



## Jahresbericht 1999

Über die Arbeiten gemäss Auftrag: Vertrag-Nr. 72903

**Titel des Projektes:** Prozessverhalten von in der Schweiz eingesetzten MSW-Gärsystemen unter dem Einfluss steigender Anteile an Küchenabfällen: Phase II

**Zusammenfassung:** Das Verhalten der Gärverläufe im Rührkesselreaktor (STR), im Mehrkammersystem (MKS) und im Propfenstromreaktor (VPF) wurde untersucht. Dabei wurde ein steigender Anteil von Küchenabfällen simuliert, indem der Fettanteil im Substrat erhöht wurde (Phase I). In dem jetzigen Projekt (Phase II) wird der Gärprozess bei steigendem Proteinanteil im Gärsubstrat betrieben, um die Auswirkung des steigenden Ammoniumgehalts untersuchen zu können.

Der Gärprozess in den drei untersuchten Systemen wurde bis zu einer Ammoniumkonzentration von 2,5 g/l nicht wesentlich beeinflusst. Die Gasausbeuten im STR- und VPF-Reaktor stiegen sogar leicht von 70 auf 97 m<sup>3</sup>/t Frischmüll bzw. von 51 auf 74 m<sup>3</sup>/t Frischmüll an; Das MKS-System zeigte dagegen einen leichten Rückgang von 67 auf 61 m<sup>3</sup>/t Frischmüll. Die steigenden Fettsäurekonzentrationen belegten eine zunehmende Destabilisierung in allen Reaktoren.

**Dauer des Projektes:** 1. Juli - 1. Dezember 1999

**Beitragsempfänger:** ARGE FAT und Nova Energie, Ettenhausen

**Berichterstatter:** Dr. G. Schober

**Adresse:** Nova Energie GmbH  
Postfach 73  
8356 Ettenhausen

**Telephon:** 052 368 34 70

# **Jahresbericht 1999**

## **1. Ausgangslage**

Während unserer Beratungstätigkeiten und langfristigen Laboruntersuchungen haben wir wiederholt festgestellt, dass bei steigendem Anteil von Bioabfall aus Haushalt, Grossküchen und Schlachtereiern der Gärprozess suboptimal verlaufen kann, was an hohen Säurekonzentrationen und niedrigen Gasausbeuten zu erkennen ist. Eine Reihe von Parametern können dieses Problem verursachen, wie:

- ◆ hohe Ammoniumgehalte
- ◆ tiefes C:N-Verhältnis
- ◆ hoher Salzgehalt
- ◆ fehlende Spurenelemente
- ◆ zu schnell wechselnde Substratzusammensetzung

In der Praxis wird auch der Einfluss unterschiedlicher Fermentersysteme auf die Stabilität des Gärprozesses diskutiert. Dabei stehen sich die durchmischten und die nicht durchmischten Systeme gegenüber. Als voll durchmisches System gilt der STR (Stirred Tank Reactor). Das Mehrkammersystem (MKS) ist durch 3-4 in Reihe geschaltete Reaktoren in einzelne Phasen unterteilt. Diese werden jeweils durchmischt. Das Gärget des vertikalen plug-flow (VPF)-Reaktors wird hingegen während der Vergärung nicht durchmischt.

In der ersten Phase dieses Projekts lag der Schwerpunkt der Untersuchungen bei der Steigerung des Fettanteils im Gärsubstrat. Dabei wurden Unterschiede der einzelnen Gärsysteme festgestellt (siehe Schlussbericht Küchenabfälle, Phase I).

## **2. Ziele und Vorgehen 1999**

Das Verhalten von drei verfahrenstechnisch verschiedenen Reaktorsystemen auf steigende Anteile von Protein soll untereinander verglichen werden.

Mittels gezielter Zugabe von proteinreichem Substrat wird die Grenze des Proteinanteils bzw. des Ammoniumgehalts in der praktischen Anwendung bestimmt. Die Raumbelastung bleibt währenddessen konstant. Als proteinreiches Substrat wird Blutplasma verwendet. Durch die Vergärung des Blutplasmas entsteht Ammonium, das bei Konzentrationen ab 2 g/l den Gärprozess hemmen kann.

Durch gezielte Zudosierung des Blutplasmas wird der Ammoniumgehalt im Fermenter schrittweise angehoben, um das Verhalten der Gärsysteme zu untersuchen. Dabei soll geklärt werden, ob der Proteinabbau bei hohen Ammoniumkonzentrationen zurückgeht, ob sozusagen eine „Selbstschutzmassnahme“ eintritt. Deshalb dient Protein als Substrat und nicht Ammonium.

Dabei wird auch das C:N-Verhältnis sowie der Salzgehalt im Gärget untersucht.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Die untersuchten Gärsysteme

Bei diesen Untersuchungen kamen die selben Gärsysteme zum Einsatz wie im Schlussbericht Küchenabfälle, Phase I beschrieben (Abbildung 1). Beim STR-Reaktor wurde eine Änderung vorgenommen: das Rührwerk wurde durch einen Motor höherer Leistung und einem effizienteren Rührwerk ausgerüstet, um die Vergärung auch bei höheren Trockensubstanzgehalten betreiben zu können.

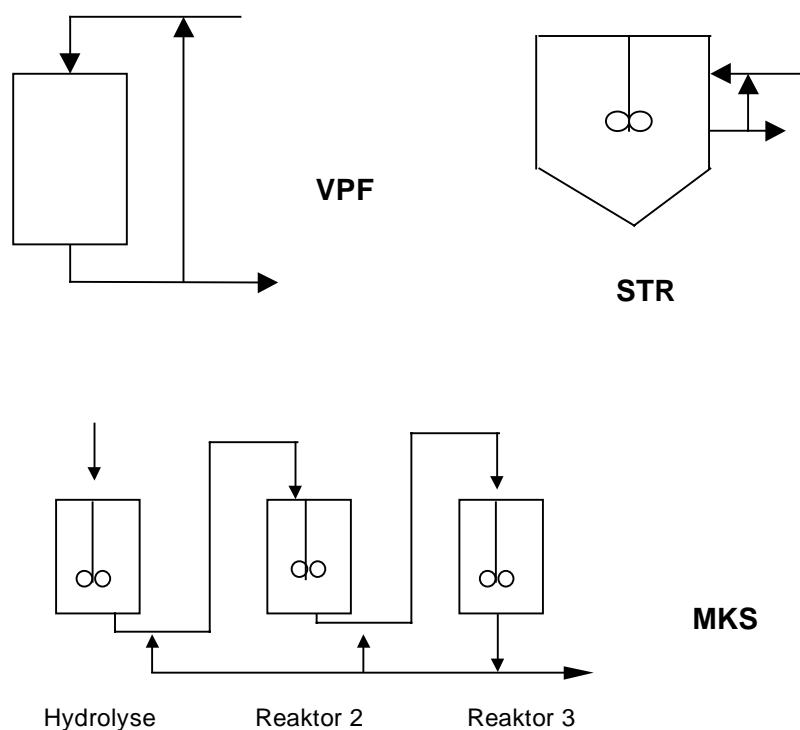


Abbildung 1: Die untersuchten Gärsysteme VPF, STR , und das MKS-System

#### 3.2. Substrate

Bioabfall, der als Grundsubstrat für die Vergärung eingesetzt wurde, stammte wie bei Phase I von einem Kompostplatz (R.O.M.) in Frauenfeld. Das Material wurde mit einem Häcksler auf eine Grösse von maximal 3 cm zerkleinert und tagesportionsweise tiefgefroren.

Das Blutplasma, welches einen Proteinanteil von 77 % aufwies, wurde über die Firma PROVIMI Kliba (Cossonay-Gare) bezogen.

Die Erhöhung des Proteinanteils im Substrat erfolgte schrittweise. Gleichzeitig wurde die Ammoniumkonzentration im Fermenter durch zusätzliche Proteindosierung auf den gewünschten Wert eingestellt. Dabei wurde angenommen, dass der im Protein enthaltene Stickstoff gänzlich zu Ammonium abgebaut wird, was die Versuche weitgehend bestätigten.

### 3.3. Analytik

Zusätzlich zu den im Schlussbericht Phase I beschriebenen Verfahren wurde hier der Gesamtkohlenstoffgehalt (TOC) und der Gesamtstickstoffgehalt ( $N_{total}$ ) bestimmt.

TOC:

1 g Probe wurden mit 5 ml konzentrierter Schwefelsäure bei 103 °C für 16 h inkubiert. Von der unfiltrierten Probe wurde der TOC im TOC-Messgerät (Shimadzu TOC-500) analysiert. Als Trägergas wurde synthetische Luft verwendet.

$N_{total}$ :

0,5 g Probe wurden mit 2 ml konzentrierter Schwefelsäure (selenhaltig) bei 330 °C für 30 Minuten inkubiert. Der Ammoniumgehalt wurde mittels Küvettentest (Fa. Merck) gemessen.

## 4. Resultate

### 4.1. Belastung der Reaktoren ohne externes Protein

Zu Beginn der Experimente wurden die drei Gärsysteme bei niedriger Raumbelastung von 6,5 kg OS/  $m^3 \cdot d$  betrieben. Als Substrat diente dabei reiner Bioabfall.

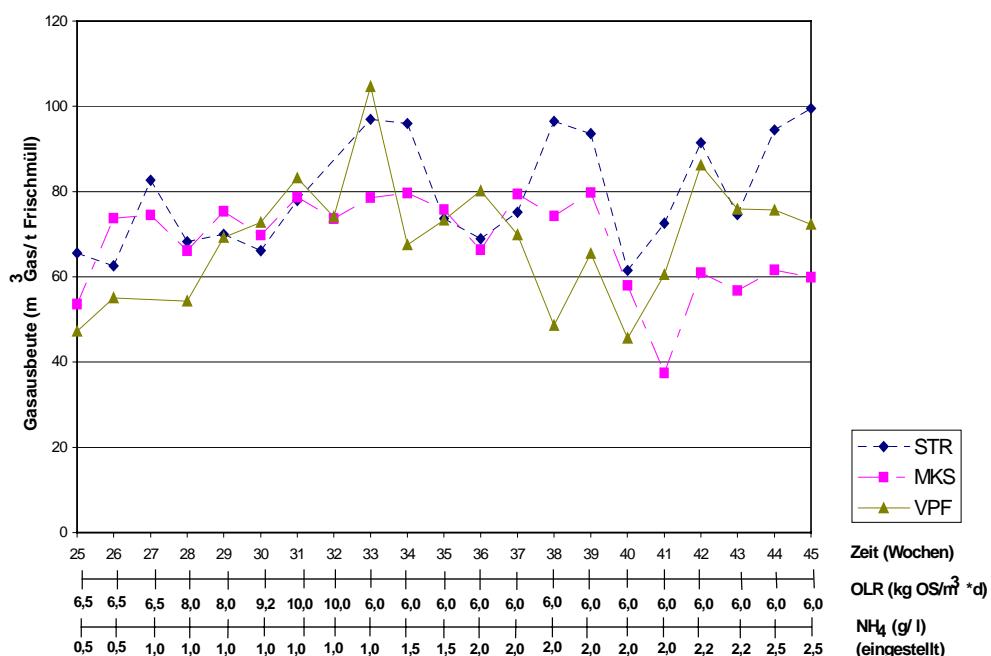


Abbildung 2: Gasausbeuten der STR-, MKS- und VPF-Reaktoren bei Raumbelastungen von 6,5 bis 10 kg OS/  $m^3 \cdot d$  (Woche 25 bis 32). Der Ammoniumgehalt wurde ab Woche 34 bei konstanter Raumbelastung von 6 kg OS/  $m^3 \cdot d$  bis auf 2,5 g/ l angehoben.

In allen drei Anlagen verlief der Gärprozess stabil, was durch niedrige Fettsäurekonzentrationen belegt wurde. Die Ammoniumkonzentrationen lagen bei der alleinigen Vergärung von Bioabfall bei 1 g/l. Während diesem stabilen Verlauf erreichte die Gasausbeute 70 bzw. 67 m<sup>3</sup>/t Frischmüll beim STR bzw. MKS-Reaktor; die Gasausbeute beim VPF-Reaktor belief sich auf 51 m<sup>3</sup>/t Frischmüll (siehe Abbildung 2). Um die Belastbarkeit der Gärsysteme vor einer Steigerung des Ammoniumgehalts zu prüfen, wurde die Raumbelastung innert 4 Wochen von 6,5 auf 10 kg OS/ m<sup>3</sup>\*d angehoben.

Bei Gasausbeuten zwischen 76 und 79 m<sup>3</sup>/t Frischmüll und einem ansteigenden Säuregehalt – wobei das Acetat bis zu 2500 mg/l erreichte – zeigten die drei Fermentersysteme bei 10 kg OS/ m<sup>3</sup>\*d noch keine Überlastung (siehe Abbildung 3, 4 und 5).

Die Gasausbeuten lagen im Vergleich mit Phase I (85 bis 117 m<sup>3</sup>/t Frischmüll bei alleiniger Zudosierung von Bioabfall) relativ niedrig. Dies ist auf eine jahreszeitlich bedingte schlechtere Qualität (hoher Anteil Gartenabbaum) des Bioabfalls zurückzuführen.

#### 4.2. Zugabe von externem Protein

Die Raumbelastung wurde in Woche 33 erneut auf einen niedrigen Wert eingestellt (6,0 kg OS/ m<sup>3</sup>\*d). Ab Woche 34 wurde mit der Beimengung von Blutplasma begonnen, womit ein Anstieg der Ammoniumkonzentration von 1,0 auf 2,0 g/l bewirkt wurde.

Nach der Umstellung auf eine neue Biomüll-Charge in Woche 39 wurde die Erhöhung des Proteinanteils im Zwei-Wochen-Rhythmus vorgenommen.

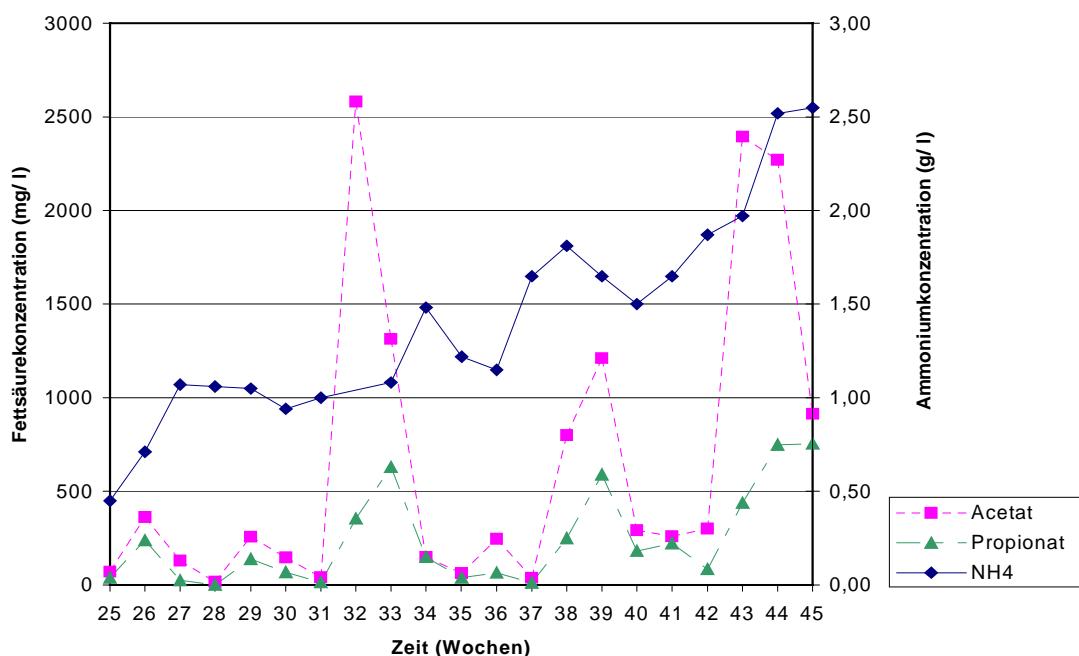


Abbildung 3: Acetat- und Propionatkonzentrationen im STR-Reaktor bei steigendem Ammoniumgehalt

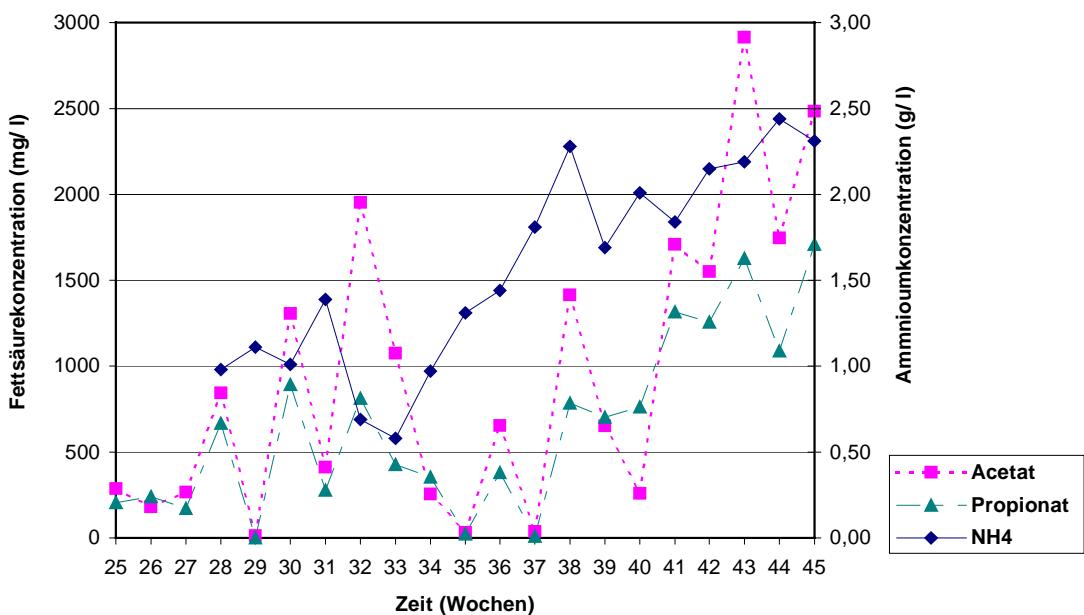


Abbildung 4: Acetat- und Propionatkonzentrationen im R 2-Reaktor des MKS-Systems bei steigendem Ammoniumgehalt

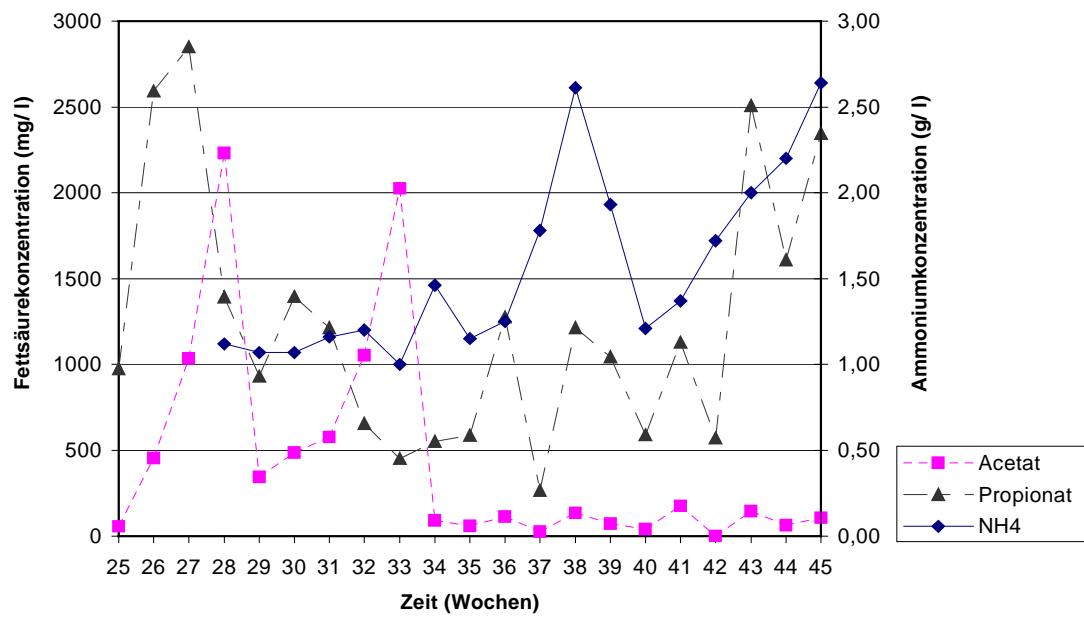


Abbildung 5: Acetat- und Propionatkonzentrationen im VPF-Reaktor bei steigendem Ammoniumgehalt

Bei konstanter Raumbelastung von 6,0 kg OS/ m<sup>3</sup>\*d veränderte sich der Fettsäuregehalt und teilweise auch die Gasausbeute mit zunehmendem Protein- bzw. Ammoniumgehalt. Die Gasausbeute im STR stieg von 70 m<sup>3</sup>/t Frischmüll auf durchschnittlich 97 m<sup>3</sup>/t Frischmüll bei einer Ammoniumkonzentration von 2,5 g / l. Die Gasproduktion wurde demnach nicht von dem steigenden Ammoniumgehalt beeinträchtigt. Auch die Säurekonzentrationen sprechen noch für einen stabilen Fermentationsverlauf (Abbildung 3).

Der Gärprozess im MKS-Reaktor wies ab einer Ammoniumkonzentration von ca. 2 g/ l erhöhte Fettsäurekonzentrationen in den Reaktoren R 2 und R 3 (nicht gezeigt) auf, die im weiteren Verlauf der Fermentation nicht wieder sanken (Abbildung 4). Die Gasausbeute nahm um rund 10 % ab und betrug bei einer Ammoniumkonzentration von 2,5 g/ l nur noch 61 m<sup>3</sup>/t Frischmüll.

Während der Ammoniumgehalt in der Hydrolysestufe (Reaktor 1) unter 1 g/ l blieb, wurden im Reaktor 2 Konzentrationen bis 2,5 g/ l erreicht (Abbildung 4); im Reaktor 3 stiegen sie bis auf 2,8 g/ l (Woche 45).

Der Anteil des im Reaktor 2 gebildeten Biogas an der gesamten Gasausbeute des MKS-Systems veränderte sich nicht mit dem Ammoniumgehalt und betrug von Woche 34 bis 45 im Durchschnitt 70 %; die restlichen 30 % wurden in Reaktor 3 gebildet.

Gleich wie beim STR wiesen die Gasausbeuten im VPF-Reaktor auf einen stabilen Gärverlauf hin. Bei einer Ammoniumkonzentration von 2,5 g/ l wurde mit 74 m<sup>3</sup>/t Frischmüll der Ausgangswert von 51 m<sup>3</sup>/t Frischmüll dank der guten Abbaubarkeit des Proteins übertroffen. Einzig die erhöhten Propionatkonzentrationen (bis zu 2500 mg/ l) deuten auf eine leichte Störung hin (Abbildung 5).

#### **4.3. Das C:N-Verhältnis und der Salzgehalt während der Zugabe externem Proteins**

Der Salzgehalt – bestimmt über die Leitfähigkeit – blieb während der Proteinzudosierung in allen Reaktoren konstant (Tabelle 1). Es ist interessant festzustellen, dass beim MKS mit zunehmendem Abbau der wirksame, d. h. der gelöste Salzgehalt steigt.

Tabelle 1: Salzgehalt in den Reaktoren STR, MKS und VPF ab Woche 39

Reaktor	Salzgehalt (mS/cm)
MKS-Hydrolyse	8 - 10
MKS-Reaktor 2	12 - 16
MKS-Reaktor 3	14 - 18
STR	12 - 14
VFP	12 - 16

Durch die Erhöhung des Proteinanteils im Gärsubstrat wurde auch der Stickstoffanteil angehoben. Dies wird durch das sinkende C:N-Verhältnis in den drei Reaktoren gut wiedergegeben (Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Gesamtkohlenstoffgehalt, Gesamtstickstoff und das C:N-Verhältnis bei steigendem Proteingehalt in den drei untersuchten Systemen STR, MKS (Reaktor 2) und VPF

Woche	STR			R 2			VPF		
	TOC	N <sub>total</sub>	C:N	TOC	N <sub>total</sub>	C:N	TOC	N <sub>total</sub>	C:N
33	37620						60720		
34	44700						61440		
35	46380			63420	5491	11,5	65400	6677	9,8
36				51780			73920	7004	10,6
37	50340	3791	13,3	60720	6412	9,5	59400	7940	7,5
38	50100			59340	5803	10,2	69480	7753	9,0
39	57180	5195	11,0	59746	8892	6,7	71160	6989	10,2
40	63780	5476	11,6	50580	7925	6,4	71880	6989	10,3
41	63600	5195	12,2	55800	6630	8,4	76200	7644	10,0
42	43200	4976	8,7	54120	7207	7,5	68520	6926	9,9
43	60900	5210	11,7	59040	7270	8,1	63420	7332	8,6
44	50190	5242	9,6	69180	7410	9,3	61440	7192	8,5
45	55140			65580				7940	

## 5. Ausblick

Durch die Steigerung des Ammoniumgehalts auf 2,5 g/l sind noch keine deutlichen Einbussen bei der Gasausbeute festzustellen, die auf die erhöhte Ammoniumkonzentration zurückzuführen wäre. Um das Verhalten der drei Reaktorsysteme im kritischen Ammoniumbereich beschreiben zu können, muss der Ammoniumgehalt noch weiter gesteigert werden. Bei Hemmerscheinungen werden Massnahmen ergriffen (Zugabe von Antagonisten, C-Quellen), um die Hemmwirkung des Ammoniums zu vermeiden.

Der Einfluss des C:N-Verhältnisses wird erfasst und interpretiert.

Ferner werden vertiefte Untersuchungen bezüglich des Salzgehaltes durchgeführt.