

Schlussbericht vom September 2005

Co-Vergärung von Speisresten und kommunalem Klärschlamm in der ARA Frick

Projekt Nr. 100143

Vertrag Nr. 150179

Ausgearbeitet durch

Beat Näf; Hans Engeli; Oliver Drössler

Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Verdesis Suisse S.A., Postfach, 5001 Aarau

Autoren:

Beat Näf, Verdesis S.A.

Hans Engeli, engeli engineering

Oliver Drössler, Hochschule Wädenswil

Begleitgruppe:

Bruno Guggisberg, Bundesamt für Energie BFE

Prof. Dr. Urs Baier, Umweltbiotechnologie, Hochschule Wädenswil

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Energie und Umwelt“ des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

Bezugsquelle: www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	2
2. Resumé	3
3. Einführung	4
3.1. Co-Vergärung von festen und flüssigen Substraten.....	4
3.2. Biogas	4
4. Projektziele	5
5. Grundlagen	6
5.1. Anlagenbeschreibung	6
5.1.1. Anlagendaten.....	6
5.1.2. Betriebsparameter Schlammaufbereitung	7
5.1.3. Infrastruktur für Co-Vergärung	8
5.1.4. Schematische Darstellung der ARA Frick	8
5.2. Substratcharakter	9
5.2.1. Eigenschaften Co-Substrat und Konzept zur Verwendung.....	9
5.2.2. Analyse Co-Substrat	10
5.2.3. Analyse Klärschlamm.....	10
5.3. Mikrogasturbine	12
5.3.1. Einführung in die Mikrogasturbinentechnologie	12
5.3.2 Der Mikrogasturbinenprozess.....	13
6. Versuchsprogramm.....	14
6.1 Messmethoden	14
6.2. Kontrollperiode ohne Zudosierung Co-Substrat	15
6.2. Kontrollperiode ohne Zudosierung Co-Substrat	17
7. Resultate und Diskussion.....	19
7.1. Analysen der Schlammproben	19
7.2. Auswertung der Daten aus dem Gasmessgerät.....	22
7.3. Auswertung der Tagesrapporte ARA Frick.....	23
7.4. Mikrogasturbine	25
8. Schlussfolgerungen.....	29

1. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund, eine Möglichkeit der besseren energetischen Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur einer ARA aufzuzeigen und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit einer Mikrogasturbine darzustellen, fand von Frühjahr bis Herbst 2004 in Frick AG ein Versuch zur Co-Vergärung von kommunalem Klärschlamm mit Frittieröl aus der Gastronomie statt. Dabei wurde dem Klärschlamm ein Substrat aus unbehandeltem, nicht gereinigtem, verbrauchtem Frittieröl beigemischt. Zur Umwandlung des in der Faulung entstehenden Biogases in elektrische Energie wurde eine Mikrogasturbine mit einer elektrischen Leistung von 30 kW verwendet.

In der Folge wurden die Faultürme gezielt beprobt. Bei der Auswertung der Proben in den Laboratorien der Hochschule Wädenswil wurde die Veränderung der Zusammensetzung des Klärschlammes und der Abbaugrad einzelner, für den Fortschritt bzw. die Hemmung des anaeroben Abbaus stellvertretender Stoffe betrachtet. Weiterhin wurden in diesem Zusammenhang die Prozessstabilität und die Reinigungsleistung der ARA überprüft. Gasseitig wurden dann mittels spezieller Messelektronik die Mengen und die Qualität des Biogases vor und nach Zugabe des Substrates ermittelt und durch die direkte Weiterleitung des Gases in die Mikrogasturbine dessen Brennwert und die Leistungsdaten der Turbine getestet.

Es konnte festgestellt werden, dass das eingesetzte Co-Substrat gut abbaubar ist und eine Steigerung der Biogasproduktion erreicht wurde. Die Prozessstabilität und die Reinigungsleistung der ARA wurde nicht beeinträchtigt, da weder während des Projektes, noch im Nachhinein Veränderungen in den Abläufen der ARA gefunden werden konnten oder sonstige biotechnische Probleme aufgetreten sind.

Bei den Versuchen mit unbehandeltem, ungereinigtem Altölen hat sich die Verwendung eines groben Vorfilters als nützlich erwiesen, um eine Verstopfung der Zuleitungen und Förderaggregate durch Fest- und Schwebstoffe zu vermeiden.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass durch das Hinzufügen eines Co-Substrates eine wesentliche Erhöhung der Biogasproduktion möglich ist und man durch sehr geringe Änderungen an der Infrastruktur einer bestehenden Abwasserreinigungsanlage die Biogasproduktion erheblich steigern kann.

Im Falle der Kläranlage Frick konnte durch die Zufuhr von 50 l Frittieröl pro Tag (entsprechend rund 7.5 % der totalen OS Menge) die Biogasproduktion um 15 % bzw. um 40 m³ gesteigert werden. Dies entspricht einer zusätzlichen Stromproduktion 80 kWh pro Tag, was bei einem Einspeisetarif von 15 Rp./kWh zusätzlich Einnahmen von 12.- Fr./Tag nach sich zieht. Nicht eingerechnet sind dabei die Erlöse für die Annahme von Frittieröl von bis 25.- Fr./100 kg. Hochgerechnet aufs Jahr würden die Mehreinnahmen damit gesamthaft zwischen 8'000 und 9'000 Franken betragen.

Aus dem oben gesagten betreffend Prozessstabilität und Reinigungsleistung kann abgeleitet werden, dass die Zufuhr von Frittieröl ohne weiteres verdoppelt werden kann.

Die Erfahrungen mit der Mikrogasturbine zeigen, dass die vom Hersteller gepriesenen Vorteile der hohen Verfügbarkeit und des geringen Wartungsaufwand sich in der Praxis bestätigen lassen. In Frick musste während des 2-jährigen Betriebes einzig das Regelventil ersetzt werden.

Der elektrische Wirkungsgrad der 30 kW-Mikrogasturbine wird vom Hersteller mit 26 +/- 2 % angegeben. Eine Messung bei Inbetriebnahme ergab einen Wert von 25,4 %. Positiv zu vermerken ist, dass dieser Wirkungsgrad nach zwei Jahren praktisch gleich ist; das De-grading ist somit vernachlässigbar.

2. Résumé

En vue de démontrer la possibilité de mieux utiliser d'un point de vue énergétique l'infrastructure existante d'un Centre de Traitement des Eaux Usées et en même temps de mettre en évidence les performances d'une microturbine, une expérimentation de cofermentation de boues d'épuration communales avec de l'huile de friture usagée provenant de la restauration a été menée à Frick du printemps à l'automne 2004. Pour ce, les boues ont été mélangées à un substrat constituée d'huile de friture usagée n'ayant subi aucun traitement. Une microturbine d'une puissance électrique de 30 kW a été utilisée pour produire de l'électricité à partir du biogaz résultant de la fermentation anaérobie.

Au cours de l'expérimentation, des échantillons ont été prélevés de façon ciblée dans les digesteurs. Lors de l'analyse des échantillons dans les laboratoires de université de Wädenswil, les modifications de la compositions des boues et le degré de dégradation de certaines substances représentatives de la progression ou de l'inhibition du processus de digestion anaérobie ont été étudiées. De cette manière, la stabilité du procédé et la capacité de traitement du CTEU ont été analysés. La quantité et la qualité du biogaz avant et après l'ajout de co-substrat ont été déterminés grâce à une instrumentation spécifique. De plus, la valorisation du biogaz par la microturbine a permis de tester les performances de cette dernière.

Il a été démontré que le co-substrat employé se dégrade bien ; la production de biogaz a été augmentée. La stabilité du procédé et la capacité de traitement du CTEU n'ont pas été dégradées. Ni pendant le projet ni par la suite ne sont apparues de modifications au niveau des rejets ni d'autres problèmes biotechniques.

Lors des essais avec des huiles usagées non traitées, il s'est avéré nécessaire de mettre en place un filtre grossier en amont pour éviter le bouchage des canalisations et des pompes par des matières solides ou en suspension.

En résumé, l'ajout d'un co-substrat permet une augmentation notable de la production de biogaz avec très peu de modifications de l'infrastructure d'une station d'épuration existante.

Dans le cas de Frick, l'ajout de 50 l d'huile de friture par jour (soit environ 7,5% du total de la matière organique) a augmenté la production de biogaz de 15% soit 40 m³. Cela correspond à une production d'électricité supplémentaire de 80 kWh par jour, qui avec un tarif de rachat de 15 Rp./KWh apporte des revenus supplémentaires de 12.SFr par jour (8.16€). Il faut rajouter à cela les revenus apportés par la reprise de l'huile de friture qui vont jusqu'à 25. SFr/100 kg (17€). Sur une année, les revenus supplémentaires peuvent donc s'établir entre 8'000 et 9 '000 SFr (5400€ à 6100€).

D'après ce qui a été dit plus haut sur la stabilité du procédé et la capacité de traitement, la quantité d'huile de friture ajoutée peut être doublée sans plus de précautions.

Le retour d'expérience de l'utilisation de la microturbine montre que les avantages vantés par le constructeur, à savoir l'excellente disponibilité et le peu de besoins de maintenance, sont avérés par la pratique. A Frick, seul une vanne de réglage a du être remplacée pendant les 2 ans d'exploitation.

D'après le constructeur, le rendement électrique de la microturbine s'établit à 26 +/- 2%. Lors de la mise en service, il a été mesuré à 25,4%. Après 2 ans, le rendement est quasiment identique ; le "de-grading" est donc négligeable.

3. Einführung

3.1. CO-VERGÄRUNG VON FESTEN UND FLÜSSIGEN SUBSTRATEN

Hinter dem Begriff Co-Vergärung verbirgt sich zusammengefasst die gemeinsame Vergärung fester oder flüssiger biogener Abfälle, darunter fallen beispielsweise Speisereste und Rüstabfälle aus Grossküchen sowie gewerbliche Lebensmittelabfälle, mit flüssigen Substraten, wie Klärschlämme oder Gülle. Das aus dem anaeroben mikrobiellen Abbau- und Umwandlungsprozessen entstehende Biogas stellt einen nachhaltigen Energieträger mit steigendem Potential dar. Unter bestimmten Voraussetzungen eignen sich für die Anwendung der Co-Vergärung bereits bestehende Faultürme von Kläranlagen bzw. grössere landwirtschaftliche Biogasanlagen, ohne dass umfangreichere bauliche Veränderungen notwendig sind.

Beim Prozess der Co-Vergärung wird der Umstand ausgenutzt, dass in konventionellen Vergärungsanlagen oft relativ dünne Substrate vergoren werden, was energetisch und auch wirtschaftlich nicht interessant ist, da zu viel Wasser auf eine zur Gärung erforderliche Temperatur gebracht werden muss. Zudem muss der Fermenter, zur Menge der zu verarbeitenden organischen Substanz und somit zur Biogasproduktion ins Verhältnis gesetzt, sehr gross ausgelegt werden.

Wenn nun aber an dieser Stelle entsprechend fein zerkleinerte, feste biogene Abfälle mit einer Trockensubstanz von 10-25% einem dünnflüssigen Substrat, wie Schlamm oder Gülle mit einer Trockensubstanz von 3-7%, zugesetzt werden, wird die hydraulische Belastung des Fermenters nur unwesentlich erhöht. Die Faulraumbelastung hingegen wird durch die Zugabe des organischen Materials allerdings merklich erhöht, was eine Steigerung der raumspezifischen Biogasproduktion zur Folge hat. Über die zunehmende Biogasproduktion wiederum kann die Rentabilität der Anlage verbessert werden, ohne grössere Modifikation an der bestehenden Infrastruktur, wie den Gärtanks oder den Pumpen beispielsweise vornehmen zu müssen.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Co-Vergärung eine interessante Möglichkeit zur kostengünstigen und dezentralen Verwertung fester Abfälle zur Energiegewinnung aus Biomasse darstellt.

3.2. BIOGAS

Unter dem Begriff Biogas werden Gase verstanden, die bei der Vergärung von biologischen Stoffen unter Luftabschluss entstehen. Die Hauptbestandteile sind Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2). Biogas, das zur weiteren Verwendung bestimmt ist, entsteht im Wesentlichen auf zweierlei Arten. Entweder, wie im vorliegenden Fall in Faultürmen von Kläranlagen (Klärgas) bei der anaeroben Vergärung von kommunalen und landwirtschaftlichen Abfällen und allen anderen organischen Reststoffen oder auf Mülldeponien, wo es dann Deponiegas genannt wird.

Alles in allem stellt Biogas einen ökologisch sinnvollen sowie ökonomisch wertvollen alternativen Energieträger dar. Eine Ressource, die es in der Zeit immer knapper werdender natürlicher Energieträger, als auch vor dem Hintergrund des modernen Umweltschutzes, mit dem Gebot der Verhältnismäßigkeit, rechtfertigt, auch in Zukunft an der Weiterentwicklung ihrer Nutzbarkeit zu arbeiten und zu forschen.

4. Projektziele

Bezüglich der Aufgabenstellung, eine Möglichkeit der besseren energetischen Ausnutzung des Biogaspotenzials einer ARA durch Zusatz eines Co-Substrates aufzuzeigen, sowie die Leistungsfähigkeit der neuartigen kleinen Mikrogasturbine darzustellen, wurden bei den Zielen folgende Schwerpunkte gesetzt:

1. **Signifikante Erhöhung der Biogasproduktion durch Zufuhr von protein- und fettreichen Stoffen als Co-Substrate in den Faulraum**
2. **Verbesserung der Ausnutzung vorhandener Infrastrukturen auf einer bestehenden Kläranlage**
3. **Überwachung von Prozessverhalten, -stabilität und Reinigungsleistung der ARA nach Zugabe von protein- und fettreichen Stoffen in die Faulanlage**
4. **Gewinnung von Betriebserfahrung aus dem Einsatz einer Mikrogasturbine zur Verwertung von Biogas auf der Kläranlage Frick**

Vorweg zu nehmen ist, dass die Ziele des Projektes erreicht wurden.

5. Grundlagen

Als Örtlichkeit der Versuche wurde von der Gemeinde Frick AG freundlicherweise die kommunale Abwasserreinigungsanlage ARA Frick zur Verfügung gestellt. Die Anlage ist in einem kleinen Gewerbegebiet, am westlichen Ende des Ortes Frick gelegen, direkt neben dem Flüsschen Sissle, in unmittelbarer Nähe zur Autobahn A3, Zürich-Basel. Im Zuge einer Neuorganisation der vorhandenen Kläranlagen in der Region wurde diese ARA Anfang 2005 still- bzw. trockengelegt und rückgebaut.

5.1. ANLAGENBESCHREIBUNG

5.1.1. Anlagendaten

Einwohnergleichwerte	ca. 7500
Maximaler Trockenwetterzufluss	75 l/s
Vorbehandlung	
Regenwetterzufluss mech. Reinigung	225 l/s
Regenwetterzufluss biol. Reinigung	115 l/s
Strangpresse	Feststoffe werden in der KVA verbrannt
Biologie	
Vorklärbecken	2 x 215 m ³
Schneckenpumpen zur Hebung von Abwasser und Rücklaufschlamm	1x 90 l/s und 1x 130 l/s
Belüftungsbecken	490 m ³ , Lufteintrag mittels zweistufiger, höhenverstellbarer Oberflächenturbine
Nachklärbecken	810 m ³
Pufferbehälter für Schlamm	15 m ³
Vorlagebehälter Aussenkammer (Aufwärmen Frischschlamm)	1,9 m ³
Vorlagebehälter Innenkammer (Abkühlen ausgegorenen Schlammes)	1,9 m ³
Reaktor	15 m ³
Hygienisierungstemperatur	60°C
Faulraum	
Fassungsvermögen	300 m ³ , Umwälzung durch Gaseinpressung
Temperatur im Sommer	38 – 40°C
Temperatur im Winter	ca. 33°C

Beschickung automatisch	10 x 1,85 m ³ /Tag
Hydraulische Verweilzeit mittlere	16.2 Tage
Austrag	über Tauchrohr in den Stapel- und Umwälzbehälter Eingetragenes Material verdrängt auszutragendes Material.
Austrag Biogas	über Kiestopf auf dem Deckel des Faulturms
Stapelbehälter 1	300 m ³ (ehem. Nachfaulraum)
Faulwasser	wird in das Vorklärbecken zurückgeführt
Stapelbehälter 2	340 m ³
<i>Gasverwertung in BHKW</i>	
Gasproduktion	0 – ca. 370 m ³ /Tag
Eigenbedarf der Anlage	bis ca. 260 m ³ /Tag
Menge abgefackeltes Überschussgas	0 – ca. 110 m ³ /Tag

5.1.2. Betriebsparameter Schlammaufbereitung

Einspeisung Frischschlamm	automatisch, diskontinuierlich 10 Portionen zu 1,85 m ³ /d aus Pufferbehälter in Aussenkammer Vorlagebehälter
Vorwärmen Frischschlamm	110 min in Vorlagebehälter durch Wärmetausch mit ausgegorenem Schlamm
Hygienisierung Frischschlamm	im Reaktor 30 min 60°C
Gärung	Obeneintrag in Faulraum Die Externe Zirkulation des Schlammes über Bypass-Leitung wird von einer Zeitschaltuhr gesteuert. In Abständen von 3 bis 4 Stunden wird halbstündlich der Schlamm zirkuliert. (Intervall vom Klärwart gewählt). ca. alle 3 Stunden wird während einer halben Stunde Biogas umgewälzt (über Dom abgezogen und über Tauchrohre wieder eingeblasen), Steuerung durch eine Zeitschaltuhr Die Schlamm- und die Gaszirkulation sind unabhängig voneinander gesteuert und können sich überschneiden.
Austrag	durch Verdrängung mit Frischschlamm über Tauchrohr in den Stapelbehälter 1 vom Stapelbehälter 1 mittels Handbetrieb in den Stapelbehälter 2 oder zur Schlammabgabe

5.1.3. Infrastruktur für Co-Vergärung

Einspeisung

Stutzen mit Storzkupplung sind überall vorhanden.

Im Pufferbehälter befindet sich kalter Schlamm.

Um zusätzliche Fett- und Ölablagerungen zu vermeiden, sollte der Pufferbehälter nicht zur Einspeisung verwendet werden.

Fette müssen vor der Einspeisung aufgeschmolzen werden.

Lager- und Schmelzbehälter für die Co-Vergärung sind nicht vorhanden. Die Lagerung grösserer Mengen Co-Substrat ist auf dem Parkplatz vor bzw. direkt hinter dem Betriebsgebäude möglich.

Probenahme

Hähne für die Probenahme befinden sich nahe den Pumpen. Proben können nur gezogen werden, wenn die entsprechenden Pumpen eingeschaltet sind. Dies kann jederzeit von Hand geschehen.

Der Schlamm im Stapelbehälter 2 ist sehr kompakt, Proben können theoretisch nur an der Oberfläche mit einer Schöpfkelle entnommen werden.

5.1.4. Schematische Darstellung der ARA Frick

Abb. 1: Vereinfachtes Prozessschema der ARA Frick im vorliegenden Projekt

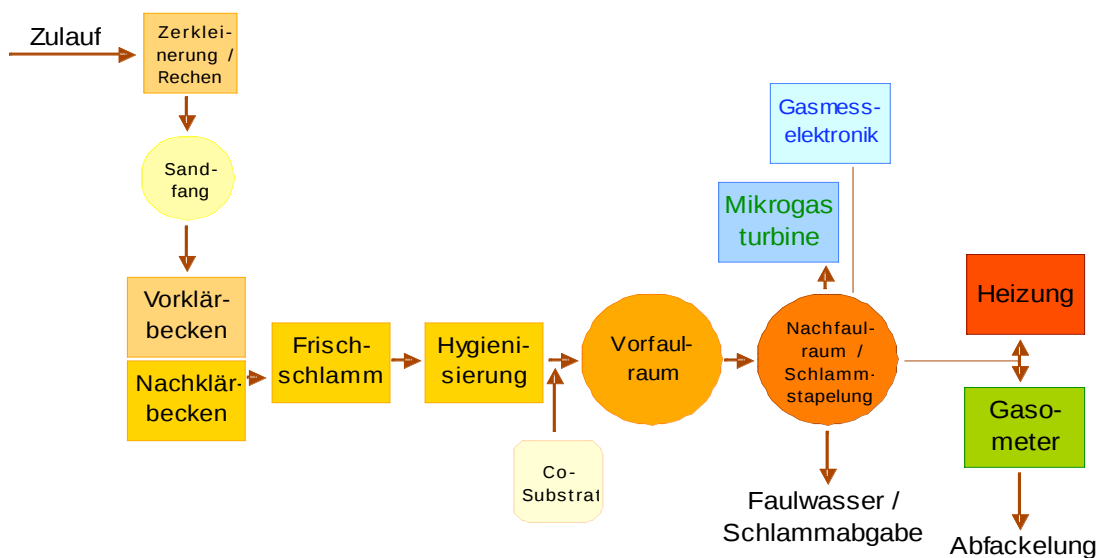
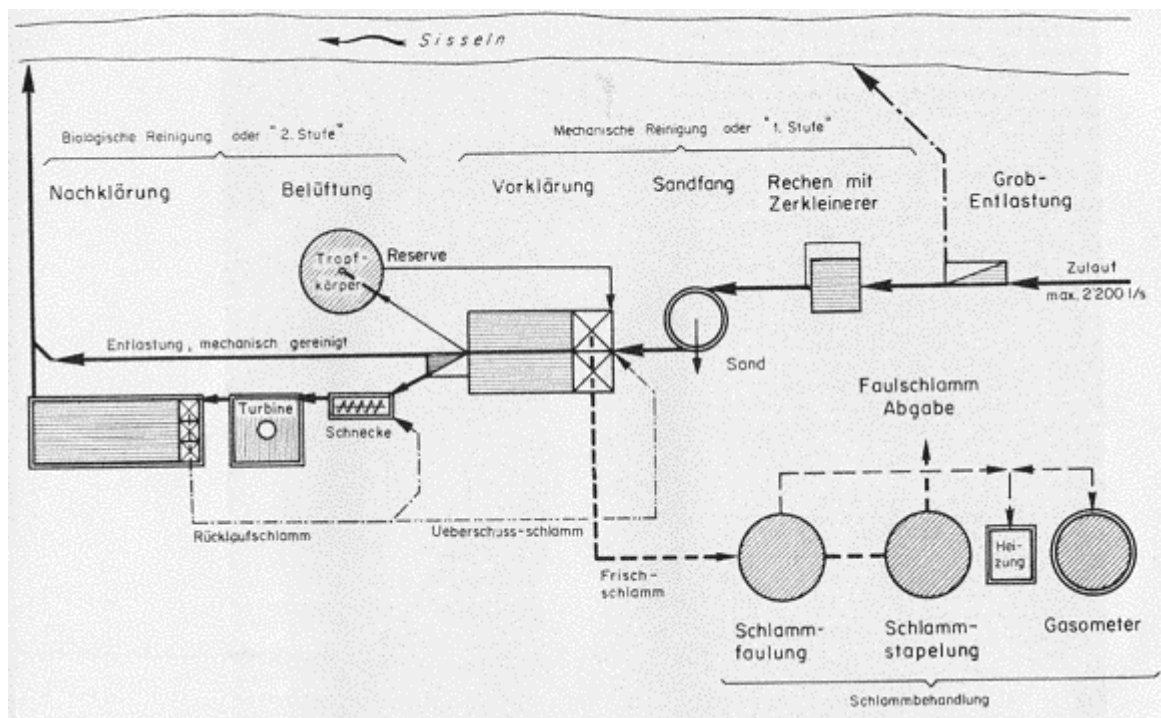


Abb. 2: Darstellung des ursprünglichen Prozessschemas der ARA von 1973



5.2. SUBSTRATCHARAKTER

5.2.1. Eigenschaften Co-Substrat und Konzept zur Verwendung

Im vorliegenden Fall der Versuche auf der Abwasserreinigungsanlage ARA in Frick, wurden zwei Substrate miteinander vergoren. Zum einen handelte es sich um den in der Kläranlage gegenwärtigen kommunalen Klärschlamm und zum anderen ein von uns hinzugefügtes leicht zähes, pastöses Öl. Bei diesem handelte es sich um verbrauchtes Frittieröl, was als Abfallprodukt in der Gastronomie anfällt. Es wurde vor der Einspeisung in den Faulturm nicht gereinigt oder sonst behandelt. Der Gedanke im Hintergrund war hierbei, so wenig wie möglich Arbeitsaufwand und Kosten bei der Vorbereitung entstehen zu lassen, um dem Ansatz gerecht zu werden, durch sehr geringe Änderungen an der Infrastruktur und kleinstmöglichem Aufwand an Personal die Ausnutzung des Biogaspotentials zu steigern.

Durch die mehrfache Erhitzung des Öles, in seiner ursprünglichen Verwendung auf Temperaturen um über 160 °C, waren eine beginnende Veresterung und daraus resultierend mögliche Probleme mit Verklebungen in der Anlage zu befürchten.

5.2.2. Analyse Co-Substrat

Bezüglich der Analyse des Co-Substrates im Labor der Umweltbiotechnologie der Hochschule Wädenswil HSW wurde beschlossen, sich zwecks Vergleichbarkeit der Analysedaten des Klärschlammes auf Aussagen wie Trockensubstanz und Glühverlust zu beschränken.

Tabelle 1: Trockensubstanz (TS) und organische Trockensubstanz (oTS) Frittieröl

Analyse		TS	TS	gTS	mg	oTS	oTS	gGV
Probe	Probe-Nr.	Trocken-rückstand [%]	Mittelwert Trocken-rückstand [%]	Gesamt-trocken-rückstand [g/l]	Glühmasse (Asche) [g]	Glühverlust [% d. TS]	Mittelwert Glühverlust [% d. TS]	Gesamtglüh-verlust (oTS) [g/l]
Frittieröl	1	99,41	99,68	856,7	0,164	99,6	99,7	853,4
	2	99,96		875,6	0,133	99,7		872,9

5.2.3. Analyse Klärschlamm

Bei der Analyse im Labor der Umweltbiotechnologie wurden für den Klärschlamm folgende Messwerte ermittelt. Stellvertretend für die Analysewerte des Klärschlammes vor Zugabe des Co-Substrates ist in den folgenden Tabellen das Beispiel vom 27.01.2004, dem Beginn der Kontrollperiode aufgeführt. Besonders zu beachten sind hierbei die Werte für den Nachfaulraum. Die ausführlichen Datensätze der Analysen aller Probenahmen sind im Anhang beigelegt.

Tabelle 2: CSB, Ammonium, Phosphor_{gesamt} Klärschlamm

Kläranlage Frick

5070 Frick

Analyseresultate
Schlammprobe ARA Frick

Probe
Analyse
Durchgeführt von
Konservierung: frisch - gekühlt

27.01.2004
27.01.-30.01.04
E. Büeler

pH-Wert

Frischschlamm	6.5
Hygienisiert	7.1
Vorfaulraum	
Nachfaulraum	7.1
Faulwasser	7.3

CSB (filtriert 0,45 µm)

CSB [mg/l]

Frischschlamm	3400
Hygienisiert	4310
Vorfaulraum	

Nachfaulraum	378
Faulwasser	383

Ammonium		NH ₄ -N [mg N/l]
Frischschlamm		204
Hygienisiert		230
Vorfaulraum		
Nachfaulraum		1010
Faulwasser		1000
Phosphat (filtriert 0,45 µm)		PO ₄ -P [mg P/l]
Frischschlamm		3.5
Hygienisiert		1.7
Vorfaulraum		
Nachfaulraum		4.8
Faulwasser		6.6
Phosphor (gesamt)		P _{tot} [mg P/l]
Frischschlamm		638
Hygienisiert		552
Vorfaulraum		
Nachfaulraum		2500
Faulwasser		490

Tabelle 3: Fettsäuren Klärschlamm

Fettsäuren			
	Acetat	Propionat	Butyrat
Frischschlamm	970	550	240
Hygienisiert	1540	300	170
Vorfaulraum			
Nachfaulraum	< 10	< 50	< 50
Faulwasser	< 10	< 50	< 50

Tabelle 4: Trockensubstanz (TS) und organische Trockensubstanz (oTS) Klärschlamm

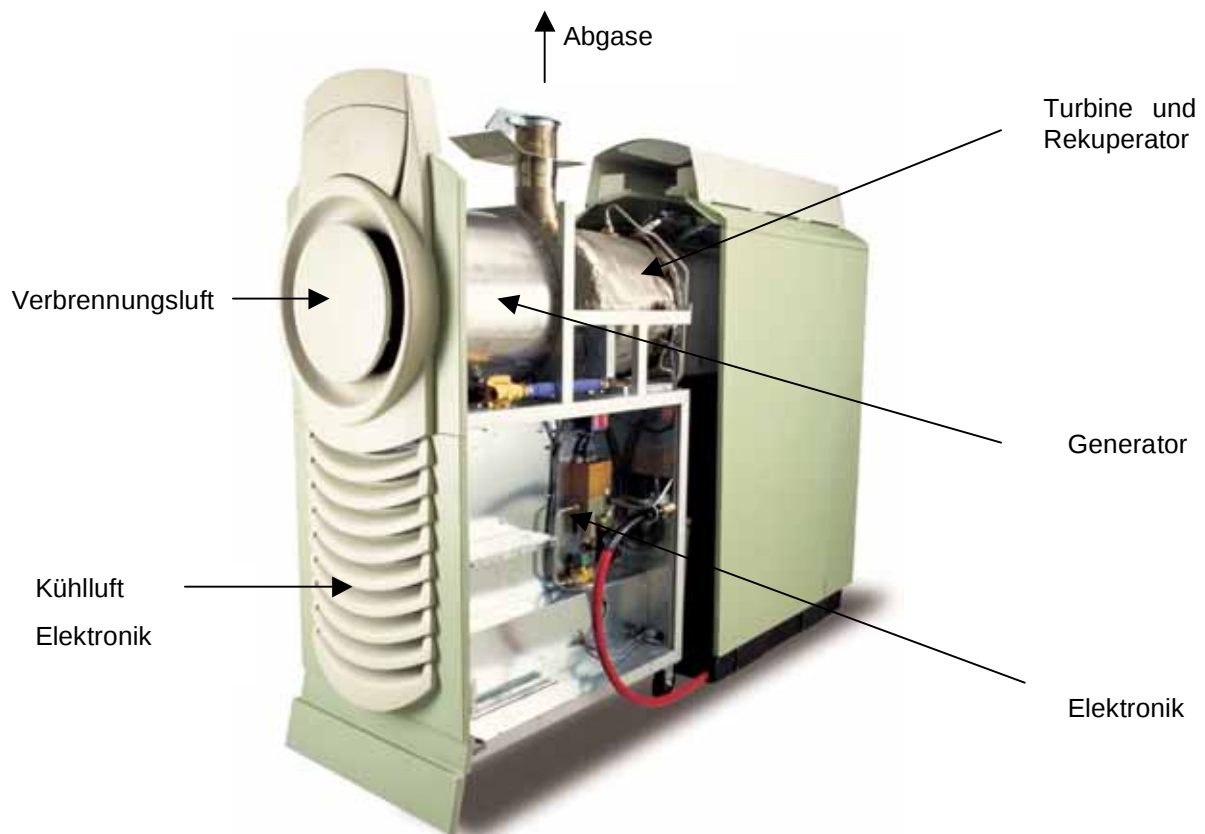
Analyse		TS	TS	gTS	mg	oTS	oTS	gGV
Probe	Probe-	Trocken-	Mittelwert	Gesamt-	Glühmasse	Glühverlust	Mittelwert	Gesamtglüh-
27.01.	Nr.	rückstand	Trocken-	trocken-	(Asche)	[% d. TS]	Glühverlust	verlust
2004		[%]	rückstand	rückstand	[g]		[% d. TS]	(oTS)
			[%]	[g/l]				[g/l]
Klär-	a	8,01	7,97	66,4	1,470	44,7	44,7	29,7
schlamm	b	7,94		69,8	1,544	44,7		31,1

5.3. MIKROGASTURBINE

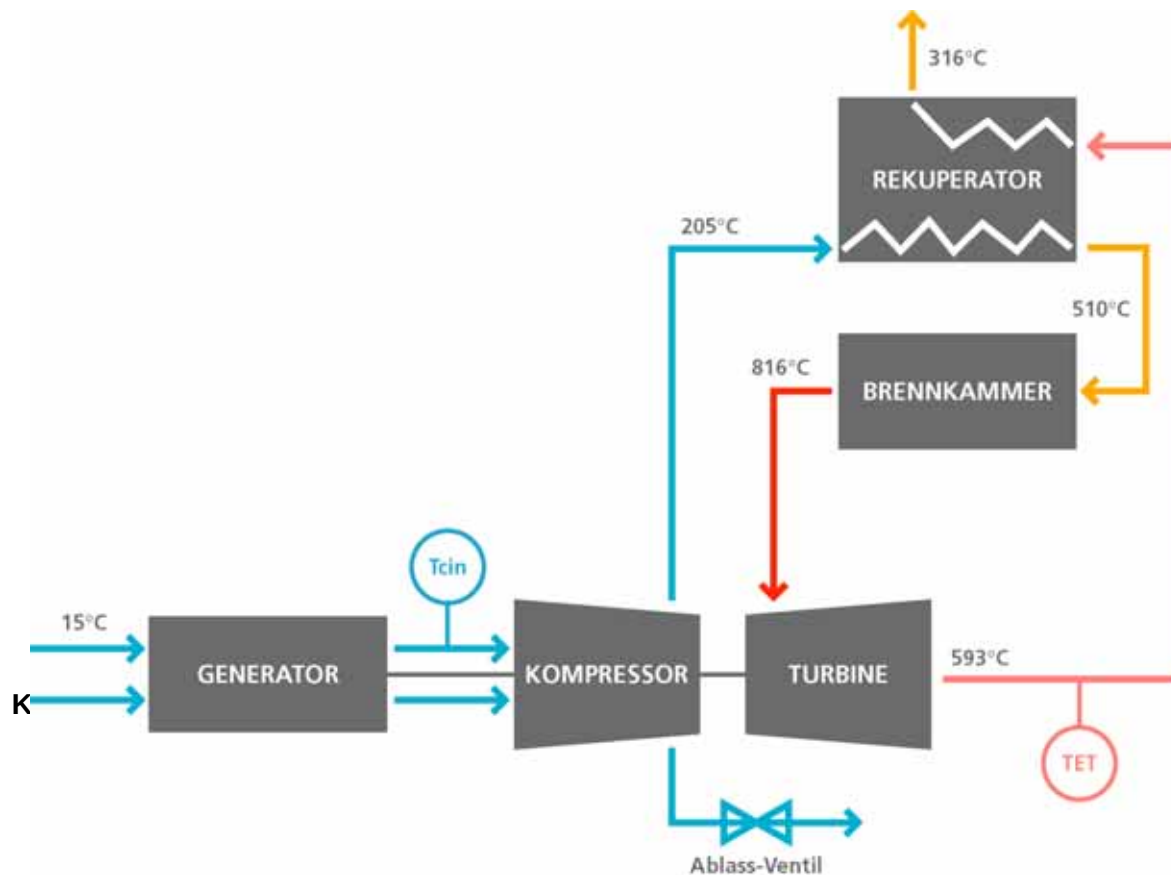


30 kW Mikrogasturbine mit nachgeschaltetem Wärmetauscher auf der ARA Frick

5.3.1. Einführung in die Mikrogasturbinentechnologie



5.3.2 Der Mikrogasturbinenprozess



Brennstoffleistung	115 kW
Elektrische Leistung	30 kW
Thermische Leistung	65 kW
Elektrischer Wirkungsgrad *1	26 %
Gesamtwirkungsgrad *1	76 – 82 %
Lärm in 1 m Abstand *2)	75 db _{1 m}
NOx *3)	< 1 ppm (unter der Nachweisgrenze)
CO *3)	160 ppm _{15 % O2}
Preis	ca. 34'000 USD
Wartungskosten	1,5 Rp./kWh _{el} + ca. € 10'000 / 40'000 Bh
Lebensdauer	80'000 bis 120'000 Bh

*1) ohne Berücksichtigung Gaskompressor

*2) gemessen von der Carl Furrer AG auf der Anlage in Otelfingen, Schweiz

*3) gemessen von der Wanner AG auf der Anlage in Otelfingen, Schweiz

6. Versuchsprogramm

Im Vorfeld des Versuches wurde während der Kontrollperiode, die ca. 11 Wochen in Anspruch nahm, jeweils zur Wochenmitte im Frischschlamm, der Hygienisierung, im Vorfaulraum, Nachfaulraum und im Faulwasser der Ist-Zustand z.B. der Parameter pH, Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$), Trockensubstanz, Glühverlust (oTS) und der Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat bestimmt. Während dieser Zeit waren die Proben mehr oder minder starken Schwankungen in Menge und Qualität des zufließenden kommunalen Abwassers ausgesetzt. Daher wurden die Gründe für die Schwankungen, wie Trockenheit, starke Regenfälle etc. ermittelt, um später differenzieren zu können, ob es sich dabei um reguläre Schwankungen oder Veränderungen im Gärprozess handelt.

Ab Anfang Juni wurden dann werktags zunächst 50l Substrat, um 7.00 und 16.00 Uhr jeweils 25l, zudosiert. Da diese Mengeneinstellung gut messbare Ergebnisse und keine Probleme mit der Faulung hervorrief, wurde sie im Weiteren beibehalten. Der Klärwerksmeister nahm täglich am Morgen die Zählerstände der Gaserzeugung und der Energie- und Eigenverbräuche in den Tagesrapport auf und jeweils zur Wochenmitte wurde über die folgenden 15 Wochen durch einen Mitarbeiter der Hochschule Faulschlamm- und Faulwasserproben an den oben genannten Stellen gezogen. Diese wurden dann im Labor der Umweltbiotechnologie der Hochschule bezüglich oben genannter Werte analysiert, ausgewertet und graphisch dargestellt. Während des Versuches traten kleinere Probleme mit Pumpen bezüglich Förderleistung und Verstopfungen auf, die allerdings schnell und ohne grössere Folgen behoben werden konnten. Es wäre allerdings zu erwähnen, dass sich bei der Verwendung von unbehandelten, ungereinigten Altölen die Verwendung eines groben Vorfilters als nützlich erwiesen hat, um eben diese mögliche Verstopfung der Zuleitungen und Förderaggregate durch Fest- und Schwebstoffe zu vermeiden. Ausserdem ist es empfehlenswert, sich über Entmischung und Absetzverhalten des Substrates, sowie die Temperaturbedingungen des Lagerortes Gedanken zu machen.

Schwerwiegender waren die Probleme, die infolge des Datenverlustes aufgrund eines Stromausfalls bei der elektronischen Messung der Gasdaten entstanden. Die Messelektronik, die die Mengen und die Qualität des aus dem Gärprozess entstehenden Biogases aufzeichnen sollte, verlor einen erheblichen Anteil bereits gemessener und gespeicherter Daten. Die restlichen Aufzeichnungen reichten nicht aus, um über eine kontinuierliche Messung repräsentative Aussagen darüber zu machen, welche Menge welchen Gases direkt in die Mikrogasturbine geleitet wurde. Daher wurden später die Tagesrapporte, die Aufzeichnungen des Klärwerkpersonals, zu Hilfe genommen, um über Rückrechnungen der Eigenenergieverbräuche der Anlage, der Mengen des im Gasometer gespeicherten sowie des abgefackelten Gases und der Laufzeit des Totems, Rückschlüsse auf den Brennwert des erzeugten Gases ziehen zu können.

Über diese Betrachtungen konnten dann bereits recht schnell erste Aussagen über die Steigerung der Gasproduktion und über die Qualität des Biogases gemacht werden.

6.1 MESSMETHODEN

Die frischen Klärschlammproben wurden unverzüglich, gekühlt in ein Labor der Hochschule Wädenswil gebracht und dort ebenfalls unverzüglich analysiert, um einer Verflüchtigung bzw. dem Zerfall besonders empfindlicher Stoffe vorzubeugen. Zur Ermittlung der Werte für Werte pH, CSB, DOC, Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), Stickstoff, P_{total} , Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$), der Trockensubstanz, dem Glühverlust (oTS) und die Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat wurden folgende Verfahren gewählt:

Die pH-Werte wurden mit einem Messgerät der Marke Metrohm, Serie 691 ermittelt. Die Werte für CSB, DOC, Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), Stickstoff, P_{total} und Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$) wurden mit standardisierten Dr. Lange Schnelltests bestimmt. Die Trockensubstanz und der Glüverlustr nach dem Einäschern wurden mit einer Infrarottrocknungswaage der Marke Mettler LP 16 bzw. PM 480 Delta Range ermittelt. Die Fettsäuren wurden mittels Ionenchromatographie bestimmt. Allen Messverfahren lagen hochschuleigene Normen und internationale Standards zu Grunde.

6.2. KONTROLLPERIODE OHNE ZUDOSIERUNG CO-SUBSTRAT

Während der Kontrollperiode vom 27. Januar bis Anfang Juni waren immer wieder mehr oder minder starke Veränderungen der Werte CSB und Phosphor gesamt (P_{tot}) zu verzeichnen. Nach Betrachtung der anderen Messgrößen, die allerdings recht gleichförmig verliefen, und der Abwägung der äusseren Einflüsse und Ursachen wie sommerliche Trockenheit beispielsweise, wurde beschlossen, im Hinblick auf die beginnende Haupturlaubszeit und der daraus zu erwartenden gleichmässigen Zuflüsse aus dem kommunalen Abwasser, die Versuchsperiode Anfang Juni starten zu lassen.

Abb. 3: Graphische Darstellung der Aufzeichnungen während Kontrollperiode betreffend pH-Wert, CSB, welche in Vor- und Nachfaulraum jeweils annähernd gleiche Werte haben

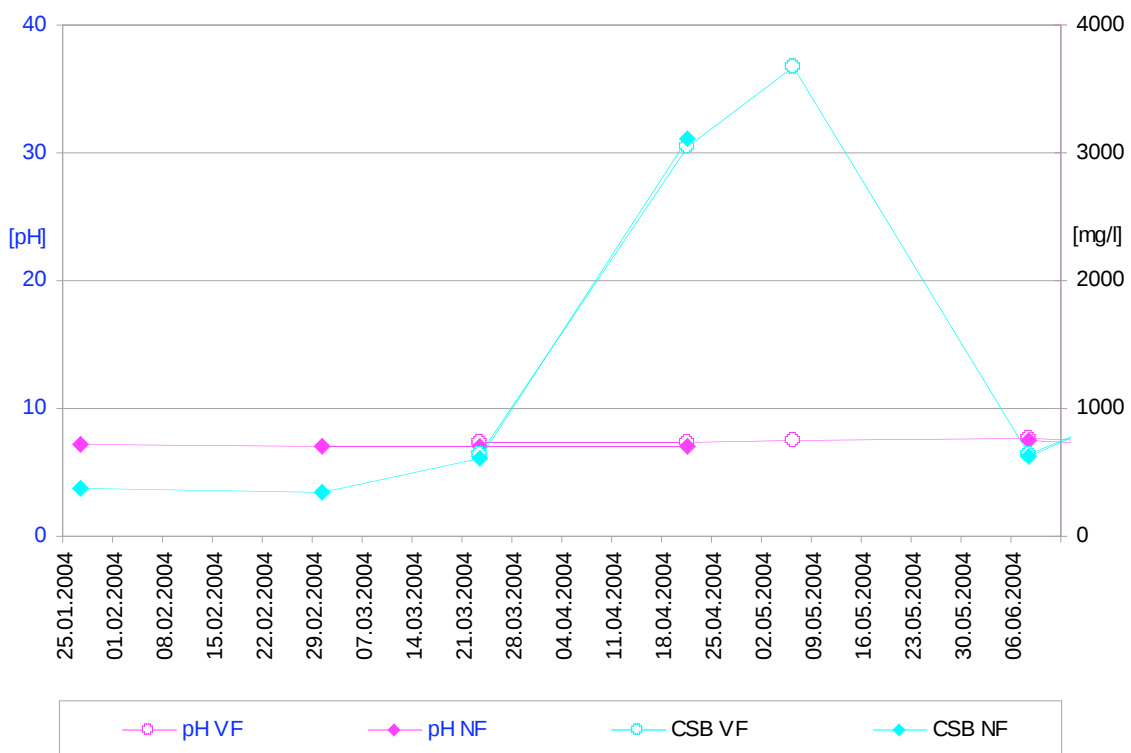


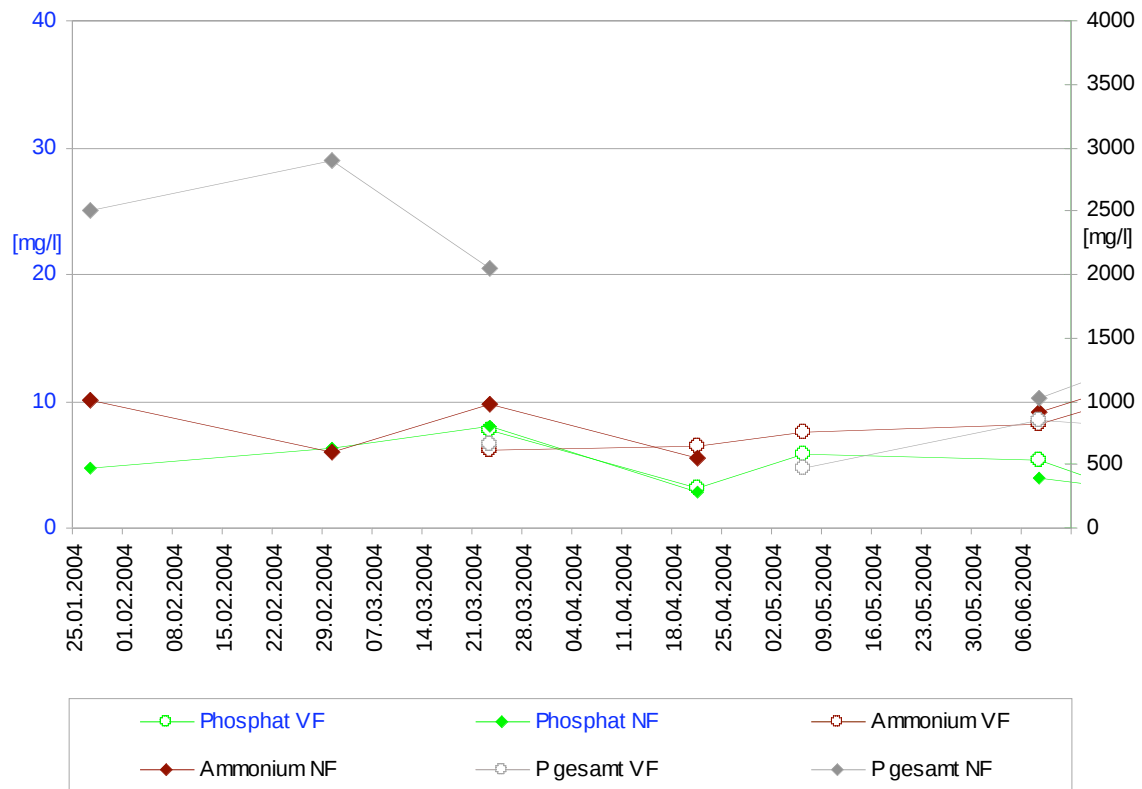
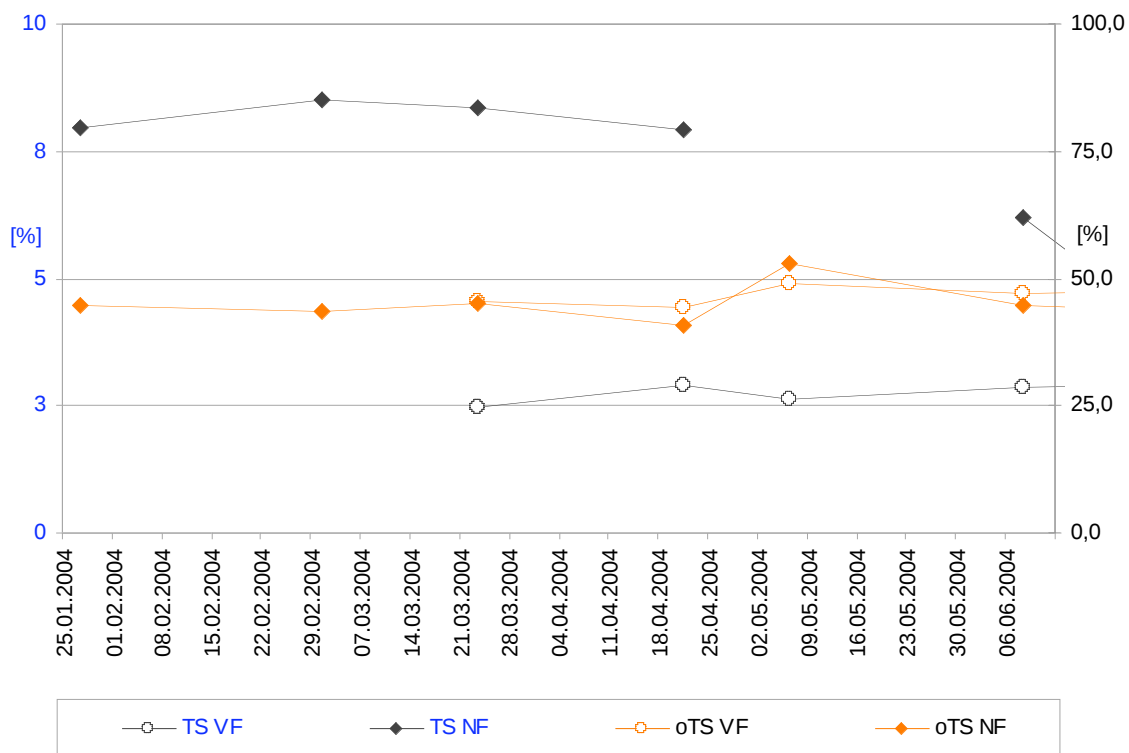
Abb. 4: Graphische Darstellung betreffend Phosphat, Phosphor_{gesamt} und Ammonium

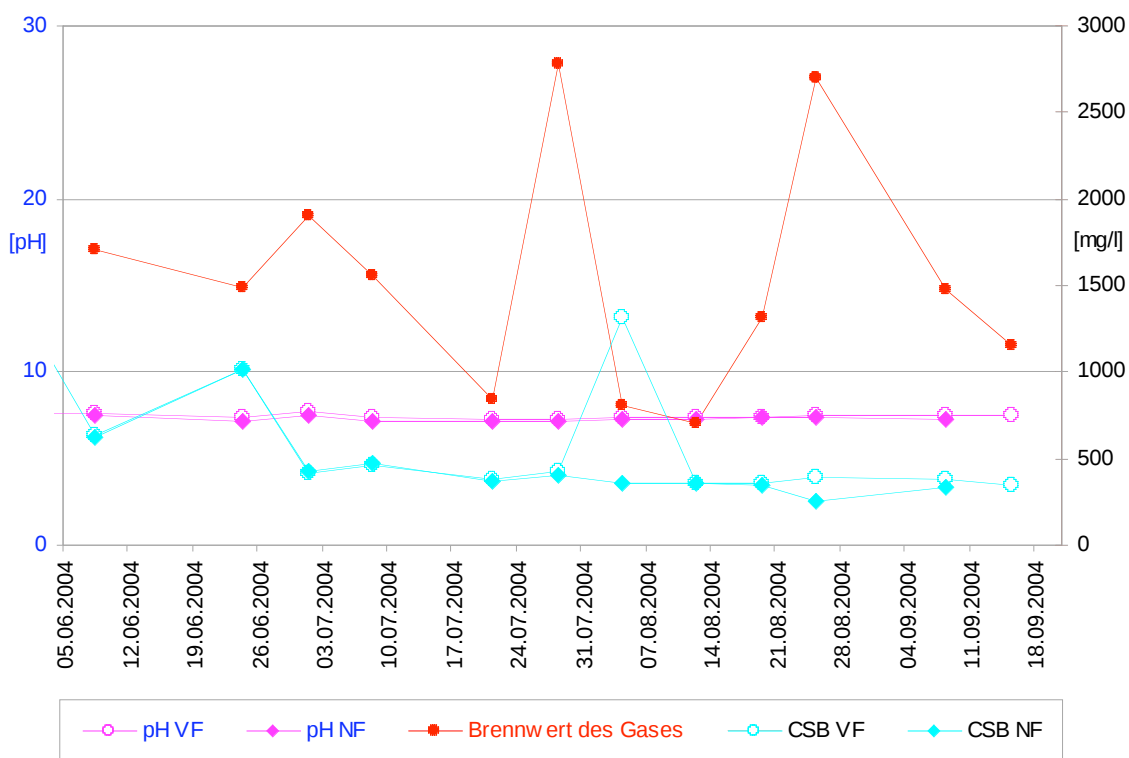
Abb. 5: Graphische Darstellung betreffend Trockensubstanz und Glühverlust



6.2. KONTROLLPERIODE OHNE ZUDOSIERUNG CO-SUBSTRAT

Am 08. Juni fand die letzte Probenahme vor der Zugabe des Co-Substrates statt. Daraufhin wurde zunächst mit einer Dosierung von 50l Substrat begonnen, welches jeweils zu 25l gegen 7.00 und 16.00 Uhr in den Vorfaulraum gepumpt wurde. Da diese Mengeneinstellung gut messbare Ergebnisse und keine Probleme mit der Faulung hervorrief, wurde sie im Weiteren beibehalten. Da im Zusammenhang mit der Biogasproduktion in diesem Fall nur noch die beiden Faultürme interessant waren, wurde entschieden, die Probennahme darauf zu beschränken. Von nun an wurde wöchentlich, wie bereits erwähnt, zur Wochenmitte beprobt und anschliessend im Labor analysiert.

Abb. 6: Graphische Darstellung der Aufzeichnungen während Versuchsperiode betreffend pH-Wert, CSB und Brennwert



Bei der Betrachtung dieser Darstellung sind erhebliche Schwankungen im Verlauf des Index für die Brennbarkeit des Gases, die auf den Methangehalt schliessen lässt, erkennbar. Da ausgeschlossen werden kann, dass dies etwas mit den Schwankungen beim CSB-Wert zu tun hat, wurde nach weiteren Analysegrössen gesucht, die eine ähnliche Veränderung durchfuhren. Betrachtet man im Weiteren den Verlauf der Werte für Phosphor in Abbildung 4 und oTS, in Abbildung 5, kann man dort Parallelen entdecken.

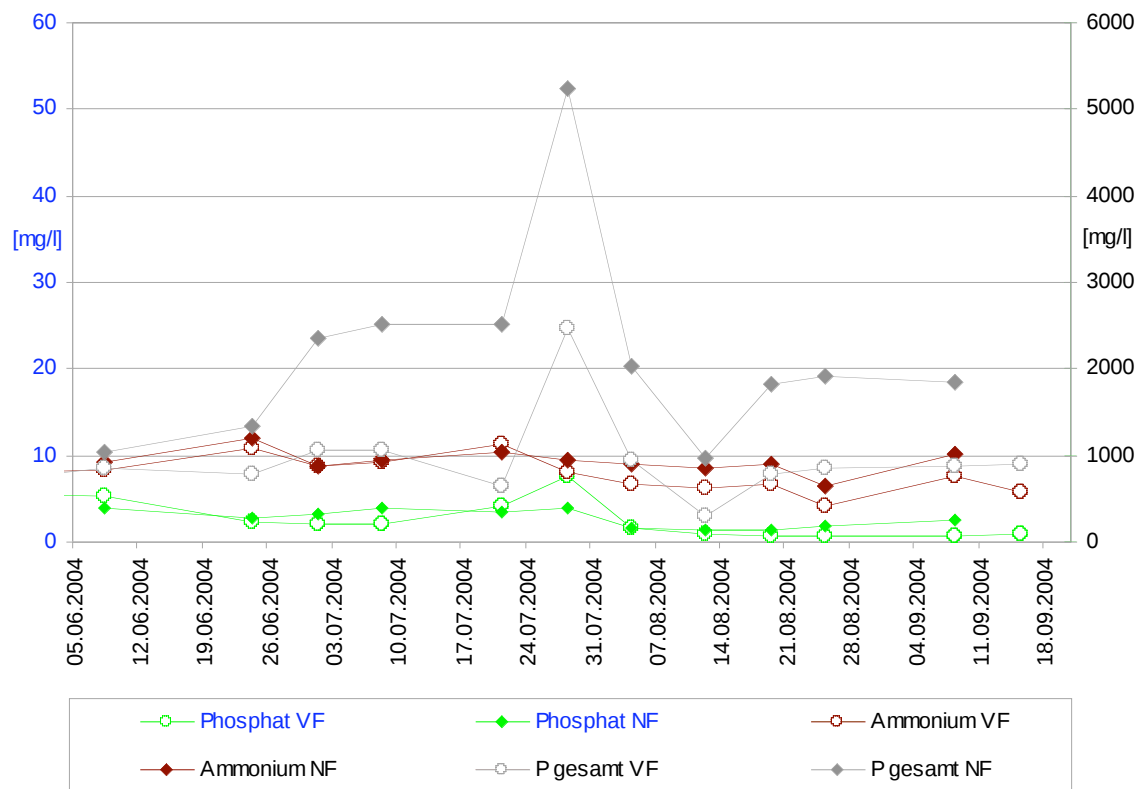
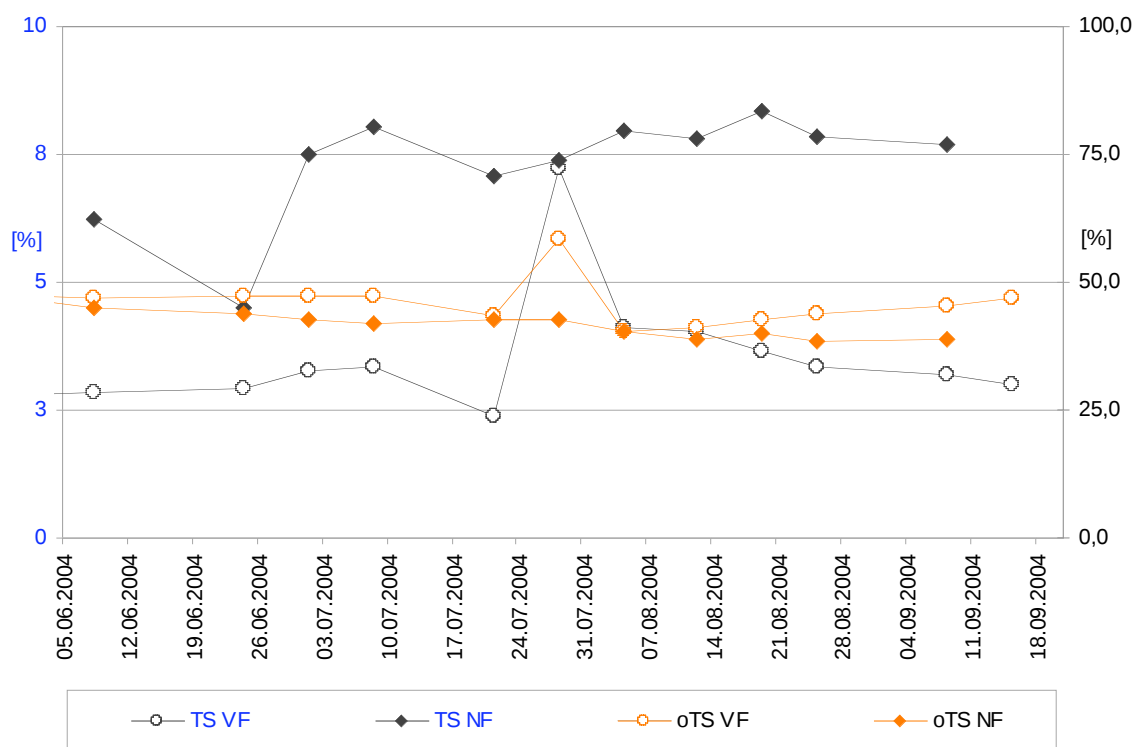
Abb. 7: Graphische Darstellung betreffend Phosphat, Phosphor_{gesamt} und Ammonium

Abb. 8: Graphische Darstellung betreffend die Trockensubstanzen



7. Resultate und Diskussion

7.1. ANALYSEN DER SCHLAMMPROBEN

Bei der Auswertung der Einzelanalysen bezüglich der beiden Phasen des Versuches, der Kontrollperiode, vor der Zugabe des Co-Substrates und der Versuchsperiode nach und während der Zugabe, hat sich eine offenbar bessere biochemische Umsetzung des Ausgangsstoffes Klärschlamm in der Phase nach Zugabe des Co-Substrates herauskristallisiert. Die folgenden Tabellen stellen die Mittelwerte der Daten in den beiden Versuchsphasen gegenüber, besonders zu beachten sind hierbei die Werte für den Nachfaulraum, da aus diesem heraus die Endprodukte der Vergärung ver- bzw. entsorgt werden. Betrachtet man zunächst die Werte Chemischer Sauerstoffbedarf, Phosphat oder die organische Trockensubstanz, so ist klar eine Senkung zu den Werten vor der Zugabe erkennbar. Dies ist umwelttechnisch betrachtet ein sehr interessanter Aspekt. Beim den Werten für Ammonium und Stickstoff ist eine leichte Zunahme der Analysenwerte erkennbar, wobei im Falle Stickstoff zum Ende hin im Nachfaulraum der Wert wieder sinkt, was dann doch auf einen gewissen Abbaugrad schliessen lässt.

Tab. 5: Auszugsweise Darstellung der Messwerte der aller Klärschlammproben im Mittel

Kläranlage Frick				
5070 Frick				
Analyseresultate von Schlammproben ARA Frick				
Probe		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert
Analyse		gesamte Betriebs-	ohne Co-Substrat	mit Co-Substrat
Durchgeführt von		periode		
Konservierung	frisch - gekühlt			
pH-Wert				
Frischschlamm		6,2	6,2	6,1
Hygienisiert		6,6	6,6	6,5
Vorfaulraum		7,4	7,4	7,5
Nachfaulraum		7,2	7,1	7,3
Faulwasser		7,3	7,3	
CSB				
Frischschlamm		4958	4940,0	6370,0
Hygienisiert		6965	6612,0	8115,0
Vorfaulraum		924	2455,0	781,5
Nachfaulraum		626	1113,8	449,3
Faulwasser		1265	1264,7	
Ammonium NH ₄ -N [mg N/l]				
Frischschlamm		224	214,4	232,0
Hygienisiert		450	396,4	506,5
Vorfaulraum		757	670,3	776,8
Nachfaulraum		891	780,3	930,7
Faulwasser		806	805,7	
Stickstoff (gesamt) N _{tot} [mg N/l]				
Frischschlamm		1465	1266,7	1650,0
Hygienisiert		1705	1560,3	1820,5
Vorfaulraum		1735	1585,0	1766,7
Nachfaulraum		2743	3050,0	2435,0
Faulwasser		1115	1115,0	

Phosphor (gesamt) P _{tot} [mg P/l]			
Frischschlamm	680	549,8	762,0
Hygienisiert	704	600,0	758,0
Vorfaulraum	907	569,0	926,4
Nachfaulraum	2216	2483,3	2142,7
Faulwasser	267	266,9	
Phosphat PO ₄ -P [mg P/l]			
Frischschlamm	9,1	10,4	5,1
Hygienisiert	4,4	4,7	4,6
Vorfaulraum	3,0	5,6	2,7
Nachfaulraum	3,4	5,5	2,7
Faulwasser	6,2	6,2	
TS [%]			
Frischschlamm	5,00	4,9	5,7
Hygienisiert	4,85	5,3	5,4
Vorfaulraum	3,45	2,7	3,5
Nachfaulraum	7,54	8,2	7,3
Faulwasser	0,31	0,3	
oTS [% von TS]			
Frischschlamm	57,4	68,8	67,6
Hygienisiert	55,1	64,1	65,6
Vorfaulraum	13,3	46,2	46,1
Nachfaulraum	17,0	45,4	42,3
Faulwasser	45,5	45,5	

Bei der Betrachtung der Werte für Phosphor ist etwas Ähnliches zu beobachten. Wie erwartet, steigen die Werte nach Zugabe des Co-Substrates zunächst an und später im Nachfaulraum, wo dann die eigentliche Biogasproduktion stattfindet, sinkt der Wert wieder. Dies lässt darauf schliessen, dass stark fetthaltige Stoffe, wie im vorliegenden Fall das Co-Substrat, gut zur Vergärung und Biogasproduktion geeignet sind.

Tab. 6: Gegenüberstellung der Werte im Nachfaulraum vor und nach Zusatz des CoSubstates

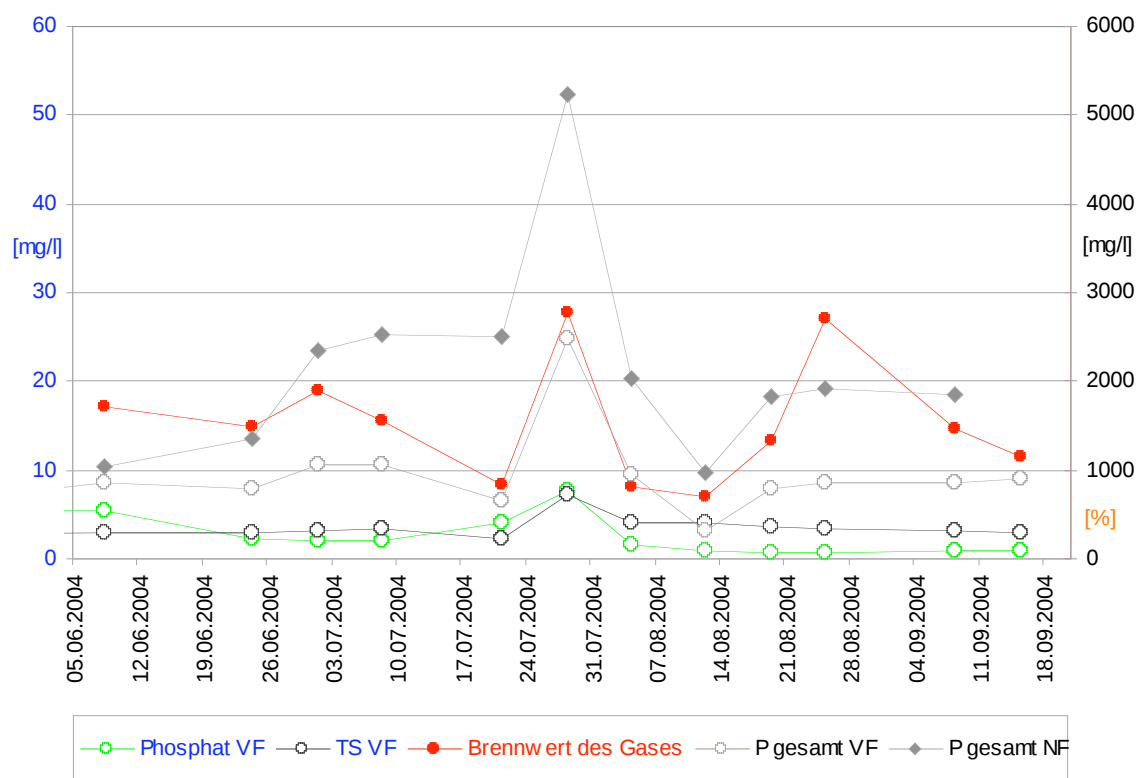
Parameter	Kontrollperiode ohne Zufuhr von Frittieröl	Versuchsperiode mit Zufuhr von Frittieröl	Differenz
Gasproduktion [m ³]	Durchschn. bis 280	Durchschn. bis 320	40
CSB [mg/l]	1113.8	449.3	664.5
PO ₄ P [mg/l]	5.5	2.7	2.8
NH ₄ -N [mg/l]	780.3	930.7	150.5
Acetat [mg/l]	< 10	< 0,05	signifikant
Propionat [mg/l]	< 50	< 0,05	signifikant
Butyrat mg/l]	< 50	< 0,05	signifikant
TR	8.2	7.3	0.9
oTR	45.4	42.3	3.1

In dieser Gegenüberstellung wird der Unterschied noch deutlicher und bestärkt die Schlussfolgerung der guten Eignung fetthaltiger Stoffen zur Vergärung zum Zwecke der Biogasherstellung. Dies wird bei der Betrachtung der Werte der Gasproduktion und dem Abbau der Fettsäuren sichtbar.

Bei der Auswertung der Darstellungen in den Abbildungen 3, 4 und 5 unter Punkt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, wurden gewisse Schwankungen im Verlauf der Kurven für die Brennbarkeit des Gases, die auf den Methangehalt schliessen lässt, und weiterer Messgrößen erkennbar. Es existieren Parallelen im zeitlichen Auftreten von Peaks, die im Wesentlichen in einem Bereich zwischen dem 21. Juli und dem 04. August auftraten. Dazu hier noch einmal eine Darstellung dieser ausgewählten Messwerte.

Tabelle 7: Gasproduktion, Raumbelastung und Verweilzeit ohne/mit Co-Substrat

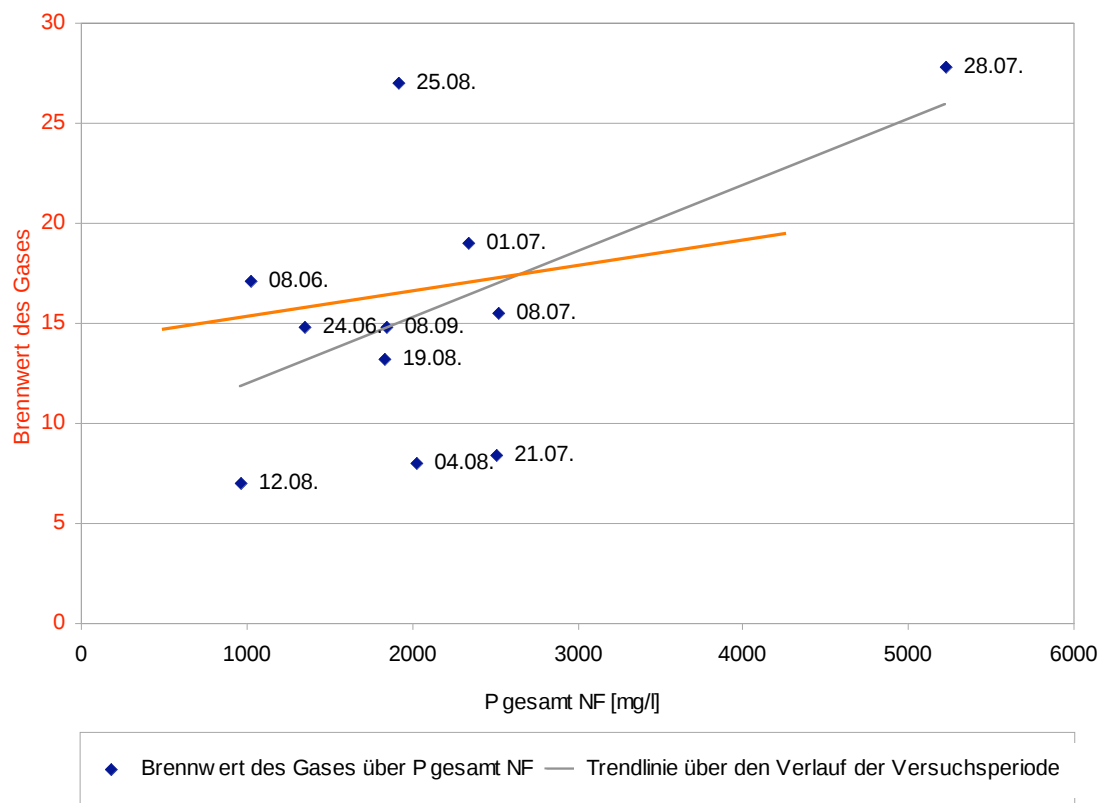
Parameter	Kontrollperiode ohne Zufuhr von Frittieröl	Versuchsperiode mit Zufuhr von Frittieröl	Differenz
Gasproduktion [m3]	Durchschn. bis 280	Durchschn. bis 320	40
Verweilzeit [d]	16.2	16.2	marginal
Raumbelastung [kg OS/m3*d]	2.1	2.26	+ 8 %

Abb. 9: Graphische Darstellung der Aufzeichnungen während Versuchsperiode betreffend Phosphat VF, TS VF, P_{gesamt} VF und NF und Brennwert

Bei der Betrachtung dieser Grafik wird jedoch deutlich, dass einige der Messgrößen bereits im Vorfaulraum den Schwankungen unterliegen.

Um die gewisse Abhängigkeit der Brennbarkeit des Gases, die auf den Methangehalt schliessen lässt, vom Auftreten des Phosphors sichtbar zu machen, folgt eine andere Darstellung beider Werte über den Verlauf der Versuchsperiode.

Bei der Betrachtung des Trends innerhalb dieser Graphik lässt sich, bereinigt von Ausreissern (orange Linie), eine Steigerung des Brennwertes erkennen, sobald sich der Analysenwert für Phosphor_{gesamt} erhöht.

Abb. 10: Graphische Darstellung Brennwert des Gases über $\text{Phosphor}_{\text{gesamt}}$ 

7.2. AUSWERTUNG DER DATEN AUS DEM GASMESSGERÄT

Wie eingangs bereits erwähnt, kam es während der Aufzeichnungsphase der Messelektronik für die Gasdaten aus dem Gärprozess zu einer Reihe von Störungen. So ging ein erheblicher Anteil bereits gemessener und gespeicherter Daten verloren. Die restlichen Aufzeichnungen reichen nicht aus, um über eine kontinuierliche Messung repräsentative Aussagen die Menge und Art des Gases zu machen, welches in die Mikrogasturbine geleitet wurde.

Tab. 8: Auszugsweise Darstellung der Messwerte aus den Gasmessgeräten

Gasdaten ARA Frick	21.07.2004	28.07.2004	04.08.2004	12.08.2004
Mittelwerte Anteile am Biogas				
Methan in %	65,54	66,58	64,88	64,47
Kohlendioxid in %	33,54	32,42	34,15	34,53
Sauerstoff in %	0,00	0,00	0,00	0,00
Schwefelwasserstoff 1 in ppm	32,38	27,08	30,79	32,74
Schwefelwasserstoff 2 in ppm	33,54	27,63	31,79	33,68
Messstelle FBiogAmont (Q) in Nm ³ /h	204,000	109,000	147,000	23,000

Gasdaten ARA Frick	21.07.2004	28.07.2004	04.08.2004	12.08.2004
Methan _{F_{Biog}Amont} in Nm ³ /h	133,705	72,576	95,366	14,829
Kohlendioxid _{F_{Biog}Amont} in Nm ³ /h	68,425	35,334	50,194	7,941
Sauerstoff _{F_{Biog}Amont} in Nm ³ /h	0,000	0,000	0,000	0,000

7.3. AUSWERTUNG DER TAGESRAPPORTE ARA FRICK

Mit Hilfe der Tagesrapporte, welche täglich und somit auch während der gesamten Zeit des Versuches vom Betriebspersonal der Abwasserreinigungsanlage ARA Frick erstellt wurden, ist es möglich, über Rückrechnungen der Eigenenergieverbräuche der Anlage, der Mengen des im Gasometer gespeicherten sowie abgefackelten Gases und der Laufzeit des Totems, Rückschlüsse auf den Brennwert, die Güte des erzeugten Gases ziehen zu können. In den Rapporten sind alle Mengen, angefangen bei den Stützbrennstoffen für den Eigenenergiebedarf über die Energieerzeugung, bis hin zur Abfackelung überschüssigen Gases sowie Tages- und Gesamtzählerstände vermerkt. Der Verbrauch der Mikrogasturbine wird hierbei nicht berücksichtigt, er ist aufgrund fehlender Kontinuität und zu geringer Menge als Schwankung zu vernachlässigen.

Tabelle 9: Auszug aus Berechnung Gesamtgasproduktion, hier Wochenmittelwerte der Versuchsperiode (mit Zugabe Co-Substrat)

Mittelwert Woche vom	Tagesgesamt- gasproduktion [m³]	Tagesanzeige "Totem"-laufzeit [h/d]	Gesamtgasproduktion Totemlaufzeit (analog Brennwert)
08.06.-11.06.04	312,50	15,48	13,86
14.06.-18.06.04	303,20	16,34	14,08
21.06.-25.06.04	329,00	16,64	13,11
28.06.-02.07.04	288,60	13,82	17,49
05.07.-09.07.04	298,00	13,98	14,52
12.07.-16.07.04	306,00	17,50	11,27
19.07.-23.07.04	321,80	13,38	14,33
26.07.-30.07.04	247,80	11,03	15,00
02.08.-06.08.04	314,60	14,72	9,50
09.08.-13.08.04	331,00	13,46	10,26
16.08.-20.08.04	273,60	12,08	17,61
23.08.-27.08.04	270,40	10,72	19,18
30.08.-03.09.04	225,60	12,12	15,17
06.09.-10.09.04	227,00	12,28	14,82
13.09.-17.09.04	190,50	13,45	10,84

Bei den Werten für die Woche vom 13.09.-17.09.2004 ist zu bemerken, dass die Versuchsperiode bereits zum 15.09. endete und danach die Dosierung von Co-Substrat und

die zugehörige Dokumentierung nicht mehr überwacht wurde. Die Daten wurden nur noch fortlaufend aufgezeichnet und bei den hier gezeigten handelt es sich um Wochenmittelwerte. Somit ist die letzte Woche nicht repräsentativ und ungeeignet, in

Betrachtung und Diskussion einbezogen zu werden. Die kompletten Datensätze der ganzen Periode sind im Anhang beigelegt.

Über die Qualität des erzeugten Gases Aussagen zu tätigen, bleibt schwierig. Der Wert Brennwert bzw. Güte des Gases der auf den Methangehalt schliessen lässt, ist ein rein rechnerischer. Er ist ein Quotient aus der Gesamtmenge des produzierten Gases und der Zeit, die das Totem zum Abfackeln benötigt. Er ist lediglich ein Orientierungswert. Auch kann der Zusammenhang zwischen einem erhöhten Wert Brennwert und dem Anstieg der Werte für $\text{Posphor}_{\text{gesamt}}$ nur vermutet werden, da konkrete Rückrechnungen auf Gasbestandteile in Ermangelung der Gasdaten nicht möglich sind.

Allerdings können Aussagen über die Mengen produzierten Biogases gemacht werden. Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften müssen als für eine herkömmliche Biogasanlage im Bereich des Üblichen betrachtet werden. Die auszugsweise doch vorhandenen Werte der Messelektronik untermauern dies.

Tabelle 10: Darstellung der Biogasproduktion im Überblick

	Theoretische Werte Produktionsvolumen Biogas aus Klärschlamm	Theoretische Werte Produktionsvolumen Biogas aus Altfett/Altöl	Messergebnisse Kontrollperiode ARA Frick, Produktionsvolumen Biogas aus Klärschlamm	Messergebnisse Versuchsperiode ARA Frick, Produktionsvolumen Biogas aus Klärschlamm und Co-Substrat
Masse zu vergärendes Substrat [m^3]	1	1	18,5	18,55
Trockensubstanz zu vergärendes Substrat [%]	5,3	95	5,3	5,4
Produktions- volumen Biogas [m^3]	ca. 15	ca. 800	ca. 280	ca. 320

Tabellenwerte der Hochschule Wädenswil aus Versuchen mit Biogas ergeben in Übereinstimmung mit Fachliteratur ein theoretisches Produktionsvolumen von 0.45 m^3 Biogas pro Kilogramm oTS kommunalen Klärschlammes. Bei einer Beschickung mit 18.5 m^3 Frischschlamm pro Tag in den Vorlagebehälter im vorliegenden Fall der ARA Frick, mit einer Trockensubstanz von rund 5.3 und einem Glühverlust von rund 64 %, können demnach ca. 282 m^3 Biogas hergestellt werden. Dies entspricht ungefähr unseren Ergebnissen vor der Zudosierung von Co-Substrat in der Kontrollperiode. Nach Beginn der Zudosierung von 50l Co-Substrat pro Tag in der Versuchsperiode und nur gering höherer Werte für Trockensubstanz und Glühverlust, wurden gemäss den Angaben aus den Tagesrapporten durchschnittlich um die 320 m^3 Biogas täglich erzeugt. Daraus ergibt sich unter Vernachlässigung einzelner Schwankungen und kleinerer Abweichungen eine Steigerung der Produktion von ca. 40 m^3 pro Tag oder 15 %.

Dies ist gemäss den Erstrebenungen der Zielsetzung unter Punkt 1, eine signifikante Erhöhung zu erreichen, ein Erfolg.

7.4. MIKROGASTURBINE

Erkenntnisse

Die in Frick installierte Mikrogasturbine war Europas erste mit Klärgas betriebene Mikrogasturbine. Die Inbetriebsetzung erfolgte im Januar 2002. Folgende Erkenntnisse können aus über zwei Jahren Betrieb gemacht werden:

Die Einbindung in die bestehende Infrastruktur gestaltete sich weitaus umfangreicher und komplizierter als angenommen.

Die Biogasaufbereitung (Entwässerung, Filtern, Komprimierung) stellt eine Herausforderung dar. Ein optimales Betriebsregimes wurde erst nach einigen Wochen gefunden.

Der Abhitzeessel verfügte über einen internen Bypass. Es zeigte sich jedoch, dass bei geringem Wärmebedarf der ARA sich das Wasser immer noch soviel erwärmte, dass eine Überhitzung des Warmwasserkreislaufes der ARA zu verzeichnen war. Abhilfe schuf ein nachträglich eingebauter externer Bypass.

Der Betreuungsaufwand der Mikrogasturbine ist minimal

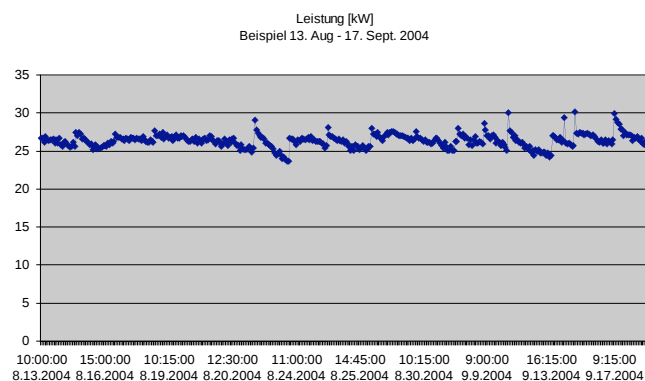
Die Verfügbarkeit der Mikrogasturbine ist sehr hoch: während der über zwei Jahren Betrieb musste einzig das Regelventil ersetzt werden.

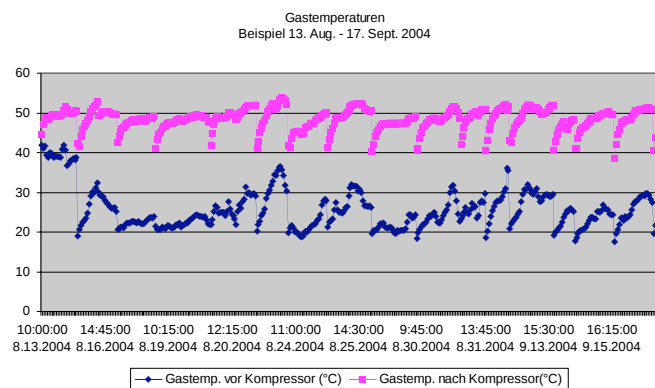
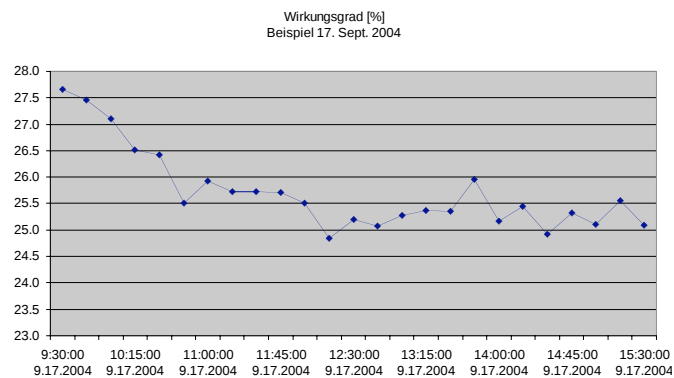
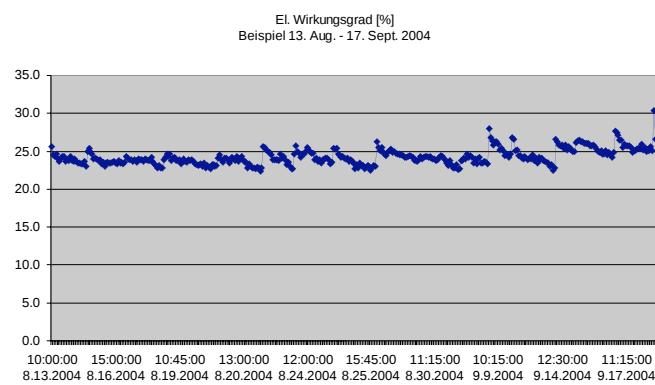
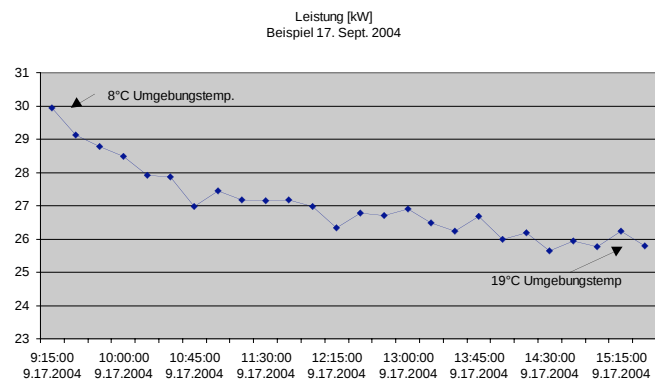
Der Wirkungsgrad der Mikrogasturbine blieb über die Versuchszeit nahezu konstant.

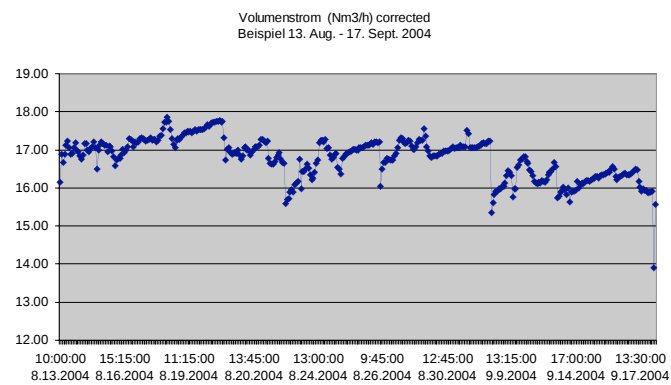
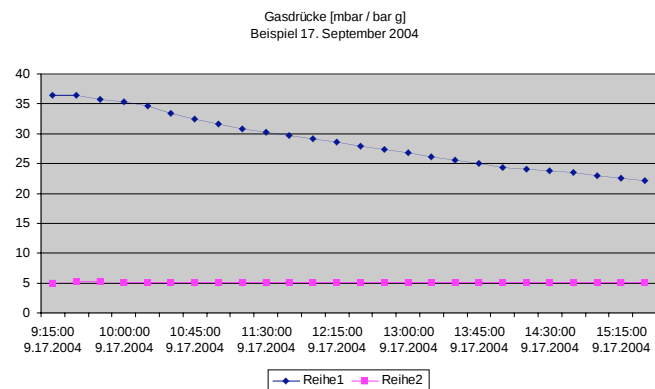
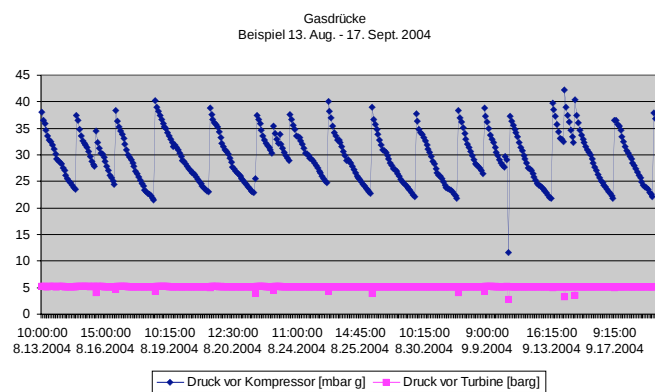
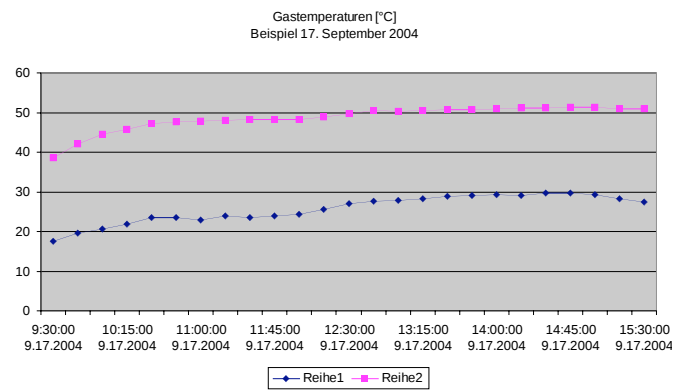
Die Gasaufbereitung erwies sich als sehr wirkungsvoll: der Druck wird konstant auf 5 bar gehalten und die Temperatur zwischen 40 und 50°C (max. 50°C erlaubt). Eine Feuchtebestimmung wies zudem die Effizienz der Entwässerung nach.

Messungen

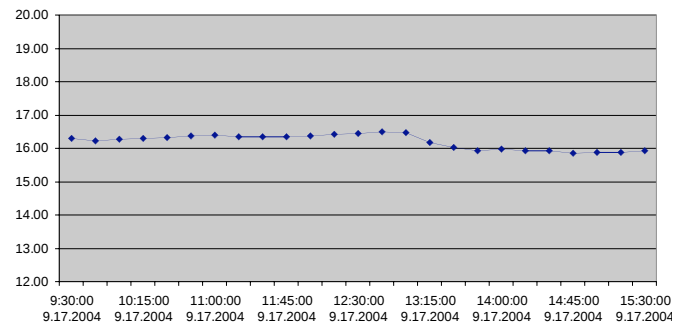
Die nachfolgenden Kurven zeigen jeweils den Verlauf während einer Woche wie auch während eines Tages.



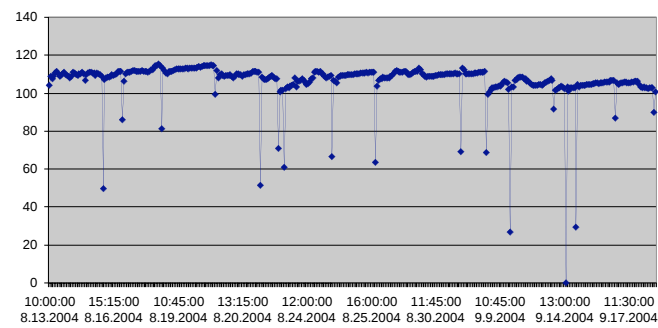




Volumenstrom (m³/h) corrected
Beispiel 17. September 2004



Fuel input [kWh/h]
Beispiel 13. Aug. - 17. Sept. 2004



8. Schlussfolgerungen

Bezüglich der Versuchsergebnisse und im Hinblick auf die weiteren Projektziele ist festzustellen, dass sich durch geringe Änderungen an der Infrastruktur der bestehenden Abwasserreinigungsanlage die Ausnutzung des Biogaspotentials erheblich steigern liess.

Bei dem gewählten Substrat verbrauchtes Frittieröl sind in der gewählten Dosierung von 50l pro Tag keinerlei Probleme mit der Reinigungsleistung erkennbar gewesen, was darauf schliessen lässt, dass das Substrat gut abbaubar ist. Bestätigt wird dieser Eindruck durch die Tatsache, dass bei den Analysewerten für Chemischer Sauerstoffbedarf, Phosphat oder organische Trockensubstanz nach der Zudosierung von Co-Substrat klar eine Senkung zu den Werten vor der Zugabe erkennbar wurde.

Dies ist umwelttechnisch betrachtet sehr interessant, da der Ausgangsstoff eigentlich ein Abfallprodukt darstellte, das aufwendig hätte entsorgt werden müssen. Verfolgt man diesen Gedanken weiter, so stellt sich durchaus die Frage nach der möglichen Weiterführung dieses Weges in den Bereich Altölsanierung.

Wenn man davon ausgeht, dass man aus einhundert Kilogramm Altöl bzw. Altfett mit ca. 95% Trockensubstanz sicher über 80 m³ Biogas erzeugen kann, ergibt das zwischen 800 und 900 m³ Gas aus einem solchen 1000l-Kanister verbrauchtem Frittieröl, wie er in diesem Versuch verwendet wurde.

Basierend auf Versuchen mit Co-Substraten in anderen Anlagen und auf theoretischen Berechnungen der Biotechnologie ist die Menge an OS unseres Erachtens nach auf 15 % der totalen OS-Menge zu begrenzen.

Würde man dieses Gas mit einer Mikrogasturbine in elektrischen Strom umwandeln, würde dies sicher zu einer spürbaren Senkung der Betriebskosten einer solchen Kläranlage führen. Man könnte dann in jedem Fall von einer Verbesserung der Infrastruktur reden. Wie weit darüber hinaus vielleicht sogar Gewinne durch Einspeisung ins öffentliche Stromnetz erzeugt werden können, lässt sich hier jedoch nur mutmassen. Auch mögliche Hindernisse oder Mengenlimitierungen durch Verklebungen oder ähnliches sind nicht absehbar und können hier nicht eingeschätzt werden.

Was die Betriebserfahrung aus dem Einsatz der Mikrogasturbine betrifft, kann gesagt werden, dass der Umgang mit der Turbine selbst problemlos verlief aber quantitative Aussagen über direkte Auswirkungen der Co-Vergärung auf Leistung und Wirkungsgrad der Mikrogasturbine aufgrund der Trägheit des Fermentationsprozesses wenig aussagekräftig sind. Klar ist, dass eine Erhöhung des Methangehaltes wie auch eine Erhöhung der Gasproduktion eine Erhöhung der Turbinenleistung und eine (geringe) Verbesserung des Wirkungsgrades bewirkt. Dies ist einerseits bei der Auslegung von neuen Anlagen zu berücksichtigen, andererseits können bestehende BHKW-Anlagen bezüglich Wirkungsgrad und Leistung mittels Co-Vergärung optimiert bzw. maximiert werden.

Zusammenfassend, im Rückblick auf die Projektziele insgesamt, kann der Versuch zur Co-Vergärung von Substrat aus Speisefettresten und kommunalem Klärschlamm in der ARA Frick als Erfolg betrachtet werden.

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 27.01.2004 -28.07.2004

Stickstoff Gesamt muss nicht mehr
gemessen werden.
Zudem Frischschlamm, hygienisiert
nur noch sporadisch.

Probe vom:	27.01.2004	01.03.2004	23.03.2004	21.04.2004	06.05.2004	08.06.2004	24.06.2004	01.07.2004	08.07.2004	21.07.2004	28.07.2004
Analyse von / bis:	27.01-30.01.04	01.03.- 03.03.04	23.03.-25.03.04	21.04.-23.04.04	06.05.-07.05.04	08.06.-10.06.04	24.06.-25.06.04	01.07.-02.07.04	08.07.-09.07.04	21.07.-22.07.04	28.07.-29.07.04
Durchgeführt von:	E. Büeler	E. Büeler	Büeler/Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler
Konservierung: frisch - gekühlt											

pH-Wert

Frischschlamm	6,5	6,2	6,3	6,1	6,1		6,2					
Hygienisiert	7,1	6,4	6,6	6,5	6,5		6,4					
Vorfaulraum			7,3	7,4	7,5	7,6	7,4	7,7	7,4	7,3	7,3	
Nachfaulraum	7,1	7,0	7,1	7,1		7,5	7,1	7,5	7,2	7,2	7,2	
Faulwasser	7,3	7,2			7,5							

CSB

(filtriert 0,45 µm)

CSB [mg/l]

Frischschlamm	3400	3580	6080	3950	7690		5050					
Hygienisiert	4310	5280	9620	6350	7500		8730					
Vorfaulraum			645	3050	3670	639	1020	420	458	383	429	
Nachfaulraum	378	350	617	3110		626	1010	424	471	370	404	
Faulwasser	383	361			3050							

DOC

DOC [mg C/l]

Frischschlamm	1150	697	1890	1664	1559							
Hygienisiert	1630	1500	3270	2862	3284							
Vorfaulraum			123	106	70	145	nicht bestimmt	63	33	203	217	
Nachfaulraum	142	127	101	89		112	nicht bestimmt	43	31	255	231	
Faulwasser	130	144			57							

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 27.01.2004 -28.07.2004

Stickstoff Gesamt muss nicht mehr
gemessen werden.
Zudem Frischschlamm, hygienisiert
nur noch sporadisch.

Probe vom:	27.01.2004	01.03.2004	23.03.2004	21.04.2004	06.05.2004	08.06.2004	24.06.2004	01.07.2004	08.07.2004	21.07.2004	28.07.2004
Analyse von / bis:	27.01-30.01.04	01.03.- 03.03.04	23.03.-25.03.04	21.04.-23.04.04	06.05.-07.05.04	08.06.-10.06.04	24.06.-25.06.04	01.07.-02.07.04	08.07.-09.07.04	21.07.-22.07.04	28.07.-29.07.04
Durchgeführt von:	E. Büeler	E. Büeler	Büeler/Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler
Konservierung: frisch - gekühlt											

Ammonium NH₄-N [mg N/l]

Frischschlamm		204	148	292	238	190		274				
Hygienisiert		230	348	586	520	298		715				
Vorfaulraum				615	644	752	821	1080	886	925	1127	799
Nachfaulraum		1010	595	970	546		915	1200	879	937	1044	939
Faulwasser		1000	718			699						

Stickstoff (gesamt) N_{tot} [mg N/l]

Frischschlamm			1130	1430		1240		2060
Hygienisiert			1490	1690		1501		2140
Vorfaulraum				1640		1530	1790	1980
Nachfaulraum			3500	2600			2880	1990
Faulwasser			1220			1010		

Phosphor (gesamt) P_{tot} [mg P/l]

Frischschlamm		638	373	864		324		1200				
Hygienisiert		552	595	857		396		1120				
Vorfaulraum				659		479	853	783	1060	1060	653	2480
Nachfaulraum		2500	2900	2050			1030	1350	2344	2520	2513	5230
Faulwasser		490	40,6			270						

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 27.01.2004 -28.07.2004

Stickstoff Gesamt muss nicht mehr gemessen werden.
Zudem Frischschlamm, hygienisiert nur noch sporadisch.

Probe vom:

Analyse von / bis:

Durchgeführt von:

Konservierung: frisch - gekühlt

27.01.2004	01.03.2004	23.03.2004	21.04.2004	06.05.2004	08.06.2004	24.06.2004	01.07.2004	08.07.2004	21.07.2004	28.07.2004
27.01-30.01.04	01.03.-03.03.04	23.03.-25.03.04	21.04.-23.04.04	06.05.-07.05.04	08.06.-10.06.04	24.06.-25.06.04	01.07.-02.07.04	08.07.-09.07.04	21.07.-22.07.04	28.07.-29.07.04
E. Büeler	E. Büeler	Büeler/Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler

Bemerkungen:

* Infolge falscher Proben-nahme stimmen die Werte vom Vorfaulraum nicht.

* Infolge falscher Proben-nahme stimmen die Werte vom Vorfaulraum nicht.

Da zuwenig Faulwasser vorhanden war, wurde keine Probe gezogen.

Da zuwenig Faulwasser vorhanden war, wurde keine Probe gezogen.

Da kein Material im Nachfaulraum vorhanden war, wurde keine Probe gezogen.

Letzte Proben-nahme vor Um-stellung auf Zu-gabe Co-Substrat

Da nur Vor-faulraum und Nachfaulraum relevant sind, wurde ab hier nur dort beprobt

Gaswerte

[.../...]

Methan									66,85	36,29
Kohlendioxid									68,43	35,33
Schwefelwasserstoff 1									32,38	27,08
Gasprod./Totemlaufzt.					17,11	14,83	18,98	15,52	8,40	27,81
Gasproduktion					260,00	215,00	243,00	194,00	136,00	89,00

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 04.08.2004 -15.09.2004

Probe vom:

Analyse von / bis:

Durchgeführt von:

Konservierung: frisch - gekühlt

04.08.2004	12.08.2004	19.08.2004	25.08.2004	08.09.2004	15.09.2004	Mittelwert	Std.abw.	Mittelwert vor Substrat-zugabe	Mittelwert nach Substrat-zugabe
04.08.-05.08.04	12.08.-13.08.04	19.08.-20.08.04	25.08.04	08.09.-09.09.04	15.09.2005				
O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler				

pH-Wert

Frischschlamm							6,2	0,16	6,2	6,1
Hygienisiert							6,6	0,25	6,6	6,5
Vorfaulraum	7,4	7,4	7,4	7,5	7,5	7,6	7,4	0,11	7,4	7,5
Nachfaulraum	7,3	7,3	7,3	7,4	7,3		7,2	0,14	7,1	7,3
Faulwasser							7,3	0,19	7,3	

CSB

(filtriert 0,45 µm)

CSB [mg/l]

Frischschlamm							4958	1677,71	4940,0	6370,0
Hygienisiert							6965	2035,53	6612,0	8115,0
Vorfaulraum	1320	356	355	387	377	346	924	1033,80	2455,0	781,5
Nachfaulraum	353	357	341	255	331		626	711,53	1113,8	449,3
Faulwasser							1265	1546,18	1264,7	

DOC

DOC [mg C/l]

Frischschlamm							1392	472,13	1392,1	1559,4
Hygienisiert							2509	879,67	2509,2	3284,3
Vorfaulraum	nicht bestimmt	133	74	87	10	7	105	62,88	99,4	94,7
Nachfaulraum	nicht bestimmt	95	71	63	9		105	71,75	114,8	101,1
Faulwasser							110	47,00	110,2	

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 04.08.2004 -15.09.2004

Probe vom:	04.08.2004	12.08.2004	19.08.2004	25.08.2004	08.09.2004	15.09.2004	Mittelwert	Std.abw.	Mittelwert vor Substrat-zugabe	Mittelwert nach Substrat-zugabe
Analyse von / bis:	04.08.-05.08.04	12.08.-13.08.04	19.08.-20.08.04	25.08.04	08.09.-09.09.04	15.09.2005				
Durchgeführt von:	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler				
Konservierung:	frisch - gekühlt									

Ammonium NH ₄ -N [mg N/l]										
Frischschlamm							224	54,13	214,4	232,0
Hygienisiert							450	187,36	396,4	506,5
Vorfaulraum	667	626	668	417	759	571	757	190,54	670,3	776,8
Nachfaulraum	892	862	908	653	1009		891	173,78	780,3	930,7
Faulwasser							806	168,57	805,7	
Stickstoff (gesamt) N _{tot} [mg N/l]										
Frischschlamm							1465	415,57	1266,7	1650,0
Hygienisiert							1705	304,02	1560,3	1820,5
Vorfaulraum							1735	195,02	1585,0	1766,7
Nachfaulraum							2743	626,97	3050,0	2435,0
Faulwasser							1115	148,49	1115,0	
Phosphor (gesamt) P _{tot} [mg P/l]										
Frischschlamm							680	362,98	549,8	762,0
Hygienisiert							704	285,62	600,0	758,0
Vorfaulraum	949	305	791	852	868	910	907	498,52	569,0	926,4
Nachfaulraum	2028	968	1830	1914	1843		2216	1037,23	2483,3	2142,7
Faulwasser							267	224,72	266,9	

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 04.08.2004 -15.09.2004

Probe vom:

04.08.2004**12.08.2004****19.08.2004****25.08.2004****08.09.2004****15.09.2004****Mittelwert****Std.abw.****Mittelwert****Mittelwert**

Analyse von / bis:

04.08.-05.08.04

12.08.-
13.08.04

19.08.-20.08.04

25.08.04

08.09.-09.09.04

15.09.2005

Durchgeführt von:

O. Drössler

O. Drössler

O. Drössler

O. Drössler

O. Drössler

O. Drössler

Konservierung: frisch - gekühlt

Phosphat
(filtriert 0,45 µm)PO₄-P [mg P/l]

Frischschlamm								9,1	6,84	10,4	5,1
Hygienisiert								4,4	2,87	4,7	4,6
Vorfaulraum	1,5	0,9	0,6	0,7	0,8	1,0		3,0	2,49	5,6	2,7
Nachfaulraum	1,6	1,3	1,5	1,8	2,4			3,4	1,84	5,5	2,7
Faulwasser								6,2	1,29	6,2	

TS

[%]

Frischschlamm								5,00	1,09	4,9	5,7
Hygienisiert								4,85	0,82	4,7	5,4
Vorfaulraum	4,13	4,03	3,65	3,34	3,19	3,01		3,45	1,21	2,7	3,5
Nachfaulraum	7,95	7,82	8,34	7,86	7,70			7,54	1,02	8,2	7,3
Faulwasser								0,31	0,02	0,3	

oTS**Glühverlust**

[% von TS]

Frischschlamm								68,1	4,17	68,8	67,6
Hygienisiert								65,4	4,76	66,1	65,6
Vorfaulraum	40,5	41,3	42,6	43,7	45,3	46,8		45,9	4,34	46,2	46,1
Nachfaulraum	40,5	38,9	39,8	38,4	39,0			42,6	3,48	45,4	42,3
Faulwasser								45,5	1,23	45,5	

ARA Frick 04.08.2004 -15.09.2004

Konservierung: frisch - gekühlt

Mittelwert

15.09.2005

O. Drössler

Acetat	[mg/l]
---------------	--------

Propionat	[mg/l]
------------------	--------

Butyrat	[mg/l]		
---------	--------	--	--

Frischschlamm							370	116,10	336,0	465,0
Hygienisiert							326,7	103,86	318,0	325,0
Vorfaulraum	< 0.05	< 0.05	< 0.05							
Nachfaulraum	< 0.05	< 0.05	< 0.05							
Faulwasser										

Kläranlage Frick**5070 Frick**

Analyseresultate von Schlammproben

ARA Frick 04.08.2004 -15.09.2004

Probe vom:

Analyse von / bis:

Durchgeführt von:

Konservierung: frisch - gekühlt

04.08.2004	12.08.2004	19.08.2004	25.08.2004	08.09.2004	15.09.2004	Mittelwert	Std.abw.	Mittelwert vor Substrat- zugabe	Mittelwert nach Substrat- zugabe
04.08.-05.08.04	12.08.- 13.08.04	19.08.-20.08.04	25.08.04	08.09.-09.09.04	15.09.2005				
O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler	O. Drössler				

Bemerkungen:

Da nur Vor-faulraum und Nachfaulraum relevant sind, wurde nur dort beprobt

Gaswerte [.../..]

Methan	47,68	7,41			4,25	2,62
Kohlendioxid	50,19	7,94			11,29	6,04
Schwefelwasserstoff 1	30,79	32,74			0,00	0,00
Gasprod./Totemlaufzt.	8,04	6,98	13,20	27,02	14,76	11,54
Gasproduktion	90,00	81,00	202,00	281,00	155,00	150,00

27.01.**Tagesrapporte Versuchsperiode 08.06.-15.09.2004**

Datum	Verbrauch		
	ENERGIE		
	"Zählerstand HT"	"Zählerstand NT"	"Blindstromzähler HT"
08.06.04	50450,00	71444,00	5348,00
09.06.04	50562,00	71541,00	5337,00
10.06.04	50687,00	71636,00	5363,00
11.06.04	50813,00	71739,00	5374,00
12.06.04			
13.06.04			
14.06.04	50980,00	72215,00	5387,00
15.06.04	51073,00	72317,00	5392,00
16.06.04	51205,00	72419,00	5407,00
17.06.04	51330,00	72519,00	5418,00
18.06.04	51431,00	72619,00	5425,00
19.06.04			
20.06.04			
21.06.04	51607,00	73115,00	5436,00
22.06.04	51715,00	73220,00	5441,00
23.06.04	51819,00	73323,00	5448,00
24.06.04	51954,00	73423,00	5459,00
25.06.04	52054,00	73519,00	5466,00
26.06.04			
27.06.04			
28.06.04	52220,00	74019,00	5476,00
29.06.04	52337,00	74118,00	5483,00
30.06.04	52436,00	74216,00	5490,00
01.07.04	52526,00	74317,00	5495,00
02.07.04	52620,00	74417,00	5502,00

Erzeugung				
HEIZUNGSANLAGE				
(Zähler-) "Stand Gasometer"	(Zähler-) "stand Gasuhr"	"Gasproduktion" [m3]	"Gasproduktion"(2. Wert) abgefackelt [m ³]	(Tages-) "Gasverbrauch" entspricht "Gasproduktion" [m ³]
95,00	43330,00	260,00	55,00	260,00
90,00	43505,00	170,00	170,00	175,00
92,00	43834,30	329,00	16,00	329,30
95,00	44939,00	105,00	145,00	105,00
90,00	44121,00	110,00		182,00
90,00	44307,00	186,00	145,00	186,00
90,00	44480,00	173,00	140,00	173,00
70,00	44744,00	244,00	20,00	264,00
90,00	44935,00	211,00	110,00	191,00
90,00	45160,00	225,00	140,00	225,00
95,00	45391,10	236,00	17,00	231,10
95,00	45587,10	359,00		196,00
95,00	45728,00	237,00		141,00
90,00	45916,00	183,00	190,00	188,00
78,00	46174,00	246,00	39,00	258,00
90,00	46360,00	186,00	115,00	186,00
90,00	46575,00	215,00	130,00	215,00
95,00	46791,00	221,00	120,00	216,00
95,00	47056,00	370,00		265,00
95,00	47237,80	333,00		181,00
95,00	47393,00	156,00	130,00	156,00
50,00	47750,00	312,00	80,00	357,00
90,00	47947,00	237,00	5,00	197,00
90,00	48190,00	243,00	25,00	243,00
90,00	48430,00	240,00	15,00	240,00

Tagesrapporte Versuchsperiode 08.06.-15.09.2004

Datum	Verbrauch			Erzeugung				
	ENERGIE			HEIZUNGSANLAGE				
	"Zählerstand HT"	"Zählerstand NT"	"Blindstromzähler HT"	(Zähler-) "Stand Gasometer"	(Zähler-) "stand Gasuhr"	"Gasproduktion" [m ³]	"Gasproduktion"(2. Wert) abgefackelt [m ³]	(Tages-) "Gasverbrauch" entspricht "Gasproduktion" [m ³]
03.07.04	52752,00	74514,00	5510,00	90,00	48700,20	270,00	14,00	270,20
04.07.04	52775,00	74703,00	5511,00	93,00	48874,10	177,00	96,00	174,10
05.07.04	52795,00	74900,00	5513,00	90,00	49050,00	173,00	135,00	176,00
06.07.04	52909,00	75013,00	5520,00	90,00	49235,00	185,00	90,00	185,00
07.07.04	53060,00	75114,00	5529,00	90,00	49432,00	197,00	150,00	197,00
08.07.04	53164,00	75219,00	5536,00	95,00	49621,00	194,00	90,00	189,00
09.07.04	53284,00	75323,00	5541,00	65,00	49902,00	251,00	25,00	281,00
10.07.04				90,00	50073,00	186,00	45,00	171,00
11.07.04				90,00	50250,00	270,00		177,00
12.07.04	53470,00	75838,00	5551,00	95,00	50438,00	193,00	110,00	188,00
13.07.04	53616,00	75935,00	5559,00	95,00	50640,00	202,00	90,00	202,00
14.07.04	53755,00	76035,00	5568,00	95,00	50820,00	180,00	140,00	180,00
15.07.04	53858,00	76133,00	5574,00	95,00	51030,00	210,00	75,00	210,00
16.07.04	53973,00	76240,00	5578,00	95,00	51205,00	175,00	155,00	175,00
17.07.04				95,00	51365,00	160,00	190,00	160,00
18.07.04				95,00	51446,00	81,00	205,00	81,00
19.07.04	54185,00	76905,00	5588,00	95,00	51570,00	124,00	205,00	124,00
20.07.04	54434,00	77010,00	5597,00	95,00	51711,00	141,00	200,00	141,00
21.07.04	54472,00	77119,00	5612,00	95,00	51847,00	136,00	155,00	134,00
22.07.04	54599,00	77214,00	5621,00	95,00	52080,00	233,00	105,00	233,00
23.07.04	54706,00	77314,00	5630,00	95,00	52295,00	215,00	95,00	215,00
24.07.04	54836,00	77423,00	5642,00	92,00	52539,20	241,00	-64,00	244,20
25.07.04	54866,00	77632,00	5644,00	93,00	52671,50	133,00	104,00	132,30
26.07.04	54883,00	77846,00	5646,00	90,00	52800,00	126,00	135,00	129,00
27.07.04	55002,00	77950,00	5657,00	95,00	52948,00	148,00	105,00	148,00

Tagesrapporte Versuchsperiode 08.06.-15.09.2004

Datum	Verbrauch			Erzeugung				
	ENERGIE			HEIZUNGSANLAGE				
	"Zählerstand HT"	"Zählerstand NT"	"Blindstromzähler HT"	(Zähler-) "Stand Gasometer"	(Zähler-) "stand Gasuhr"	"Gasproduktion" [m ³]	"Gasproduktion"(2. Wert) abgepackelt [m ³]	(Tages-) "Gasverbrauch" entspricht "Gasproduktion" [m ³]
28.07.04	55152,00	78066,00	5670,00	95,00	53037,00	89,00	190,00	89,00
29.07.04	55283,00	78163,00	5687,00	95,00	53126,00	89,00	125,00	89,00
30.07.04	55423,00	78259,00	5702,00	90,00	53283,00	152,00	80,00	157,00
31.07.04				95,00	53465,00			182,00
01.08.04				90,00	53626,00			161,00
02.08.04	55593,00	78730,00	5716,00	90,00	53787,00	161,00	165,00	161,00
03.08.04	55725,00	78832,00	5726,00	95,00	53939,00	157,00	150,00	152,00
04.08.04	55887,00	78927,00	5743,00	90,00	54034,00	90,00	220,00	95,00
05.08.04	56016,00	79029,00	5755,00	95,00	54177,00	148,00	185,00	143,00
06.08.04	56139,00	79144,00	5764,00	95,00	54324,00	147,00	150,00	147,00
07.08.04				95,00	54499,00	302,00		175,00
08.08.04				95,00	54628,30	266,00		129,00
09.08.04	56313,00	79726,00	5776,00	95,00	54762,00	139,00	210,00	134,00
10.08.04	56459,00	79833,00	5786,00	95,00	54912,00	150,00	195,00	150,00
11.08.04	56575,00	79938,00	5795,00	95,00	55060,00	148,00	210,00	148,00
12.08.04	56724,00	80040,00	5805,00	95,00	55141,00	81,00	225,00	81,00
13.08.04	56849,00	80137,00	5812,00	85,00	55318,00	167,00	130,00	177,00
14.08.04				95,00	55539,00	231,00	40,00	221,00
15.08.04				95,00	55664,00	125,00	120,00	125,00
16.08.04	57022,00	80625,00	5820,00	90,00	55800,00	131,00	125,00	136,00
17.08.04	57125,00	80727,00	5824,00	90,00	56030,00	230,00	10,00	230,00
18.08.04	57240,00	80826,00	5829,00	75,00	56241,00	200,00	25,00	211,00
19.08.04	57368,00	80925,00	5838,00	90,00	56428,00	202,00	165,00	187,00
20.08.04	57463,00	81019,00	5842,00	90,00	56668,00	240,00	40,00	240,00
21.08.04	57583,00	81121,00	5848,00	93,00	56895,50	306,00	53,00	303,10

Datum	Verbrauch			Erzeugung				
	ENERGIE			HEIZUNGSANLAGE				
	"Zählerstand HT"	"Zählerstand NT"	"Blindstromzähler HT"	(Zähler-) "Stand Gasometer"	(Zähler-) "stand Gasuhr"	"Gasproduktion" [m3]	"Gasproduktion"(2. Wert) abgepackelt [m³]	(Tages-) "Gasverbrauch" entspricht "Gasproduktion" [m³]
22.08.04	57620,00	81326,00	5850,00	92,00	57035,20	139,00	162,00	139,70
10.10.57	57628,00	81523,00	5850,00	90,00	57170,00	135,00	145,00	135,00
24.08.04	57744,00	81632,00	5858,00	90,00	57359,00	189,00	105,00	189,00
25.08.04	57852,00	81737,00	5868,00	90,00	57640,00	281,00	75,00	281,00
26.08.04	57947,00	81842,00	5874,00	90,00	57805,00	165,00	5,00	165,00
27.08.04	58043,00	81939,00	5884,00	80,00	58037,00	222,00	30,00	232,00
28.08.04				95,00	58191,70	313,00		154,00
29.08.04				95,00	58306,00	220,00		115,00
30.08.04	58238,00	82472,00	5896,00	95,00	85437,00	131,00	115,00	131,00
31.08.04	58346,00	82577,00	5903,00	85,00	58681,00	234,00	15,00	244,00
01.09.04	58441,00	82676,00	5909,00	95,00	58903,00	232,00	40,00	222,00
02.09.04	58567,00	82772,00	5916,00	95,00	59056,00	153,00	55,00	153,00
03.09.04	58682,00	82874,00	5923,00	70,00	59250,00	153,00		194,00
04.09.04				90,00	59389,00	139,00		139,00
05.09.04				95,00	59515,00	126,00		126,00
06.09.04	58865,00	83393,00	5931,00	95,00	59650,00	135,00	105,00	135,00
07.09.04	59013,00	83502,00	5942,00	95,00	59820,00	170,00	65,00	170,00
08.09.04	59094,00	83606,00	5949,00	90,00	59980,00	155,00	15,00	160,00
09.09.04	59224,00	83707,00	5965,00	90,00	60225,00	245,00	5,00	245,00
10.09.04	59340,00	83799,00	5977,00	90,00	60430,00	205,00	35,00	205,00
11.09.04				95,00	60626,10	216,00		196,00
12.09.04				95,00	60754,40	238,00		128,00
13.09.04	59538,00	84321,00	5999,00	90,00	60900,00	141,00	90,00	146,00
14.09.04								
15.09.04						150,00		

Datum	Erzeugung					
	Zählerstand "Gasfackel" [m³]	Zählerstand "Brenner Gas"	Zählerstand "Oel" Tagesverbrauch	Zählerstand "Totem"- laufzeit Gesamtstunden	Tagesanzeige "Totem"- laufzeit [h/d]	erzeugte Energiemenge [kWh/d]
03.07.04	3376,22	18235,85	2592,20	62990,60	14,20	184,60
04.07.04	3378,53	18235,85	2592,20	63008,60	18,00	234,00
05.07.04	3381,21	18235,85	2592,20	63025,00	16,40	213,00
06.07.04	3383,17	18235,85	2592,20	63037,60	12,60	163,80
07.07.04	3386,18	18235,85	2592,20	63052,60	15,00	195,00
08.07.04	3388,04	18235,85	2592,20	63065,10	12,50	162,50
09.07.04	3388,60	18235,85	2592,20	63078,50	13,40	174,20
10.07.04	3389,47	18235,00	2592,20	63096,50	18,00	234,00
11.07.04	3391,24	18235,00	2592,20	63115,10	18,60	241,80
12.07.04	3393,43	18235,00	2592,20	63134,30	19,20	249,60
13.07.04	3395,20	18235,00	2592,20	63149,80	15,50	201,50
14.07.04	3398,04	18235,00	2592,20	63169,90	20,10	261,30
15.07.04	3399,59	18235,00	2592,20	63184,00	14,10	183,30
16.07.04	3402,76	18235,85	2592,20	63202,60	18,60	241,80
17.07.04	3406,67	18235,85	2592,20	63214,00	11,40	148,20
18.07.04	3411,16	18250,48	2592,20	63214,00		
19.07.04	3415,31	18259,59	2592,20	63214,00		
20.07.04	3419,39	18260,28	2592,20	63228,40	14,40	187,20
21.07.04	3422,62	18260,28	2592,20	63244,60	16,20	210,60
22.07.04	3424,69	18260,28	2592,20	63256,50	11,90	154,70
23.07.04	3426,60	18260,28	2592,20	63267,50	11,00	143,00
24.07.04	3428,14	18260,28	2592,20	63278,60	11,10	144,30
25.07.04	3430,65	18260,28	2592,20	63293,10	14,50	188,50
26.07.04	3433,30	18260,28	2592,20	63305,70	12,60	163,80
27.07.04	3435,41	18260,28	2592,20	63316,80	11,10	144,30

Berechnung	
GASERZEUGUNG	
<u>Gesamtgasproduktion</u> Totemlaufzeit (Güte des Gases)	
19,01	
9,83	
10,55	
14,68	
13,13	
15,52	
18,73	
10,33	
14,52	
10,05	
13,03	
8,96	
14,89	
9,41	
14,04	
9,79	
8,40	
19,58	
19,55	
21,71	
9,17	
10,00	
13,33	

Tagesrapporte Versuchsperiode 08.06.-15.09.2004

Datum	Erzeugung						Berechnung	
	Zählerstand "Gasfackel" [m³]	Zählerstand "Brenner Gas"	Zählerstand "Oel" Tagesverbrauch	Zählerstand "Totem"- laufzeit Gesamtstunden	Tagesanzeige "Totem"- laufzeit [h/d]	erzeugte Energienmenge [kWh/d]	GASERZEUGUNG	
28.07.04	3439,26	18262,12	2592,40	63320,00	3,20		Gesamtgasproduktion Totemlaufzeit (Güte des Gases)	
29.07.04	3441,81	18263,66	2592,40	63331,10			27,81	
30.07.04	3343,37	18263,66	2592,40	63348,30	17,20	223,60	8,84	
31.07.04	3444,77	18263,66	2592,40	63368,10	19,80	257,40	0,00	
01.08.04	3448,55	18263,66	2592,40	63386,10	18,56	241,28	0,00	
02.08.04	3451,91	18263,66	2592,40	63403,70	17,60	228,80	9,15	
03.08.04	3454,90	18263,66	2592,40	63419,70	16,00	208,00	9,81	
04.08.04	3460,32	18263,66	2592,40	63430,90	11,20	145,60	8,04	
05.08.04	3463,99	18263,66	2592,40	63445,20	14,30	185,90	10,35	
06.08.04	3466,99	18263,66	2592,40	63459,70	14,50	188,50	10,14	
07.08.04	3470,04	18263,66	2592,40	63481,80	22,10	287,30	13,67	
08.08.04	3473,33	18263,66	2592,40	63495,90	14,10	183,30	18,87	
09.08.04	3477,55	18263,66	2592,40	63510,20	14,30	185,90	9,72	
10.08.04	3481,41	18263,60	2592,40	63524,70	14,50	188,50	10,34	
11.08.04	3485,64			63540,30	15,60	202,80	9,49	
12.08.04	3490,12			63551,90	11,60	150,80	6,98	
13.08.04	3492,82			63563,20	11,30	146,90	14,78	
14.08.04	3493,63			63575,90	12,70	165,10	18,19	
15.08.04	3496,02	18263,66	2592,40	63589,10	13,20	171,60	9,47	
16.08.04	3498,50	18263,66	2592,40	63603,50	14,40	187,20	9,10	
17.08.04	3498,74	18263,66	2592,40	63613,20	9,70	126,10	23,71	
18.08.04	3499,24	18263,66	2592,40	63624,00	10,80	140,40	18,52	
19.08.04	3502,56	18263,66	2592,40	63639,30	15,30	198,90	13,20	
20.08.04	3503,38	18263,66	2592,40	63649,50	10,20	132,60	23,53	
21.08.04	3504,66	18263,66	2592,40	63661,50	12,00	156,00	25,50	

Datum	Erzeugung						Berechnung	
	Zählerstand "Gasfackel" [m³]	Zählerstand "Brenner Gas"	Zählerstand "Oel" Tagesverbrauch	Zählerstand "Totem"- laufzeit Gesamtstunden	Tagesanzeige "Totem"- laufzeit [h/d]	erzeugte Energienmenge [kWh/d]	GASERZEUGUNG	
22.08.04	3508,55	18263,66	2592,40	63676,20	14,70	191,10	Gesamtgasproduktion Totemlaufzeit (Güte des Gases)	
10.10.57	3511,38	18263,66	2592,40	63690,10	13,90	180,70	9,46	
24.08.04	3513,63	18263,66	2592,40	63700,30	10,20	132,60	9,71	
25.08.04	3515,12	18263,66	2592,40	63710,70	10,40	135,20	18,53	
26.08.04	3515,65	18263,66	2592,40	63720,40	9,70	126,10	27,02	
27.08.04	3516,37	18263,66	2592,40	63729,80	9,40	122,20	17,01	
28.08.04	3520,20	18263,66	2592,40	63746,90	17,10	222,30	23,62	
29.08.04	3522,74	18263,66	2592,40	63759,40	12,50	162,50	18,30	
30.08.04	3525,03	18263,66	2592,40	63773,70	14,30	185,90	17,60	
31.08.04	3525,45	18263,66	2592,40	63785,70	12,00	156,00	9,16	
01.09.04	3526,29	18263,66	2592,40	63797,00	11,30	146,90	19,50	
02.09.04	3527,37	18263,66	2592,40	63808,00	11,00	143,00	20,53	
03.09.04	3527,90	18263,66	2592,40	63820,10	12,00	156,00	13,91	
04.09.04	3528,98	18263,66	2592,40	63835,30	14,90	193,70	12,75	
05.09.04	3530,65	18263,66	2592,40	63849,70	14,00	182,00	9,33	
06.09.04	3532,79	18263,66	2592,40	63862,80	13,10	170,30	9,00	
07.09.04	3534,14	18263,66	2592,40	63873,80	11,00	143,00	10,31	
08.09.04	3534,43	18263,66	2592,40	63884,30	10,50	136,50	15,45	
09.09.04	3534,62	18263,66	2592,40	63898,90	14,60	189,80	14,76	
10.09.04	3535,36	18263,66	2592,40	63911,10	12,20	158,60	16,78	
11.09.04	3535,86	18263,66	2592,40	63921,20	10,10	131,30	16,80	
12.09.04	3538,52	18263,66	2592,40	63935,10	13,90	180,70	21,39	
13.09.04	3540,30	18263,66	2592,40	63949,00	13,90	180,70	17,12	
14.09.04							10,14	
15.09.04					13,00		11,54	