbau der Anlage	5
3	Einfahren der Anlage und Versuchsphase 1.....	8
3.1	Beimpfen des ABR	8
3.2	Substrateintrag	8
4	Versuchsdurchführung	11
4.1	Versuchsdurchlauf 1	11
4.2	Versuchsdurchlauf 2	15
5	Zusatzversuch der anaeroben Abwasserbehandlung im UASB Reaktotr	19
6	Zusammenfassung	21

1 Zielsetzung des Projektes

Im von der Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH (EKSH) geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Nutzung von Molkereiabwässern zur internen Substitution von Brennstoffen“ wurde die Behandlung von Abwässern der Meierei Horst eG in einem anaeroben Mehrkammerfermenter (Anaerobic Baffled Reactor, ABR) im Pilotmaßstab getestet. Während des anaeroben Vergärungsprozesses werden die organischen Inhaltsstoffe des Abwassers in Biogas umgesetzt, welches als Energieträger beispielsweise zur Deckung des innerbetrieblichen Wärmebedarfs der Meierei genutzt werden kann. Folglich können durch die Implementierung dieses Prozesses einerseits die Abgaben zur Abwasserreinigung und Kosten der Wärmeerzeugung für die Meierei gesenkt werden. Andererseits kann der Verbrauch von fossilen Brennstoffen zur Deckung des betrieblichen Wärmebedarfs gemindert werden.

Die Installation und der Testbetrieb des Mehrkammerfermenters wurde von der Hochschule Flensburg am Standort der Meierei Horst in Zusammenarbeit mit der Meierei Horst eG und der Schraader GmbH durchgeführt. Der Mehrkammerfermenter wurde von der Schraader GmbH zur Verfügung gestellt und als mobile Abwasserreinigungsanlage zusammen mit zusätzlichen Lagertanks und Pumpen sowie einer Gasanalyse in einem konventionellen 40-Fuß-Seefahrtscontainer integriert. Die Regelungstechnik zur Steuerung und Überwachung der Anlage wurde von der Firma Bilfinger GreyLogix GmbH in Kombination mit einem Studienprojekt installiert. Das Konzept der mobilen Abwasserreinigungsanlage bietet den Vorteil, nicht standortgebunden und damit an verschiedenen Standorten einsatzfähig zu sein.

1.1 Die Projektziele im Einzelnen:

- Entwurf und Umsetzung des Konzeptes einer mobilen Anlage im Pilotmaßstab zur dezentralen anaeroben Behandlung von Abwässern mit gleichzeitiger Energiegewinnung.

- Optimierung der Abwasserreinigung in Bezug auf Reduktion der Inhaltsstoffe, gemessen als CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) und Steigerung des Biogasertrages durch Variieren verschiedener Prozessparameter.
- Anpassung des Prozessmanagements auf Molkereiabwässer mit variierender Zusammensetzung und Volumenstrom.

1.2 Problemstellung

Die anaerobe Behandlung von Molkereiabwässern hat vornehmlich zwei Hauptprobleme:

- 1) Molkereiabwässer sind i.d.R. leicht säuerlich, d.h. der pH-Wert liegt meist unter pH 5 und damit deutlich unterhalb des Toleranzbereichs des Methanisierungsprozesses im anaeroben Abbauprozess von pH 6,5 – 8,0.
- 2) Das Aufkommen, die Konzentration von organischen Inhaltsstoffen sowie die Zusammensetzung von Molkereiabwässern variiert insbesondere in kleineren Meiereibetrieben, welche nicht rund um die Uhr produzieren. In der Meierei Horst eG wird beispielsweise von ca. 4 Uhr bis 12 Uhr morgens produziert, wobei das meiste Abwasser in Intervallen zu Stoßzeiten zwischen 5 Uhr und 12 Uhr mit der höchsten Trübung anfällt.

Um einen stabilen Prozess der anaeroben Umsetzung zu erreichen, muss daher einerseits gewährleistet sein, dass der pH-Wert innerhalb des Fermenters genügend gepuffert wird und nicht auf Werte unterhalb von pH 6,5 absinkt. Andererseits darf die organische Fracht des Abwassers, ausgedrückt in der Raumbelastung, nicht zu stark variieren. Eine plötzliche Überbelastung kann beispielsweise zu einer deutlichen Verringerung der Umsetzung von organischen Inhaltsstoffen einhergehend mit einem geringeren Biogasertrag und schliesslich zur Übersäuerung des Prozesses führen.

Das vorliegende Projekt sollte daher zeigen, inwieweit die Behandlung der Molkereiabwässer im Mehrkammerfermenter diese Problemstellung im Pilotmaßstab lösen kann.

1.3 Zeitplan

Die Projektlaufzeit erstreckte sich über einen Zeitraum von 18 Monaten, vom 01.04.2018 bis zum 30.09.2019 (Tabelle 1). Aufgrund einer verlängerten Planungs- und Konstruktionsphase der Anlage verschob sich der gesamte Zeitplan um etwa Monate. Nach Installation des Reaktors im 1. und 2. Quartal des Projektes (Q2-Q3/18) wurde der Betrieb in der 1. Testphase daher erst in Q4/18 aufgenommen und die Anlage unter variierenden Prozessparametern betrieben. Im Anschluss sollte in der 2. Testphase die Betriebstemperatur des Prozesses im Mehrkammerfermenter von mesophil (37°C) auf thermophil (52°C) geändert werden. Aufgrund der schwankenden Abwasserbeschaffenheit wurden allerdings weitere Maßnahmen zur Stabilisierung des mesophilen Betriebes getestet.

Die Effizienz der Abwasserbehandlung und der Umsetzung zu Biogas wurde durch Analytik des Abwassers, des Biogases und des Gärrests bestimmt.

Tabelle 1: Ursprünglicher Zeitplan des EKSH Projektes

	Q 2/18	Q 3/18	Q 4/18	Q 1/29	Q 2/19	Q 3/19
Konstruktion (Anschluss, Heizung, Regelung – Hardware, Software)						
1. Testphase						
Einfahren steady state						
Lastwechsel, Raumbelastung						
2. Testphase						
Thermophile Methanisierung						
Thermophiler Gesamtprozess						
Analytik						
Gaszusammensetzung und -fluss						
chemische Analytik flüssige Phase						
mikrobiologische Analytik						
Schlussfolgerungen und Bericht						

2 Aufbau der Anlage

Die mobile Abwasserreinigungsanlage (Abbildung 1) besteht neben dem Mehrkammerfermenter (ABR) aus einem Vorlagebehälter, einem zusätzlichen Rührreaktor (Continuous stirred tank reactor, CSTR) und einem Gärproduktlager. Diese Einheiten sind entsprechend dem Fließbild in Abbildung 2 über Rohre, Ventile und Pumpen miteinander verbunden und die gesamte Anlage ist zentral über einen Schaltschrank verschaltet.



Abbildung 1: Container mit Abwasserreinigungsanlage auf dem Gelände der Meierei Horst (links) mit ABR (grün) und Gärrestlager (schwarz, rechts)

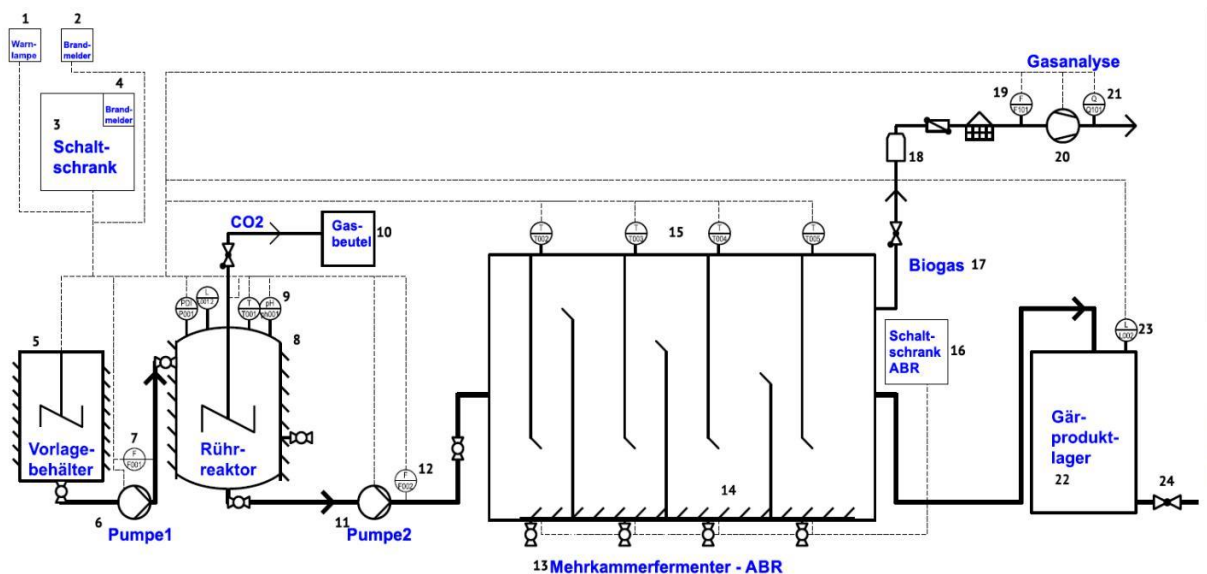


Abbildung 2: Fließbild der mobilen Abwasserreinigungsanlage

Der 1 m³ große Vorlagebehälter (IBC) besitzt ein Rührwerk zum Anmischen der verwendeten Substrate und kann mittels einer Heizmanschette auf 20°C ± 3°C beheizt werden. Das Substratgemisch vom IBC in den Rührreaktor (CSTR) gepumpt, welcher als Substratlager zur Beschickung des nachfolgenden Mehrkammerfermenter dient. Optional kann der CSTR als Zwischenstufe dienen, um z.B. eine Vorhydrolyse von Feststoffen im Abwasser dem ABR vorzuschalten. Der ABR ist ein rechteckiger Fermenter, der durch Einbau von Umlenkblechen in mehrere Kompartimente eingeteilt ist. Das Gesamt-Arbeitsvolumen des ABR ist 1,75 m³. Kompartiment 1 weist ein Volumen von 0,523 m³, Kompartiment 2 von 0,469 m³, Kompartiment 3 von 0,415 m³ und Kompartiment 4 ein Volumen von 0,382 m³ auf. Jedes Kompartiment besitzt eine Aufstrom- und eine Abstromsektion. Das zu vergärende Substrat durchfließt diese Kompartimente durch die Anbringung der Umlenkbleche in einer Art Wellenbewegung. Im Aufstrom werden der Schlamm und die im Schlamm befindlichen Bakterien in Schwebelage gehalten. In der Abstromsektion hingegen setzen sich der Schlamm und die Bakterien durch den Fluss und die Schwerkraft auf dem Fermenterboden ab.

Die aufgrund der Umlenkbleche entstehende räumliche Aufteilung des ABRs in unterschiedliche, nacheinander zu durchlaufenden Kammern führt zu einer Trennung der einzelnen Abbauphasen des anaeroben Abbauprozesses. Während im vorderen Bereich des ABR die Hydrolyse und Säurebildung, einhergehend mit Wasserstoff- und CO₂-Produktion vorherrscht, werden im hinteren Teil vorwiegend die gebildeten Säuren in Methan umgesetzt. Im stabilen Prozessbetrieb wird sich dementsprechend eine auf die Hydrolyse und Säurebildung spezialisierte Mischkultur (Biozönose) und im hinteren Teil eine vorwiegend aus methanogenen Mikroorganismen bestehende Biozönose anreichern. Bei Trennung der Gasräume über den Kammern entsteht dementsprechend im vorderen Teil vorwiegend methanarmes Hydrolysegas mit hohem CO₂- und Wasserstoffgehalt und im hinteren Teil methanreiches Biogas mit bis zu 85 % Methangehalt.

Planung und Aufbau der Anlage vollzog sich von März bis November 2018 entsprechend dem in Abbildung 3 dargestellten Zeitverlauf. Am 01.11.2018 wurde die mobile Abwasserreinigungsanlage in Betrieb genommen.

Nutzung von Molkereiabwässern zur internen Substitution von Brennstoffen

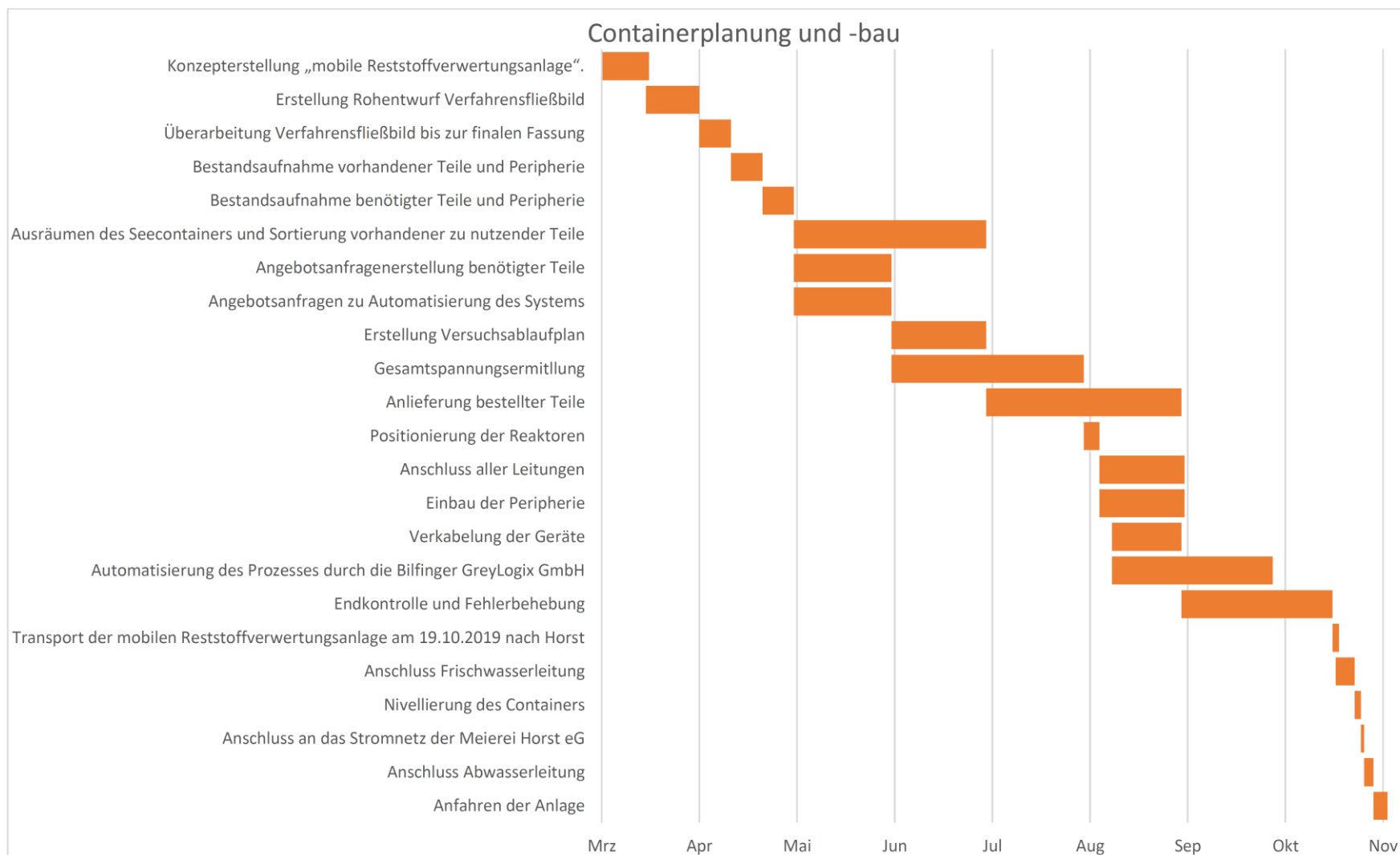


Abbildung 3: Phasen der Planung und des Baus der mobilen Abwasserreinigungsanlage an der Meierei Horst eG, März – November 2018

3 Einfahren der Anlage

3.1 Beimpfen des ABR

Zu Beginn der Inbetriebnahme der Anlage wurde der Mehrkammerfermenter mit Faulschlamm aus der anaeroben Behandlungsstufe von Klärschlamm einer kommunalen Kläranlage beimpft. Für den ersten Versuchsdurchlauf kam der verwendete Faulschlamm vom Abwasser-Zweckverband (AZV) Südholstein in Hetlingen. Der Faulschlamm des zweiten Versuchs stammte von der Kläranlage Itzehoe.

Zur Befüllung des ABR wurden 2 m³ Faulschlamm verwendet. Nach Befüllen wurde der Fermenter 24 Stunden ruhen gelassen, damit sich der Schlamm in den verschiedenen Kompartimenten setzen konnte. Anschließend wurde der Schlamm auf die Betriebstemperatur von 37°C erwärmt, ehe der ABR mit Substrat beschickt wurde.

3.2 Substrateintrag

Das verwendete Substrat des Projektversuchs besteht aus den Hauptkomponenten Molke aus der Quarkproduktion und Schmutzwasser aus dem Fettabscheider der Molkerei Horst eG. Molke entsteht beim Ausfällen von Casein aus Milch und ist somit ein Abfallprodukt bei der Käse- und Quarkherstellung. Die leicht grünliche Flüssigkeit unterscheidet sich in Süß- und Sauermolke. So entsteht Süßmolke, wenn Milch durch Labenzym eingedickt wird. Sauermolke hingegen entsteht bei der Gerinnung durch Milchsäurebakterien, wodurch sich Quark absetzt. Die in dieser Arbeit verwendete Molke definiert sich als Sauermolke. Die als Fehlcharge anfallende Molke dient einerseits als Substratstabilisator im Fermenter, andererseits kann die schubweise Beimischung der Molke zum Abwasser zu CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) Belastungsspitzen führen, da die CSB Konzentration der Molke sehr viel höher ist als die des Abwassers ist. Wie aus Tabelle 2 zu entnehmen, weist die verwendete Molke im Verhältnis zum Abwasser eine 10-mal höhere TS (Trockensubstanz)-, eine 25-fach höhere oTS (organische Trockensubstanz)- und eine 30-fach höhere CSB-Konzentration auf.

Nutzung von Molkereiabwässern zur internen Substitution von Brennstoffen

Das hohe CSB/oTS Verhältnis der Molke deutet auf einen hohen Fettanteil hin. Andererseits ist das Abwasser deutlich saurer als die Molke.

Tabelle 2: Durchschnittliche Analysewerte von Molke und Abwasser der Meierei Horst eG

Substrat	Molke	Abwasser
TS (%)	5,53	0,58
oTS (%)	4,75	0,19
CSB (g/L)	98,1	3,2
CSB/oTS (g/g)	2,07	1,68
pH	4,19	2,99

Die Sauermolke wurde einmal pro Woche von der Meierei in ein oder zwei 0,6 m³ IBC Container abgefüllt. Für die Beschaffung des Schmutzwassers wurde in den Schlammfang des Fettabscheiders eine Tauchpumpe eingehängt und in einen separaten 0,6 m³ IBC Behälter gepumpt. Die gewünschte Mischung beider Substrate wurde in einem weiteren 0,6 m³ IBC durch Überführen der Bestandteile Molke und Schmutzwasser mittels einer Tauchpumpe hergestellt. Zur Durchmischung wird danach das Substratgemisch durch die Tauchpumpe im Kreislauf geführt und schließlich mittels Tauchpumpe in den Vorlagebehälter überführt (Abbildung 4).



Abbildung 4: IBC mit Substratmischung (links) und Schmutzwasser (rechts) neben dem Container der Abwassereinigungsanlage

Nutzung von Molkereiabwässern zur internen Substitution von Brennstoffen

Die Steuerung des Substrateintrags erfolgt über die Benutzeroberfläche der Steuerungs- und Regelungstechnik der Anlage (Abbildung 5). Zur Überwachung des Prozesses wurden die Parameter TS, oTS, CSB, und pH im Substrat, in den einzelnen Kompartimenten des Mehrkammerfermenters und im Gärrest analysiert. TS, oTS und pH-Werte wurden für alle Proben wöchentlich ermittelt. Die pH-Werte der Kompartimente des ABR wurden bei Bedarf mehrere Male pro Woche durchgeführt. Das Verhältnis FOS/TAC (flüchtige organische Säuren zu totalem anorganischen Kohlenstoff) wurde in den Kompartimenten 2-4 bestimmt, um zu sehen inwieweit die durch Hydrolyse gebildeten organischen Säuren im hinteren Teil des ABR zu Methan abgebaut wurden. Die Analyse einzelner flüchtiger Fettsäuren wurde bedarfsweise ermittelt. Die Analyse von schwerflüchtigen lipophilen Säuren (SLS) wurde insbesondere im Substrat und im Gärrest vorgenommen, um den Abbau der im Substrat vorhandenen Fette zu verfolgen.

Der Volumenstrom und Zusammensetzung des vom CSTR und ABR abgeleiteten Biogases wurde on-line gemessen.

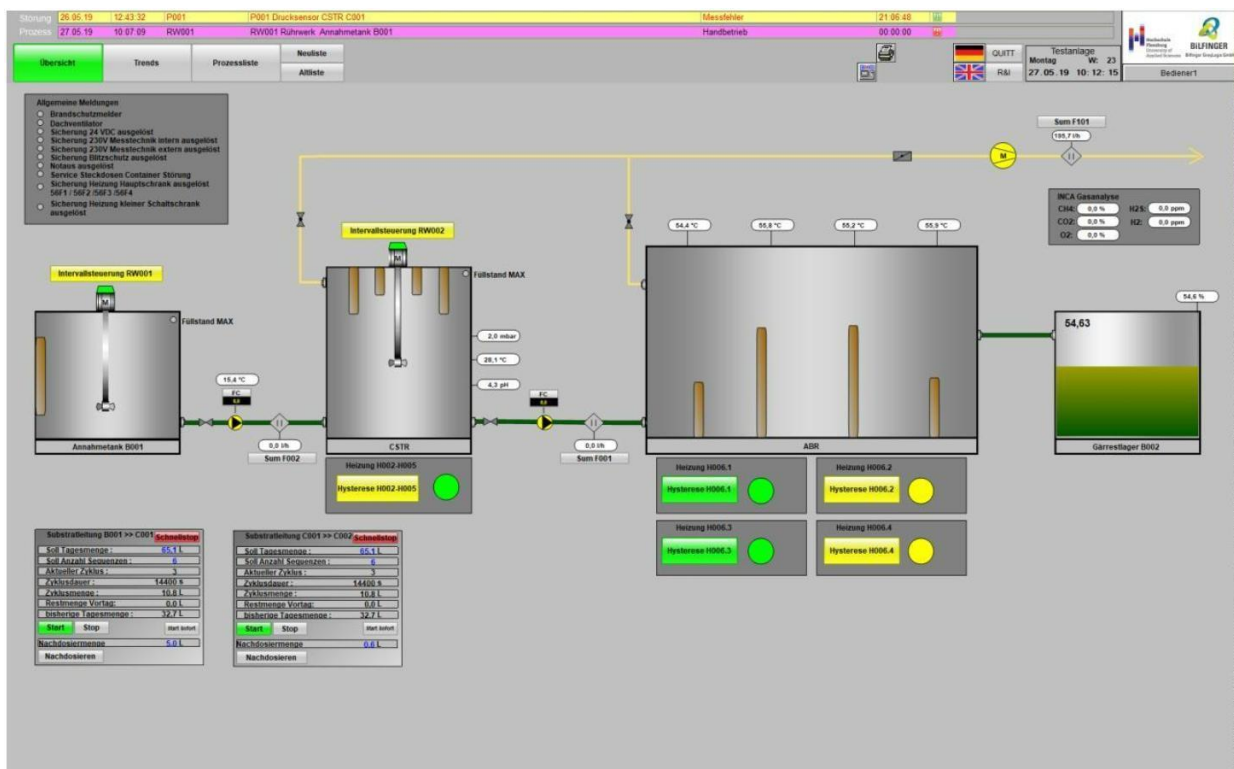


Abbildung 5: Überwachungspanel der Anlage

4 Versuchsdurchführung

4.1 Versuchsdurchlauf 1

Die Phasen des Versuchsdurchlauf 1 sind in Abbildung 6 dargestellt. In dieser Versuchsphase wurden verschiedene Mischverhältnisse von Molke und Abwasser mit verschiedenen Raumbelastungen getestet. Angefahren wurde der Prozess im November 2018 mit 100% Molke im Substrat und einer Raumbelastung ($B_{R,oTS}$) von $1,0 \text{ kg-oTS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$. Nach Erhöhung der $B_{R,oTS}$ auf $2,0 \text{ kg-oTS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ und dem Zumischen von 10% Abwasser zur Molke Mitte Dezember 2018 kam es Anfang Januar 2019 durch starke Abwasserschwankungen zu einem plötzlichen Raumbelastungsanstieg auf $4,0 \text{ kg-oTS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, der erst danach analysiert wurde. Dieser Anstieg führte zu einer Überlastung des Fermenters und der Prozess kam trotz Verminderung der $B_{R,oTS}$ auf $2,0 \text{ kg-oTS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ Anfang Februar zum Erliegen. Der Fermenterinhalt wurde daraufhin entleert und für den Versuchsdurchlauf 2 mit neuem Faulschlamm beimpft.

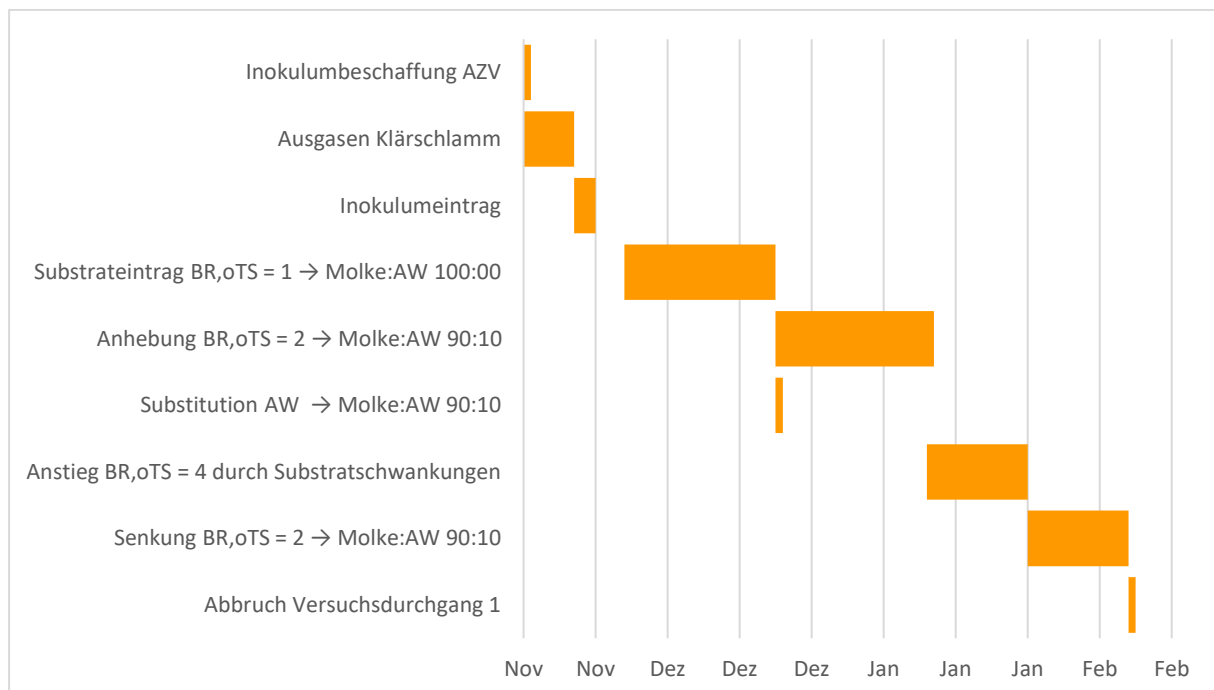


Abbildung 6: Phasen des Versuchsdurchlaufs 1 ($B_{R,oTS}$: Raumbelastung auf Basis der organischen Trockensubstanz, oTS)

Die Prozessstabilität während des 1. Versuchsdurchlaufs kann am Verlauf des pH-Wertes in Abbildung 7 abgelesen werden. Im vorliegenden pH-Verlauf ist zu erkennen, dass der pH-Wert des Substrates im CSTR während des ersten Versuchs in einem Bereich zwischen pH 3,1 und pH 4,9 liegt. Der pH-Wert des CSTR steigt bis Woche 9 von pH 3,6 auf 4,9, ehe er bis zur letzten durchgeführten Messung wieder auf pH 4,3 absinkt. Die Schwankungen sind auf Substratwechsel (Zugabe von Abwasser zur Molke während des Versuchs) und wöchentlicher Neulieferung der Molke zurückzuführen. So bewirkt der Zusatz von Abwasser zur Molke ein Herabsetzen des pH-Werts.

Die pH-Werte in den Kammern des ABR zeigen, dass der pH-Wert in Kammer K1 unter Einfluss der sauren Substratzufuhr meist im sauren Bereich zwischen pH 4 und 5 lag, während in den nachfolgenden Kammern K2-K4 der pH-Wert bis Woche 7 im neutralen Bereich um pH 7 gehalten werden konnte. In Woche 8 ist die Versauerung des Fermenters ist deutlich durch den Abfall des pH-Wertes in allen Kompartimenten unter pH 5 zu erkennen und schließlich unter pH 3 in Woche 11.

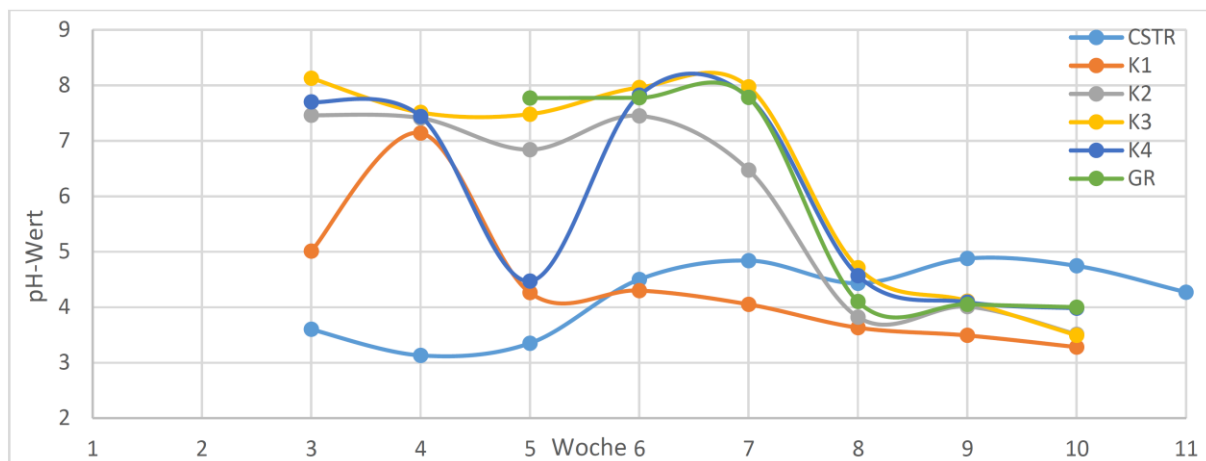


Abbildung 7: pH-Werte des Versuchsdurchlaufs 1 (im Zulauf, CSTR, in den Kompartimenten K1-K4, und im Ablauf = Gärrestlage, GR)

In Abbildung 8 sind die CSB-Verläufe des Substrats im CSTR und des Gärrests während des Versuchsdurchlaufs 1 gegenübergestellt. Hierin ist zu erkennen, dass bis zur Woche 5 des Versuches der CSB des Substrates nahezu vollständig abgebaut wurde. Einhergehend mit der

Nutzung von Molkereiabwässern zur internen Substitution von Brennstoffen

Zugabe von Abwasser in Woche 5 steigt die CSB Konzentration im Gärrest an und in Woche 7 wird nur noch rund 50% des CSB des Zulaufs abgebaut. Mit der einsetzenden Versauerung des gesamten Prozesses im ABR ab Woche 7 ist schließlich kaum noch ein Abbau des Substrates zu erkennen.

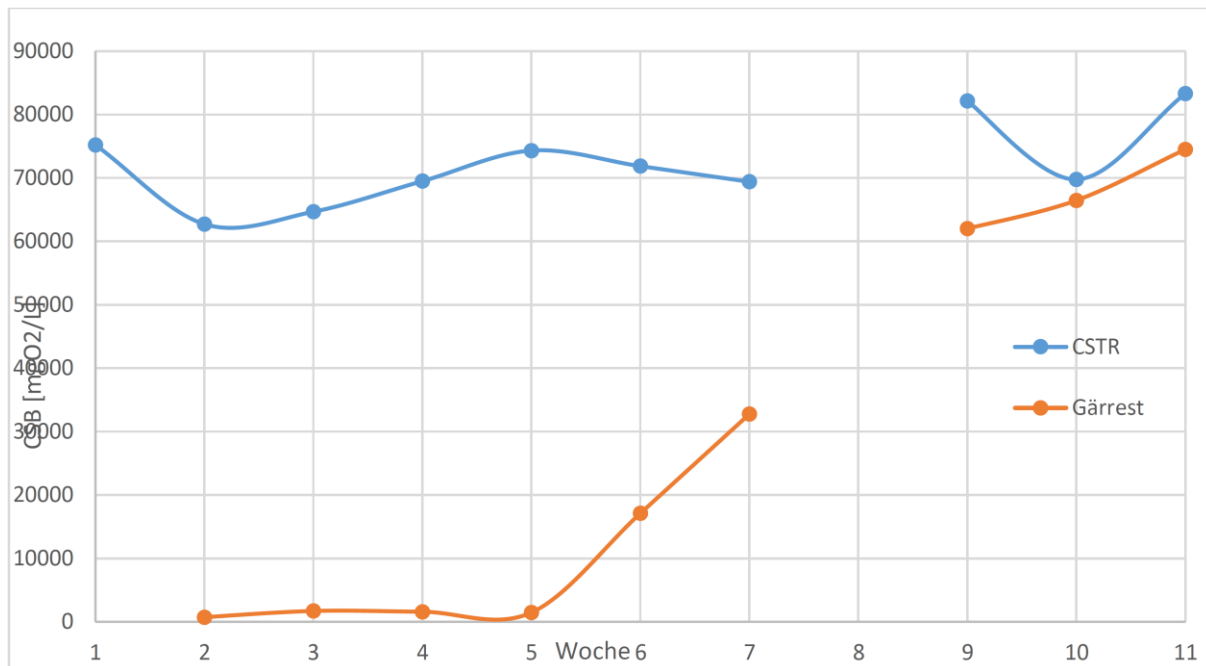


Abbildung 8: CSB-Werte im CSTR (Zulauf) und im Gärrest (Ablauf) des Versuchsdurchlaufs 1

Die stark schwankende Prozessstabilität im Versuchsdurchlauf 1 spiegelt sich ebenfalls in der Gaszusammensetzung des gebildeten Biogases wider (Abbildung 9). Für den Versuchsdurchlauf 1 war nur die Messtechnik für die Analyse der Zusammensetzung des gebildeten Biogases, nicht aber des Volumenstroms einsatzfähig. Während der Methangehalt bis Woche 7 über 55% liegt und damit auf eine stöchiometrische anaerobe Umsetzung des Substrates in Methan und CO₂ hinweist, fällt dieser Wert nach Woche 7 drastisch ab, was auf eine völlige Hemmung der methanogenen Mikroorganismen hindeutet. Des Weiteren ist in Woche 8 ein Anstieg der Wasserstoffkonzentration auf 0,85 % zu verzeichnen

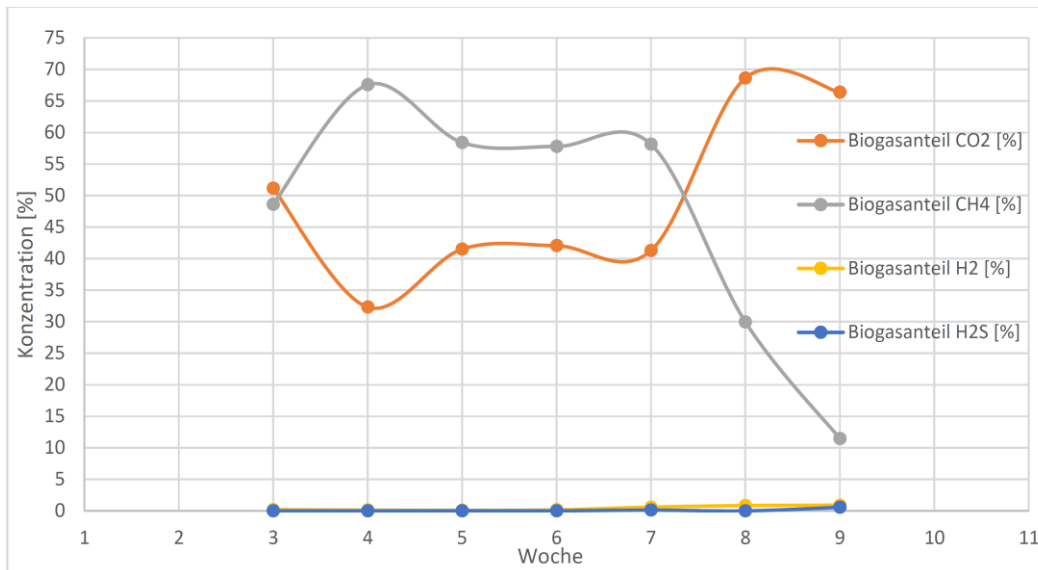


Abbildung 9: Biogaszusammensetzung während des Versuchsdurchlaufs 1

4.2 Versuchsdurchlauf 2

Die Phasen des Versuchsdurchlauf 2 sind in Abbildung 10 dargestellt. Die neue Versuchsphase wurde Ende Februar 2019 mit einem Mischungsverhältnis von Molke und Abwasser von 90:10 angefahren. Hierbei sollte der Fermenter direkt an das schwächer belastete Abwasser gewöhnt werden. Die gewählte Raumbelastung $B_{R,oTS}$ betrug $1,0 \text{ kg-oTS}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$. Ab Mitte März wurde die Raumbelastung auf den CSB Wert ($B_{R,CSB}$) bezogen und sukzessiv auf $4,5 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ erhöht. Aufgrund eines starken Absinkens des pH-Werts im Kompartiment 2 wurde die Raumbelastung auf $0,5 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ reduziert. Im Laufe des April wurde die Raumbelastung wieder auf $0,7 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, $0,9 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ und $1,1 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ angehoben. In der nachfolgenden Phase im Mai 2019 wurde versucht, den niedrigen pH-Wert durch Kalkzugabe zu regulieren und die Raumbelastung wieder auf 3 anzuheben. Ab Mitte Mai wurde der ABR wieder allein mit Molke ohne Schmutzwasserzusatz betrieben. Ende Mai erfolgte aufgrund niedriger oTS- und CSB-Werte im Ablauf und leicht steigender Methanwerte im Biogas eine Erhöhung der $B_{R,CSB}$ auf $4,5 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ und weiter auf $6,0 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$. Dies führte wiederum zu einer deutlichen Verschlechterung des Prozesses mit abfallendem Biogasertrag, woraufhin die Raumbelastung Mitte Juni 2019 auf $0,48 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ verringert wurde.

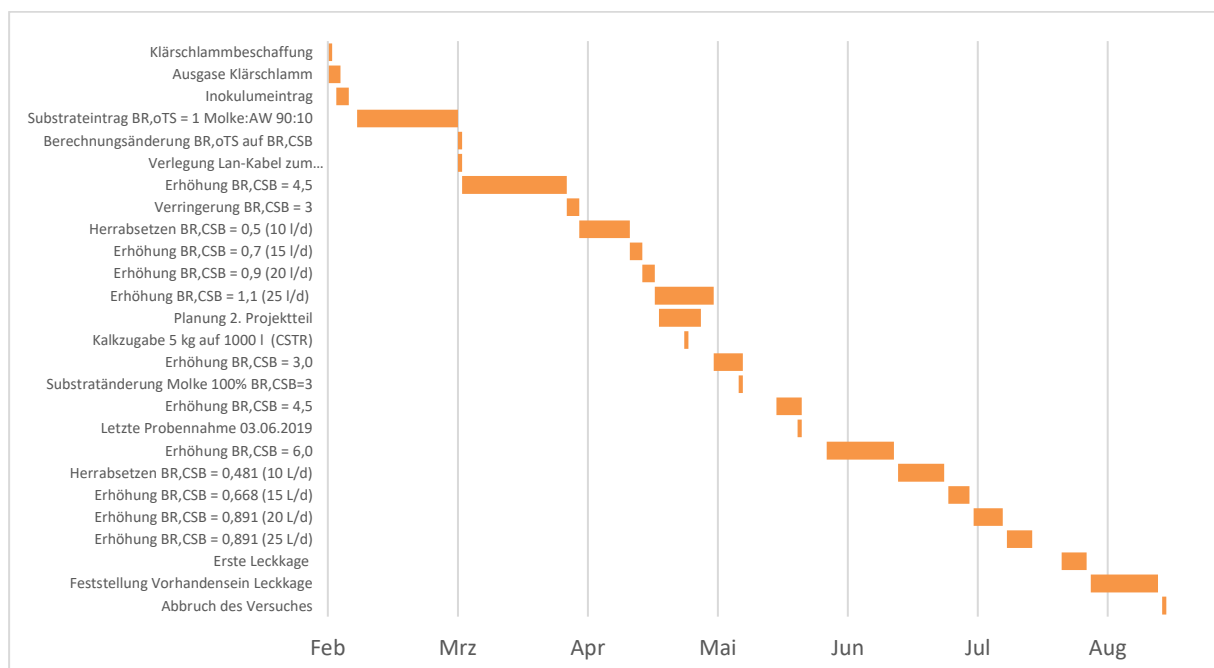


Abbildung 10: Phasen des Versuchsdurchlaufs 2 ($B_{R,oTS}$: Raumbelastung auf Basis der oTS, $B_{R,CSB}$: Raumbelastung auf Basis des CSB)

Im Folgenden wurde die Raumbelastung $B_{R,CSB}$ bis Mitte Juli wieder sukzessive auf knapp $0,9 \text{ kg-CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ erhöht. Ende Juli wurde eine Leckage am Mehrkammerfermenter entdeckt, woraufhin der Betrieb der Anlage Anfang August 2019 eingestellt wurde.

Der Verlauf des pH-Wertes während des Versuchsdurchlaufs 2 in Abbildung 11 zeigt ähnlich wie im Versuchsdurchlauf 1, dass der pH-Wert in Kompartiment K1 vorwiegend im sauren Bereich lag. Das Diagramm zeigt weiterhin, dass der pH-Wert des Kompartiments K2 starken Schwankungen unterlag. In Folge der Raumbelastungserhöhung in Woche 6 fiel der pH-Wert innerhalb einer Woche von pH 7,6 auf pH 4,0 ab. Nach Reduzierung der Substratzufuhr kam es zu einer Erholung des pH-Werts auf pH 7,5. In Folge des langsamen Hochfahrens und Anheben des Feedstroms sank der pH-Wert in Woche 12 wieder auf pH 5,8, bevor dieser wieder innerhalb einer Woche auf pH 7,8 anstieg.

In den nachfolgenden Kammern K3 und K4 konnte gegenüber Versuchsdurchlauf 1 der pH-Wert bis zum Ende des Versuches oberhalb von pH 7,5 gehalten werden.

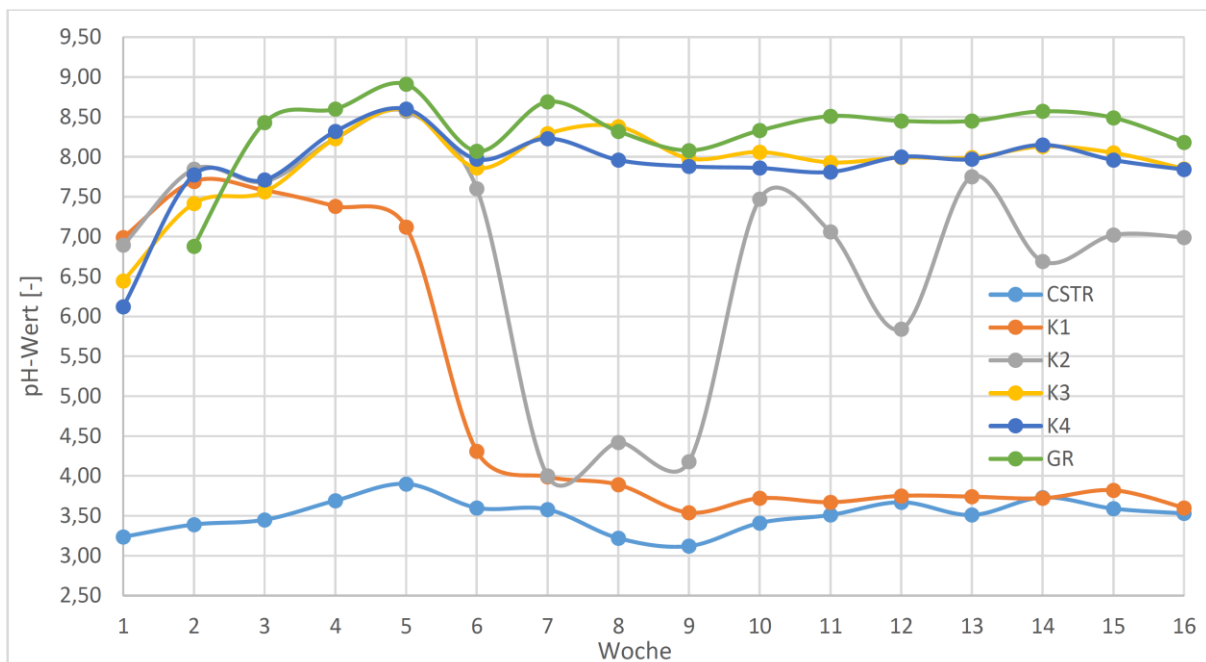


Abbildung 11: pH-Werte des Versuchsdurchlaufs 2 (im Zulauf, CSTR, in den Kompartimenten K1-K4, und im Ablauf = Gärrestlager, GR)

Die CSB-Werte im Substrat und im Gärrest (Abbildung 12) zeigen nach anfänglich eingeschränktem Abbau des CSBs im Substrat (Woche 2) einen generell hohen Abbaugrad des CSBs im Substrat, gekennzeichnet durch geringe CSB Werte im Gärrest.

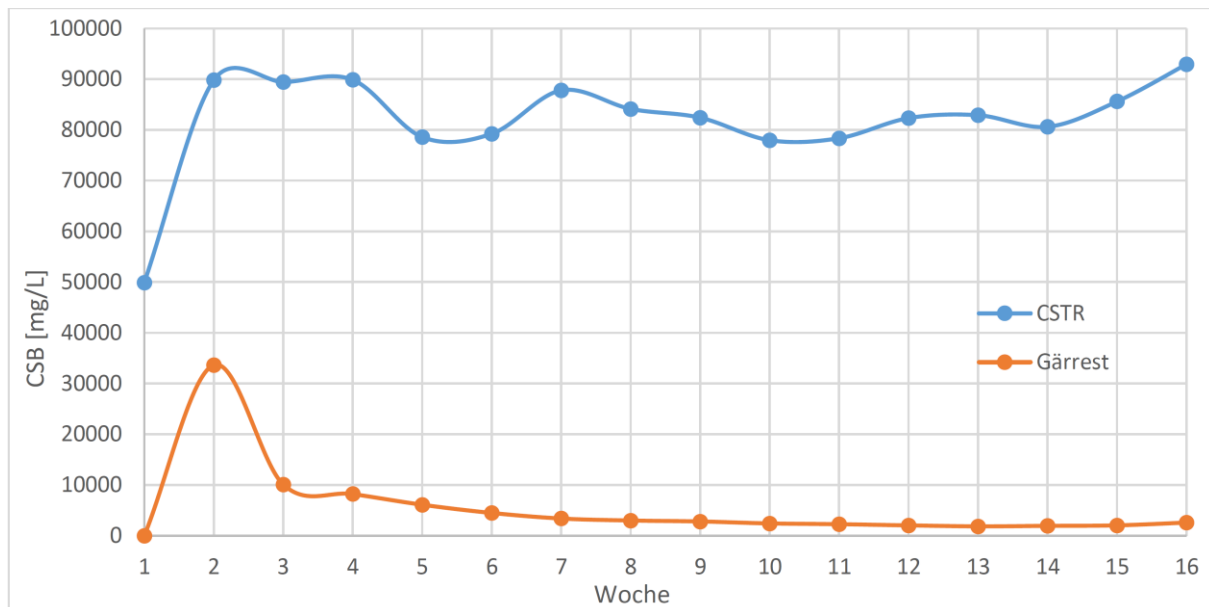


Abbildung 12: CSB-Werte im CSTR (Zulauf) und im Gärrest (Ablauf) des Versuchsdurchlaufs 2

In Bezug auf die Biogasproduktion wurde gegenüber Versuchsdurchlauf 1 bis zum Ende des Versuchsdurchlaufs 2 ein Methangehalt des Biogases zwischen 58% und 67% gemessen.

Nach Einrichtung der benötigten Messtechnik zur Erfassung des produzierten Biogasvolumenstroms im Versuchsdurchlauf 2, konnte in dieser Phase auch der Biogas- und Methanertrag pro Frischmasse (Abbildung 13) berechnet werden. Hier zeigt sich, dass der Biogas- und Methanertrag mit Erhöhung der Raumbelastung ab Woche 2 bis Woche 7 zunehmend abnimmt, sich wieder mit Reduzierung der Raumbelastung erhöht und sich danach wieder entsprechend der leichten Erhöhung der Raumbelastung verringert.

Der errechnete Methanertrag von etwa 15 Nm³ pro m³ Substrat entspricht bei einem CSB Gehalt des Substrates von 88,6 kg/m³ (s. Tabelle 2 für Mischungsverhältnis Molke:Abwasser von 90:10) einem Methanertrag von 16g L-CH₄/kg-CSB. Verglichen mit dem biochemischen

Maximalertrag von 350 L-CH₄/kg-CSB wurde dementsprechend nur 48,2 % des theoretischen Methanertrages erreicht. Dies bedeutet, dass durchschnittlich nur etwa die Hälfte des Substrates in Biogas umgesetzt wurde.

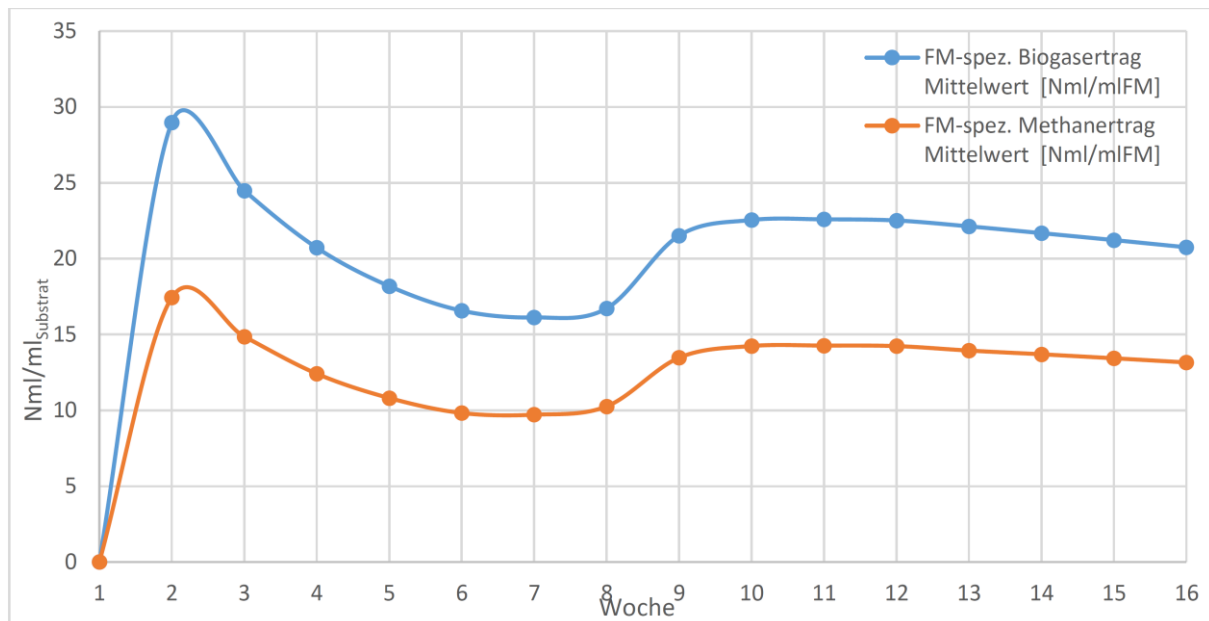


Abbildung 13: Verlauf des Frischmasse (FM)-spezifischen Biogas- und Methanertrages für den Versuchsdurchlauf 2

5 Zusatzversuch der anaeroben Abwasserbehandlung im UASB Reaktor

Nach Auftreten der Leckage am Mehrkammerfermenter Anfang August 2019 wurde die Rest-Projektlaufzeit genutzt, den anaeroben Abbauprozess des Abwassers der Meierei Horst in einem anaeroben Schlammbettreaktor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) im Laborversuch zu testen.

UASB Reaktoren zeichnen sich dadurch aus, dass sich die anaeroben Mischkulturen mit Methanbakterien in granulärer Form als Schlamm am Boden des Reaktors formieren. Dadurch ist es möglich, den Reaktor mit einem hohen Durchfluss des Substrats von unten nach oben zu betreiben, ohne dass die im Schlamm enthaltenen Mikroorganismen ausgespült werden. Aufgrund der hohen Durchflussrate können Abwässer mit einer im Vergleich zu Rührreaktoren sehr hohen Raumbelastung von 30 - 50 kg-CSB/(m³·d) behandelt werden. UASB Reaktoren werden kommerziell für die Behandlung von industriellen Abwässern mit einem CSB Gehalt von 1,0 bis 20 g-CSB/L eingesetzt. Dementsprechend wäre das Abwasser der Meierei Horst zur Behandlung im UASB Reaktor geeignet, während die Molke eine 5-fach höhere CSB-Konzentration aufweist, als dies für die Behandlung in USAB-Reaktoren geeignet wäre. Zudem ist die Behandlung im UASB Reaktor auf Abwässer mit gelösten organischen Stoffen beschränkt, da der Schlammteppich ansonsten sich durch suspendierte Stoffe mit der Zeit zusetzt. Andererseits wäre die Behandlung im UASB Reaktor durch die bis zu 10-fach höhere Raumbelastung sehr viel effizienter als im verwendeten ABR.

Für den Laborversuch wurde ein UASB Reaktor (1 L Volumen) mit granulärem Schlamm aus einem industriellen UASB Reaktor befüllt (Abbildung 14), der zur Behandlung von Abwässern aus der Speiseölherstellung verwendet wird. In der verbleibenden Versuchszeit von 3 Wochen wurde dem Labor-UASB das Abwasser der Meierei Horst in geringer Dosierung zugeführt. Hierbei wurde nur eine sehr geringe Gasentwicklung beobachtet und pH Messungen zeigten, dass der Reaktorinhalt allmählich versauerte und der pH-Wert unter pH 6 sank. Fazit des Versuches ist daher, dass sich ein stabiler Prozess der Abwasserbehandlung der verwendeten Meiereiabwässer im UASB Reaktor auch nur durch eine vorangehende Pufferung des pH-Wertes bewerkstelligen lässt.

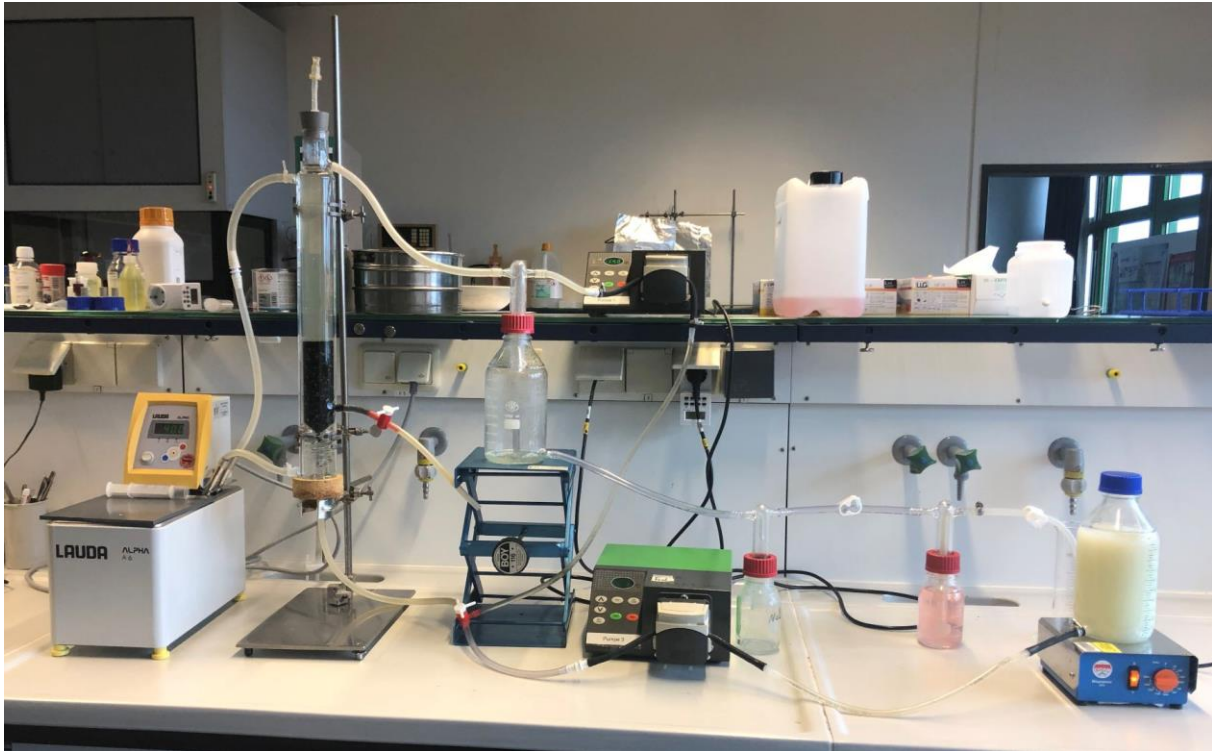


Abbildung 14: Versuchsaufbau zur Behandlung von Abwasser der Meierei Horst im UASB Reaktor (links) im Labormaßstab.

6 Zusammenfassung

Im von der EKSH geförderten Projekt „Nutzung von Molkereiabwässern zur internen Substitution von Brennstoffen“ wurde die Umsetzung von Abwässern und Fehlcharge-Molke der Meierei Horst eG im anaeroben Mehrkammerfermenter (ABR)-Verfahren im Pilotmaßstab getestet.

Insgesamt zeigte das Verfahren seine Grenzen, einen stabilen Prozess der Abwasserreinigung und gleichzeitigen Biogasproduktion zu etablieren. Dies ist insbesondere auf eine variierende Abwasserzusammensetzung und einen niedrigen pH-Wert des Abwassers und der Molke zurückzuführen. Im Vergleich zur Molke weist das Abwasser der Meierei eine für die Behandlung im verwendeten Mehrkammerfermenter zu geringe CSB Konzentration auf. Daher konnte nur die Behandlung von reiner Molke oder unter Zusatz eines relativ geringen Anteils von Abwässern durchgeführt werden. Weiterhin zeigte sich, dass ein stabiler Prozess mit einem hohen Abbaugrad des CSBs des Abwassers und der Molke nur bis zu einer Raumbelastung von 1-2 kg-CSB/(m³·d) möglich war. Der erreichte Biogasertrag war allerdings nur etwa 50% des möglichen Biogaspotenzials.

Um einen stabilen Prozess zur anaeroben Behandlung der Meiereiabwässer mit effizienter Biogasproduktion zu erreichen, erscheint daher eine Pufferung des sauren pH-Wertes des Abwassers als unausweichlich. Diese Notwendigkeit zeigte sich ebenso im Nachversuch bei Behandlung der Meiereiabwässer im UASB Reaktor.

Im Hinblick auf das gewählte Design des Mehrkammerfermenters ist fraglich, ob die gewählte Größenaufteilung der Kompartimente des ABR sinnvoll für die Behandlung eines sauren Substrats wie der Molke ist. Das erste Kompartiment weist mit ca. 40 % den größten Anteil im System auf. Bei niedriger Raumbelastung und Nutzung eines vorweggeschalteten CSTR zur Aufheizung des Substrats mit einhergehender Hydrolyse kann das Substrat in diesem zusätzlich stark versauern. Dadurch, dass die folgenden Kompartimente im ABR deutlich kleiner werden, kann ein saures Substrat im folgenden Kompartiment zu einer weiteren Versauerung führen. Hierdurch kann die anaerobe Abwasserreinigung nur bei niedriger Raumbelastung betrieben werden. Die Kompartimentenaufteilung muss außerdem hinsichtlich dessen betrachtet werden, ob die Strömungsverhältnisse im

verwendeten Reaktor optimal sind. Halten die Mikroorganismen sich nur am Boden auf, kann eine Immobilisierung dieser durch Zusatz von Trägermaterial dazu führen, dass sich die Mikroorganismen im Reaktor in Schwebelage halten und sich im gesamten Reaktionsraum gleichmäßig verteilen.