

Restmethanbildungspotenzial in offenen Gärrestlagern

Biogasanlagen mit Einsatz von Energiepflanzen



luft



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Restmethanbildungspotenzial in offenen Gärrestlagern

Biogasanlagen mit Einsatz von Energiepflanzen

Impressum

Restmethanbildungspotenzial in offenen Gärrestlagern - Biogasanlagen mit Einsatz von Energiepflanzen

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

Fax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 21, Feistkorn, C., Ebertsch, G.

Druck:

Eigendruck Bayerisches Landesamt für Umwelt

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

Juli 2013

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	6
3	Vorgehensweise	7
3.1	Beprobte Biogasanlagen	7
3.2	Probenahme	8
3.3	Analytik	9
3.4	Berechnungsgrundlagen	9
4	Ergebnisse und Bewertung	11
4.1	Gasbildungskurven	11
4.2	Restmethan ausbeute und -potenzial	12
4.3	Vergleich der Biogasanlagen	14
4.3.1	Verfahrenstechnik (Verweilzeit und beheizte Stufen)	14
4.3.2	Substratinput	15
5	Diskussion	17
5.1	Probenahme	17
5.2	Analytik	17
5.3	Berechnungsmethode	17
6	Fazit und Hinweise für den Vollzug	18
	Literaturverzeichnis	20
	Anhang I Berechnungsmethode mit Berücksichtigung des organischen Abbaus	21
	Anhang II Biogasanlagendaten	22
	Tabellenverzeichnis	52
	Abbildungsverzeichnis	53

1 Zusammenfassung

Wichtigstes Ziel für den Immissions- und Klimaschutz bei Biogasanlagen muss die effiziente Nutzung der angebauten Biomasse und die Vermeidung von Methanemissionen sein. Aus diesem Grund ist für Neuanlagen im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) 2012 eine rechnerische Mindestverweilzeit für das Substrat im gasdichten System und eine Abdeckung des Gärrestlagers vorgesehen.

Basierend auf den Ergebnissen der Biogasmessprogramme in den Jahren 2004 bis 2009 des Johann Heinrich von Thünen Instituts (vTI) beschreibt die Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 „Emissionsminderung - Biogasanlagen in der Landwirtschaft“ zusätzlich eine Regelung für bestehenden Biogasanlagen mit offenen Gärrestlagern und unzureichenden Mindestverweilzeiten des Substrats im Fermenter- bzw. gasdichten System. In solchen Fällen soll ein Restmethanpotenzial im Gärrest von kleiner 1,5 % der in der Biogasanlage pro Stunde gebildeten Methanmenge nachgewiesen werden. Die Richtlinie gibt dazu vor die Restmethanbildung mittels eines Gärtests im Labor bei definierten Bedingungen von 20 °C und über 60 Tage zu ermitteln und daraus das Restmethanpotenzial in Kubikmeter im Normzustand (m_n^3) zu berechnen. Aus dem Ergebnis lässt sich ableiten, ob weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz des Gärprozesses sinnvoll sind. In der Praxis jedoch treten noch zahlreiche Fragen zur Durchführung des Gärtests und zum Berechnungsverfahren auf.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat deshalb an 15 bayerischen Biogasanlagen im Einlauf zu offenen Gärrestlagern Proben gezogen, Gärtests bei 20 °C und 40 °C durchgeführt und das Restmethanpotenzial berechnet. Der Gärtest bei ca. 20 °C soll näherungsweise den Lagerungsbedingungen des Gärrückstands, der Gärtest bei 40°C den Bedingungen im Fermenter entsprechen (FNR 2005). Die Untersuchungen des LfU haben Folgendes bestätigt:

- Ein Gärtest bei 20 °C gibt Hinweise auf noch vorhandenes ungenutztes Restmethanpotenzial im Gärrest und erhöhte Emissionen.
- Der Nachweis über das Restmethanpotenzial im Gärrest eignet sich als Hilfsmittel im Vollzug zur Reduzierung schädlicher Klimagasemissionen. Er stellt aber nicht die durch das offene Gärrestlager im jahreszeitlichen Verlauf tatsächlichen hervorgerufenen Emissionen dar.
- Der Zusammenhang zwischen Verweilzeit im gasdichten System und Restmethanpotenzial ist im Gegensatz zu den Untersuchungen des vTI nur als Tendenz zu erkennen.
- Bei der standardisierten Durchführung und Berechnung sind zahlreiche vereinfachende Annahmen zu treffen. Spezifische Besonderheiten der Biogasanlage werden nicht berücksichtigt. Das Ergebnis ist deshalb im Einzelfall unter Berücksichtigung der gesamten Anlagen- und Verfahrenstechnik, im Besonderen auf den Substrateinsatz hin, zu bewerten.
- Ein Gärtest bei 40 °C zeigt das noch zur Energieerzeugung verfügbare Restmethanpotenzial auf. Er eignet sich zur ökonomischen Bewertung von Optimierungsmaßnahmen an der Biogasanlage und sollte zusätzlich zu einem Gärtest bei 20 °C erfolgen.

Für den Betreiber der Biogasanlage ist der Gärtest, wenn er zusätzlich bei einer Temperatur von 40 °C durchgeführt wird, ein Hilfsmittel, um die Effizienz des eigenen Biogasprozesses einzuschätzen. Mit den Informationen über das noch nutzbare Methanpotenzial eröffnen sich Möglichkeiten für geeignete und verhältnismäßige technische Verbesserungsmaßnahmen. Ein Vergleich der Ergebnisse der 15 Biogasanlagen mit den verfahrenstechnischen Merkmalen zeigt, dass sich insbesondere eine lange Verweilzeit im beheizten System, eine mehrstufige Anlage und eine hohe Betriebstemperatur positiv auf die Ausnutzung des Substrats und damit auf die Minderung von Emissionen auswirken.

2 Einleitung

Die Ziele des bayerischen Energiekonzepts sehen eine Steigerung des Bioenergieanteils am Primärenergieverbrauch auf 50 Mrd. kWh bis 2021 vor. Biogas leistet schon heute einen wesentlichen Beitrag für die Erreichung dieses Ziels. Allerdings ist die energetische Biomassennutzung immer mit Auswirkungen auf die Umwelt verbunden. Bei Biogasanlagen ist darauf zu achten, dass Geruchsemissionen und schädliche Klimagasemissionen soweit wie möglich vermieden werden. Methanemissionen verschlechtern mit einem 25-mal höheren Treibhausgaspotenzial als Kohlendioxid die Klimabilanz einer Biogasanlage erheblich. Vermeidbare direkte Methanemissionen einer Biogasanlage sind beispielsweise das regelmäßige Anspringen der Überdrucksicherung, Leckagen im eigentlich gasdichten System und eine offene Gärrestlagerung.

Zusätzlich weist Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien einen nur sehr geringen flächenspezifischen Energieertrag auf. Wenn zur Biogasproduktion wie bei den meisten Biogasanlagen nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) eingesetzt werden, muss die effiziente Ausnutzung des Substrats Ziel für jeden Biogasanlagenbetreiber sein. Durch die stetig steigende Zahl an Biogasanlagen (in Bayern 2.294 im Dezember 2012 [<http://www.lfl.bayern.de>]) war und ist es wichtig emissions-technische Mindeststandards vorzugeben, die nach dem Stand der Technik weiterentwickelt werden.

Die Untersuchungen im Rahmen der Biogasmessprogramme des Johann Heinrich von Thünen Instituts (vTI) haben gezeigt, dass je nach Effizienz des Vergärungsprozesses in den Fermentern der Biogasanlage teilweise noch ein erhebliches Restmethanbildungspotenzial im Gärrest vorhanden ist. Im Gärrestlager findet durch Nachgärprozesse eine verlangsamte Biogasbildung statt. Bei nicht gasdicht abgedeckten und an die Gasverwertung angeschlossenen Gärrestlagern wird klimarelevantes Gas in die Atmosphäre emittiert und zusätzlich das verfügbare energetische Potenzial des Substrats nicht vollständig genutzt. Auch Stickstoffverluste durch Ammoniakemissionen und Geruchsemissionen treten durch eine offene Gärrestlagerung auf.

Sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht ist dies nach dem heutigen Stand der Technik nur schwer hinnehmbar.

Die Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 „Emissionsminderung - Biogasanlagen in der Landwirtschaft“, beschreibt den Stand der Technik bei der Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger und sieht eine Vorgehensweise zur Reduzierung von Emissionen aus offenen Gärrestlagern nach Abb. 1 vor.

Die Richtlinie unterscheidet hierbei zwischen Neu- und Bestandsbiogasanlagen. Demnach ist beim Neubau von Biogasanlagen ein neu errichtetes Gärrestlager am Standort der Biogaserzeugung gasdicht auszuführen und an die Gasverwertung anzuschließen.

Halten dagegen bestehende Biogasanlagen mit offener Gärrestlagerung eine durchschnittliche hydraulische Verweilzeit von 150 Tagen im gasdichten System oder von 110 Tagen im beheizten Fermentersystem ein, kann auf eine Nachrüstung des Gärrestlagers mit einer gasdichten Abdeckung verzichtet werden. Alternativ besteht die Möglichkeit nachzuweisen, dass die Restmethanbildung pro Stunde kleiner als 1,5 % der in der Biogasanlage pro Stunde gebildeten Methanmenge ist.

Wird keines der Kriterien erfüllt sind Maßnahmen zur Minderung der Emissionen (in der Regel im Zuge einer wesentlichen Änderung der Biogasanlage) zu ergreifen.

Im EEG 2012 wurden ähnliche Regelungen eingeführt. Danach ist ein neu zu errichtendes Gärrestlager am Standort der Biogaserzeugung technisch gasdicht abzudecken und zusätzlich ist eine durchschnittliche hydraulische Verweilzeit in dem gasdichten und an die Gasverwertung angeschlossenen System von 150 Tagen einzuhalten.

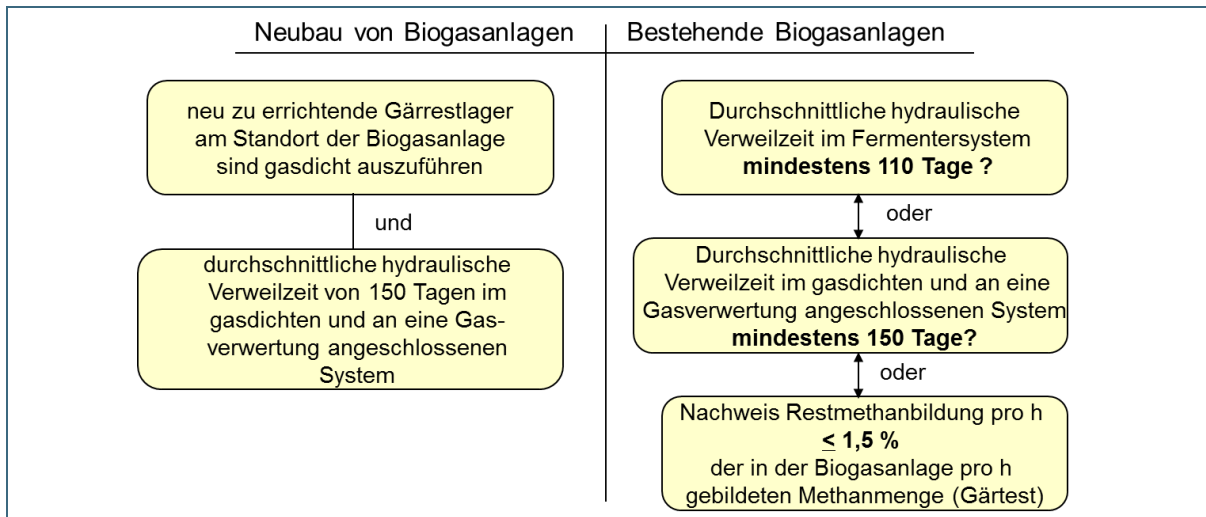


Abb. 1: Maßnahmen zur Minderung von Emissionen landwirtschaftlicher Biogasanlagen nach Richtlinie VDI 3475 Blatt 4

Um Erfahrung bei der Nachweisführung des Restmethanpotenzials gemäß VDI 3475 zu sammeln und die praktische Anwendbarkeit der Regelung in der Richtlinie zu überprüfen, wurden an 15 Biogasanlagen mit offenem Gärrestlager Gärrestproben gezogen, Gärtests bei 20 °C und parallel bei 40 °C über 60 Tage durchgeführt und jeweils das Restmethanpotenzial berechnet. Die ermittelte Restmethanbildung bei 20 °C als Konvention ist im Hinblick auf die Abschätzung der Emissionen eines offenen Gärrestlagers zu betrachten. Die Restmethanbildung bei 40 °C soll dagegen das noch energetisch nutzbare Potenzial im Gärrest unter Reaktionsbedingungen im Fermenter aufzeigen.

3 Vorgehensweise

Im Fokus der Untersuchung stehen die Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit der Regelung der Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 im Vollzug und die Minderung von Methanemissionen landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Durchgeführt wurde das Projekt von Dezember 2011 bis Juli 2012.

3.1 Beprobte Biogasanlagen

Die 15 beprobten landwirtschaftlichen Biogasanlagen weisen alle ein offenes Gärrestlager und eine durchschnittliche hydraulische Verweilzeit im gasdichten System von weniger als 150 Tagen auf. Die durchschnittliche hydraulische Verweilzeit im beheizten System beträgt bei der Hälfte der Anlagen weniger als 110 Tage. Die spezifischen Anlagendaten (Konfiguration, Substratinput, Biogasmotor) und Analysenergebnisse sind Anhang II (Biogasanlagendaten) zu entnehmen. Während der Auswahl der Anlagen wurde deutlich, dass viele zum Zeitpunkt der Probenahme (Dezember 2011 bis Februar 2012) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Biogasanlagen dem Stand der Technik entsprechen und gasdichte Gärrestlager aufweisen.

Baurechtlich genehmigte Bestandsbiogasanlagen scheinen dagegen die Anforderungen der Richtlinie VDI, Blatt 4 eher noch nicht einzuhalten. Für die Untersuchung wurden fünf Biogasanlagen, deren elektrische Leistung über 300 kW_{el} beträgt, ausgewählt, sieben Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung zwischen 75 kW_{el} und 300 kW_{el}, sowie drei kleine Anlagen mit einer Leistung unter 75 kW_{el}. Tab. 1 gibt einen Überblick über die 15 für die Untersuchung ausgewählten Anlagen.

Tab. 1: Übersicht über die 15 beprobten Biogasanlagen

BGA [Nr.]	Einsatzstoffe		Verweilzeit, gasdichtes System [d]	Verweilzeit, beheiztes System [d]	Stufen, be- heizt und gasdicht	Restmethan potenzial [%]		Methanausbeute [m _n ³ / t Gärrest]		Leistung, eingespeist [kW _e]
	Gülle- Anteil	NawaRos				20 °C	40 °C	20 °C	40 °C	
1	53%	Mais, Gras	122	122	2	1,64	4,64	0,97	2,75	159
2	76%	Mais, Gras	110	110	1	1,57	6,28	0,61	2,45	35
3	0%	Mais, Klee- gras	104	104	2	2,11	6,09	2,42	6,97	347
4	0%	Mais, Gras, Ganzpflanzen- silage (GPS)	143 am Tag der Probenahme	114	2 (Endlager, 20°C)	1,44	2,63	1,39	2,55	620
5	38%	Mais, Zucker- rüben	120	120	3	1,43	7,09	1,09	5,41	470
6	47%	Mais, Gras	79	79	3	0,42	1,35	0,25	0,8	306
7	35%	Mais, Gras, Grünroggen, CornCobMix	117	117	2 + Endla- ger, 39°C	0,1	1,29	0,08	1	345
8	77%	Mais, Gras	143	143	3	0,29	1,28	0,2	0,86	260
9	38%	Mais, Gras, Gersten-GPS	80	53	1 (Endlager, 26°C)	1,76	6,19	1,31	4,62	298
10	94%	Gras	88	57	2 (Nachgärer, Temperatur unbekannt)	2,01	9,68	0,65	2,95	55
11	45%	Mais, GPS, Zuckerrüben	60	32	1 (Endlager, ca. 25°C)	2,06	4,36	1,81	3,84	292
12	39%	Mais, Getreide	71	71	2	2,18	7,11	1,49	4,85	132
13	47%	Mais, Grün- roggen, Gras, Getreide	145	145	1	2,48	5,86	1,61	3,81	99
14	67%	Mais, Gras	98	98	1	2,59	11	1,25	5,33	48
15	37%	Mais, GPS, Getreide	124	124	2	0,93	1,78	0,97	1,85	183

3.2 Probenahme

Der Gärrest wurde nach Möglichkeit am Überlauf der letzten gasdichten und an die Gasverwertung angeschlossenen Stufe zum offenen Endlager hin entnommen. Um eine frische und repräsentative Gärrestprobe zu erhalten, ist beim Zapfen der Gärrestprobe der stehende Gärrest in der Überlaufleitung zu berücksichtigen. Vor der eigentlichen Probenahme werden die ersten Liter Gärrest verworfen. Bei diskontinuierlicher Befüllung des Gärrestlagers muss die Probenahme als Schöpfprobe direkt aus dem offenen Gärrestlager durchgeführt werden.

Als Hintergrundinformation zur beprobten Biogasanlage wurde auch unvergorenes Substrat als Probe genommen. Die Proben wurden in gekühlten (4 °C) Transportsystemen innerhalb von 24 h zur Analyse ins Labor gebracht und die Gärtests angesetzt. Durch die niedrige Temperatur wird der Gärprozess in dieser Transportzeit gehemmt, so dass keine Methanbildung stattfindet.

3.3 Analytik

Für jede Biogasanlage wurde die Restmethanbildung bei 20 °C und bei 40 °C in einem Gärtest als dreifach Batch-Ansatz in Anlehnung an Richtlinie VDI 4630 „Vergärung organischer Stoffe“ ohne die Zugabe von Impfschlamm ermittelt. Der Definition nach ist ein Gärtest ein diskontinuierlicher Test bei dem organische Substrate unter definierten anaeroben Bedingungen einer Vergärung unterzogen werden und Aussagen über Vergärbarkeit, Hemmung und Gasausbeute gewonnen werden können. Im Projekt erfolgte der Gärtest als Dreifach-Ansatz, um Fehler durch biologische Schwankungen in den einzelnen Gärverläufen besser zu minimieren. Die Gärtests bei 20 °C und bei 40 °C inklusive Gasanalyse dauerten 60 Tage mit werktäglicher Aufzeichnung der Gasausbeute.

Weiterhin wurde die Gärrestprobe jeder Biogasanlage vor Versuchsbeginn auf Trockensubstanz- (TS-), organischen Trockensubstanz- (oTS-) Gehalt, Ammonium, flüchtige organische Säuren und den pH-Wert analysiert, so dass auch der Gärprozess in der Biogasanlage beurteilt werden konnte. Für einen Vorher-Nachher-Vergleich fand nochmals eine Untersuchung des Gärrests nach Beendigung des Versuchs auf die gleichen Parameter statt. Hier wurde nur ein Ansatz je Versuch analysiert. Zusätzlich wurde auch der TS- und oTS-Gehalt des Substratinputs der einzelnen Biogasanlagen bestimmt, um die Anlagen im Gesamtkontext einordnen und vergleichen zu können. Tab. 2 gibt einen Überblick über die gesamten durchgeführten Laboranalysen.

Tab. 2: Übersicht der verschiedenen Materialien auf ihre analysierten Parameter

Parameter	Einheit	Substratinput der Biogasanlage	Gärrest vor dem Ansetzen der Gärtests	Gärrest nach Gärtest bei 20°C (ein Ansatz)	Gärrest nach Gärtest bei 40°C (ein Ansatz)
Trockenrückstand	Gew%	x	x	x	x
o-TS (550°C)	%	x	x	x	x
Glühverlust (550°C)	Gew%		x	x	x
pH-Wert			x	x	x
Essigsäure	mg/kg		x	x	x
Propionsäure	mg/kg		x	x	x
n-Buttersäure	mg/kg		x	x	x
iso-Buttersäure	mg/kg		x	x	x
Valeriansäure	mg/kg		x	x	x
iso-Valeriansäure	mg/kg		x	x	x
Capronsäure	mg/kg		x	x	x
Essigsäureäquivalent	mg/kg		x	x	x
Ammonium (NH ₄)	mg/kg		x	x	x
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/kg		x	x	x

3.4 Berechnungsgrundlagen

In Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 ist in Kapitel 4.3.3.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen aus dem Gärrestlager Folgendes geregelt:

„Auf die Einhaltung der genannten durchschnittlichen hydraulischen Mindestverweilzeiten und die Lagerung im gasdichten System kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die Restmethanbildung pro Stunde kleiner als 1,5 % der in der Biogasanlage pro Stunde gebildeten Methanmenge ist. Bei der Berechnung der Restmethanbildung pro Stunde ist von Normkubikmetern auszugehen. Die Restmethanbildung ist bei 20 °C und über einen Zeitraum von 60 Tagen zu ermitteln.“

Demnach ist die Restmethanbildung über die Gesamt-Methanausbeute in einem Gärtest über 60 Tage bei den genannten Bedingungen im Labor zu ermitteln und auf die pro Stunde anfallende Gärrestmenge umzurechnen. Aus der Richtlinie geht allerdings nicht eindeutig hervor, auf welche Weise dann die Berechnung des Restmethanpotenzials erfolgt und welche Eingangsdaten für die Berechnung heranzuziehen sind. In den Begriffsbestimmungen der Richtlinie wird die Verweilzeit wie folgt definiert:

„Die hydraulische Verweilzeit beschreibt die durchschnittliche Aufenthaltszeit des Substrates im Fermenter (Quotient des Arbeitsvolumens zum täglich zugeführten Substratvolumen).“

Aufgrund der in der Praxis fehlenden genauen verfahrenstechnischen Kenndaten einer Biogasanlage kann der Nachweis über das Restmethanpotenzial in der Regel keinem wissenschaftlichen Anspruch genügen, sondern ist ein Hilfsmittel im Vollzug. Für diese Untersuchung werden die im Folgenden beschriebenen und in Bayern eingeführten Berechnungsweisen angewendet.

Der Massen-/ Volumenverlust beim Übergang des Substrats ins Gärrestlager und ggf. ein Austrag von Material durch Separation wird in dieser Berechnung nicht berücksichtigt, da dies nicht im Sinne der VDI 3475, Blatt 4 ist.

Die Dichte von Gärsubstraten im Fermenter entspricht vereinfachend in etwa einer Tonne pro Kubikmeter. Gegebenenfalls kann auch ein Dichtefaktor für das Berechnungsverfahren berücksichtigt werden.

Alle Berechnungen in dieser Untersuchung werden jedoch mit der Annahme durchgeführt, dass eine Tonne Substrat gleich einem Kubikmeter Substrat entspricht. Die hydraulische Verweilzeit in Tagen errechnet sich dann entsprechend nach Formel (1). Dabei ist das Gesamtfermentervolumen_{netto} die Summe aus den Netto-Volumina der Hauptfermenter und der Nachgärer.

$$\text{hydraulische Verweilzeit [d]} = \frac{\text{Gesamtfermentervolumen}_{\text{netto}} [\text{m}^3]}{\text{Zugeführte_Substratmenge} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]} \quad (1)$$

Die Konvention in der Richtlinie bezieht die im Gärversuch ermittelte Restmethanbildung auf die in der Biogasanlage pro Stunde gebildete Methanmenge (also die in der Biogasmotoranlage pro Stunde verwertbare Methanmenge). Über die eingespeiste elektrische Leistung lässt sich mit Formel (2) die pro Stunde verstromte Methanmenge errechnen.

$$\text{Verstromte Methanmenge} \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{h}} \right] = \frac{\text{eingespeiste_elektrische_Leistung} [\text{kW}] \cdot 100 [\%]}{\text{Wirkungsgrad_BHKW} [\%] \cdot \text{Heizwert_Methan} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}_n^3} \right]} \quad (2)$$

Der elektrische Wirkungsgrad des Biogasmotors ist in der Regel bekannt, ansonsten wird er auf 38 % geschätzt. Der Heizwert von Methan ist 9,97 kWh / m³_n.

In der eingeführten Berechnungsweise ergibt sich die pro Stunde entstehende Restmethanbildung unter Normbedingungen über den durchschnittlichen stündlichen Substratinput in Normkubikmetern, multipliziert mit der im Gärtest ermittelten Restmethanausbeute über 60 Tage nach Formel (3).

$$\text{Restmethanbildung} \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{h}} \right] = \text{Inputmenge} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot \text{Gasausbeute} \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{m}^3} \right] \cdot \frac{\text{Methan_Gehalt} \left[\right]}{100\%} \quad (3)$$

Aus dem Verhältnis der Restmethanbildung (3) zur verstromten Methanmenge Formel (2) berechnet sich das Restmethanpotenzial (Formel (4)).

$$\text{Restmethanpotenzial} [\%] = \frac{\text{Restmethanbildung} \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \right]}{\text{Verstromte_Methanmenge} \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \right]} \cdot 100\% \quad (4)$$

4 Ergebnisse und Bewertung

Anhand der in Kapitel 3 beschriebenen Analytik und Berechnungsgrundlagen werden die Ergebnisse der Gärtests und des berechneten Restmethanpotenzials dargestellt. Die 15 beprobten Biogasanlagen werden in Bezug auf die das Restmethanpotenzial wesentlich beeinflussenden Parameter Verweilzeit, der Anzahl der Fermenterstufen in Kombination mit dem Substratinput verglichen.

4.1 Gasbildungskurven

Die Gärverläufe der Gärtests aller einzelnen Biogasanlagen sind für eine bessere Übersicht mit den jeweiligen Anlagendaten im Anhang II dargestellt. Beispielhaft wird in diesem Abschnitt auf Ergebnisse der Gärtests von Biogasanlage 14 eingegangen. Abb. 2 zeigt die Methanausbeute der drei einzelnen Batchversuche bei 20 °C sowie den daraus resultierenden Mittelwert. Die Kurven der Methanausbeute der drei Ansätze verlaufen einheitlich. Insgesamt sind nach 60 Tagen bei diesem Gärtest 1,25 Normliter Methan je kg Gärrest, bzw. 1,25 Normkubikmeter je Tonne entstanden. Über die 60 Tage wird kontinuierlich Methan produziert. Die Methanbildung ist bei 20 °C nach 60 Tagen nicht abgeschlossen. Das Bildungspotenzial ist noch nicht erreicht.

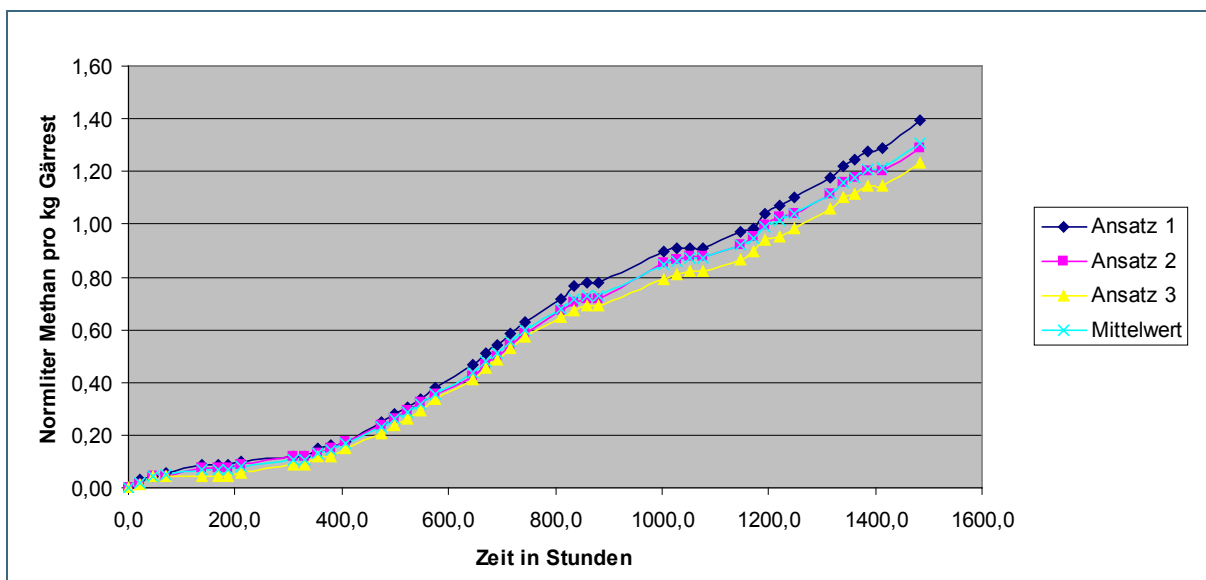


Abb. 2: Verlauf der Methanausbeute eines Gärtests im Dreifachansatz bei 20°C über 60 Tage

Im Gegensatz dazu nimmt bei einer Temperatur von 40 °C (Abb. 3) die kontinuierliche Methanproduktion nach ca. 40 Tagen ab. Die Methanproduktion kommt schließlich fast zum Erliegen. Die für die Bakterien wesentlich besseren Lebensbedingungen bei 40°C führen dazu, dass das noch verwertbare organische Material vollständig abgebaut wird. Insgesamt werden in diesem Beispiel bei 40 °C über 60 Tage hinweg 5,33 Normliter Methan je kg Gärrest gebildet.

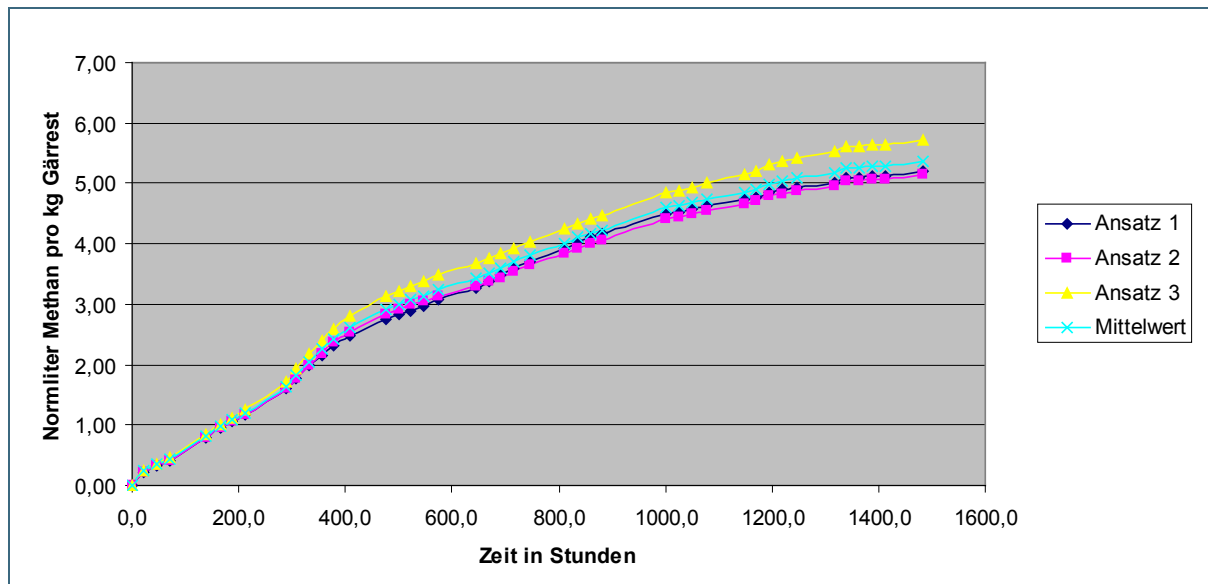


Abb. 3: Verlauf der Methanausbeute eines Gärtests im Dreifachansatz bei 40°C über 60 Tage

In beiden Diagrammen kann beobachtet werden, dass die Methanbildung erst zögerlich erfolgt und sich nach Anpassung der Bakterien schnell verstärkt. Die Methanproduktion findet kontinuierlich, in den ersten zwei Wochen noch verlangsamt statt. Die anfängliche geringe Methanbildung ist auf die durch den Transport des Gärrests gekühlten und damit gehemmten methanbildenden Bakterien zurückzuführen. Diese benötigen Zeit, um sich auf die neuen Umgebungsbedingungen einzustellen. Thermophile Bakterien, die aus Fermenten mit hohen Temperaturen stammen stellen sich deutlich langsamer auf die neuen Bedingungen ein. Die Charakteristika der Methanbildungskurven bei 20 °C und 40 °C sind bei fast allen Biogasanlagen zu beobachten (siehe Anhang II).

4.2 Restmethanausbeute und -potenzial

Abb. 4 zeigt die Methanausbeuten der Gärtests bei 20 °C und 40 °C aller untersuchten Biogasanlagen, aufsteigend sortiert nach den Ergebnissen der 20 °C Gärtests. Die durchschnittliche hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem, inklusive Nachgärer, liegt bei den markierten Biogasanlagen über 110 Tagen. Wie zu erwarten entsteht in einem Gärtest bei 40°C deutlich mehr Methan als in einem Gärtest bei 20°C. Allerdings kann von der Methanausbeute bei der einen Temperatur nicht quantitativ auf die Ausbeute bei der anderen Temperatur geschlossen werden. Im Vergleich zu den Methanausbeuten bei 20°C differenzieren die 40 °C – Gasausbeuten der verschiedenen Biogasanlagen stark. Zur besseren Übersicht sind die Ergebnisse in Tab. 3 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengefasst. Abb. 5 zeigt das nach Formel 3 berechnete Restmethanpotenzial bei 20°C und 40°C, aufsteigend sortiert nach dem Restmethanpotenzial bei 20°C

Bei Vergleich von Abb. 4 (Methanausbeute der Gärrestprobe) und Abb. 5 (berechnetes Restmethanpotenzial) stimmt die Reihenfolge der nach dem jeweiligen „20°C-Wert“ sortierten Biogasanlagen nicht überein. Beispielsweise berechnet sich für Biogasanlage Nr. 10 trotz einer vergleichsweise geringen

Methanausbeute im Gärtest ein hohes Restmethanpotenzial von 2 % bzw. 9,7 %. Der gegenteilige Effekt tritt bei Biogasanlage Nr. 4 auf. Grund ist, dass die Berechnungsformel mit Bezug auf die pro Stunde verstromte Methanmenge die Effizienz des Biogasprozesses berücksichtigt (siehe Kapitel 4.3.2).

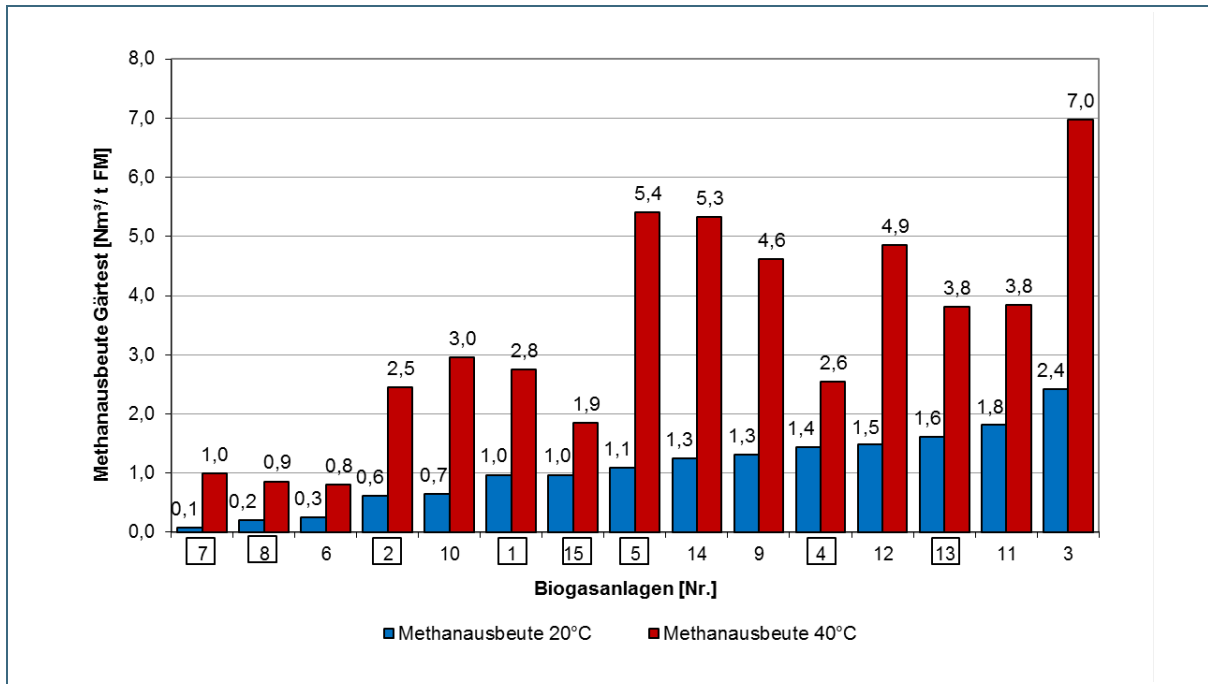


Abb. 4: Methanausbeuten der Gärtests bei 20°C und 40°C, aufsteigend sortiert nach der **Methanausbeute** von 20°C, markierte Biogasanlagen mit einer Verweilzeit im beheizten System > 110 Tage

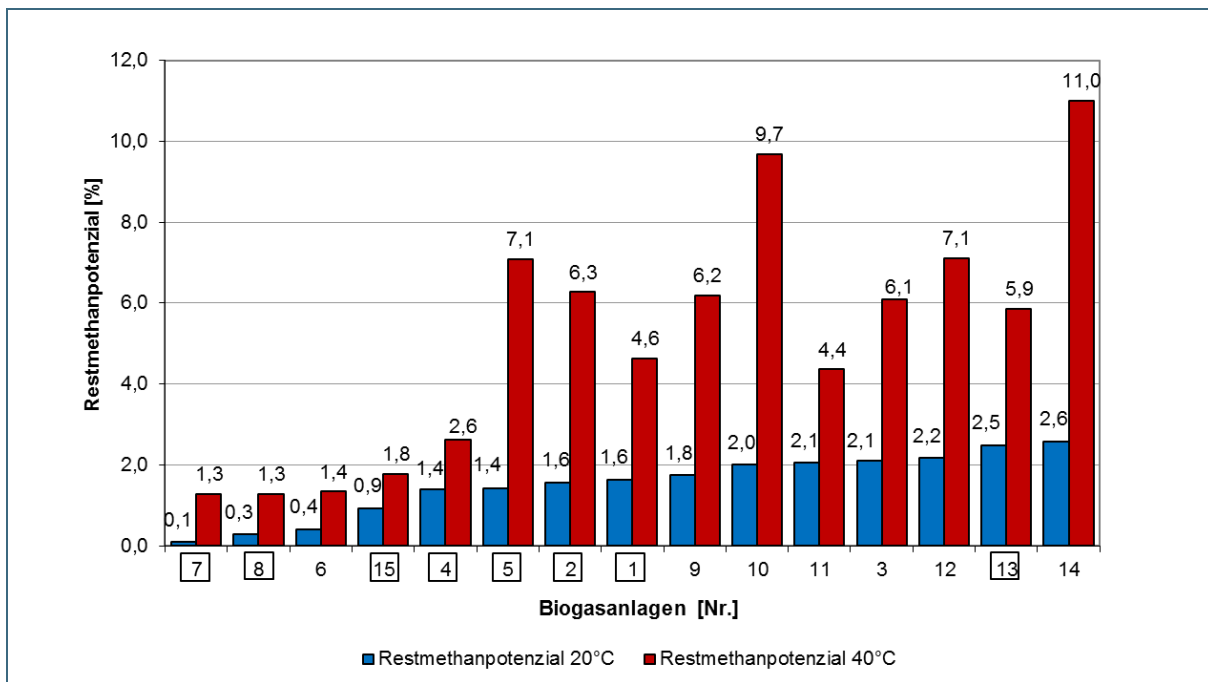


Abb. 5: Berechnetes Restmethanpotenzial aus den Ergebnissen der Gärtests bei 20°C und 40°C, aufsteigend sortiert nach dem **Restmethanpotenzial** bei 20°C, markierte Biogasanlagen mit einer Verweilzeit im beheizten System > 110 Tage

	Methanausbeute [Normliter/kg Gärrest]		Restmethanpotenzial [%]	
	20 °C	40° C	20 °C	40° C
Maximum	2,42	6,97	2,59	11
Minimum	0,08	0,8	0,1	1,28
Durchschnitt	1,07	3,34	1,53	5,11
Standardabweichung	0,65	1,85	0,78	3,04

Tab. 3:
Methanausbeuten und berechnete Restmethanpotenziale aus den Gärtests bei 20°C und 40°C

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass Biogasanlagen mit einem Restmethanpotenzial größer 1,5 % bei 20 °C in der Regel noch ein nutzbares Potenzial zur Effizienzsteigerung haben. Das tatsächlich nutzbare Potenzial wird allerdings erst bei Gärtests bei 40 °C sichtbar. Für den Vollzug eignet sich in jedem Fall jedoch die Durchführung der Gärtests bei 20 °C entsprechend den Vorgaben Richtlinie VDI 3475, Blatt 4, u. a. auch da die Standardabweichung des Restmethanpotenzials bei 40 % mit 3,04 % gegenüber der Standardabweichung bei 20 % von 0,78 % deutlich höher ist.

4.3 Vergleich der Biogasanlagen

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des Restmethanpotenzials der 15 untersuchten Biogasanlagen anhand ihrer Verweilzeit, ihrer verfahrenstechnischen Stufen und hinsichtlich ihres Substratinputs verglichen.

4.3.1 Verfahrenstechnik (Verweilzeit und beheizte Stufen)

Abb. 6 und Abb. 7 zeigen das Restmethanpotenzial bei 20°C und 40°C in Abhängigkeit der Verweilzeit im gasdichten System mit den jeweiligen beheizten Fermenterstufen. Ein klarer Zusammenhang zwischen Restmethanpotenzial und Verweilzeit lässt sich nicht ableiten. Demnach beeinflussen weitere Faktoren das Restmethanpotenzial, wie zum Beispiel Zahl der Fermenterstufen, Substratinput oder Rührtechnik..

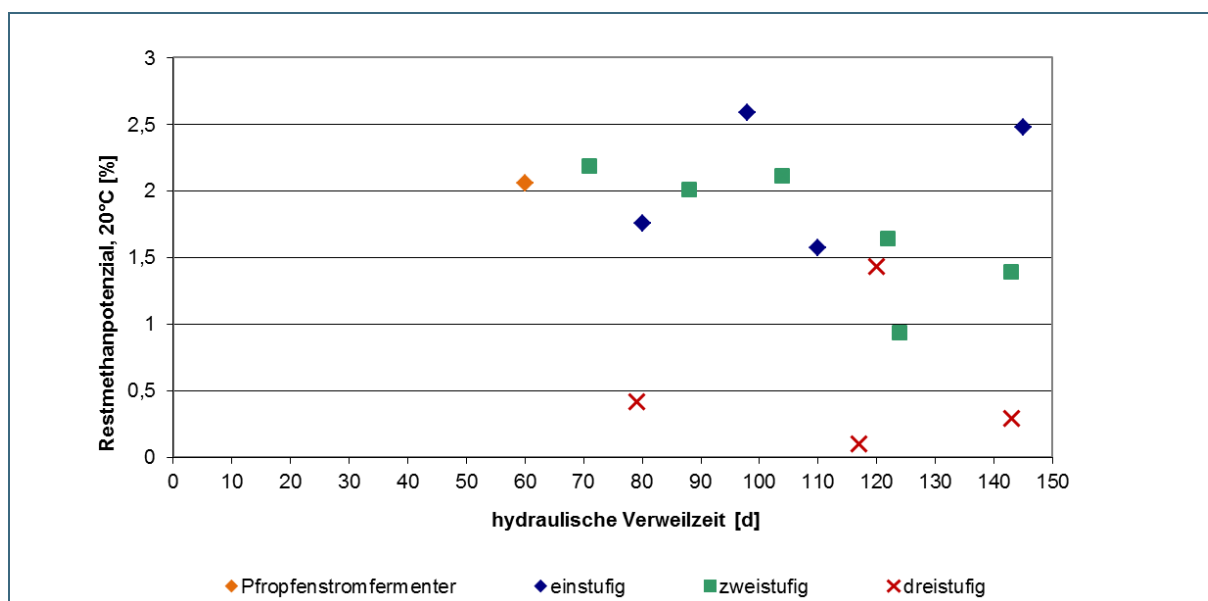


Abb. 6: Restgaspotenzial bei 20°C in Abhängigkeit von der Verweilzeit im gasdichten System und der verfahrenstechnischen Stufen der Biogasanlagen

Das Restmethanpotenzial bei 20°C liegt bei allen dreistufigen Biogasanlagen unter den in der Richtlinie geforderten 1,5 %. Bei zweistufigen Anlagen trifft die Aussage zu, dass das Restgaspotenzial bei einer längeren Verweilzeit abnimmt. Bei einstufigen Anlagen wird in der Tendenz das Restmethanpotenzial überschritten.

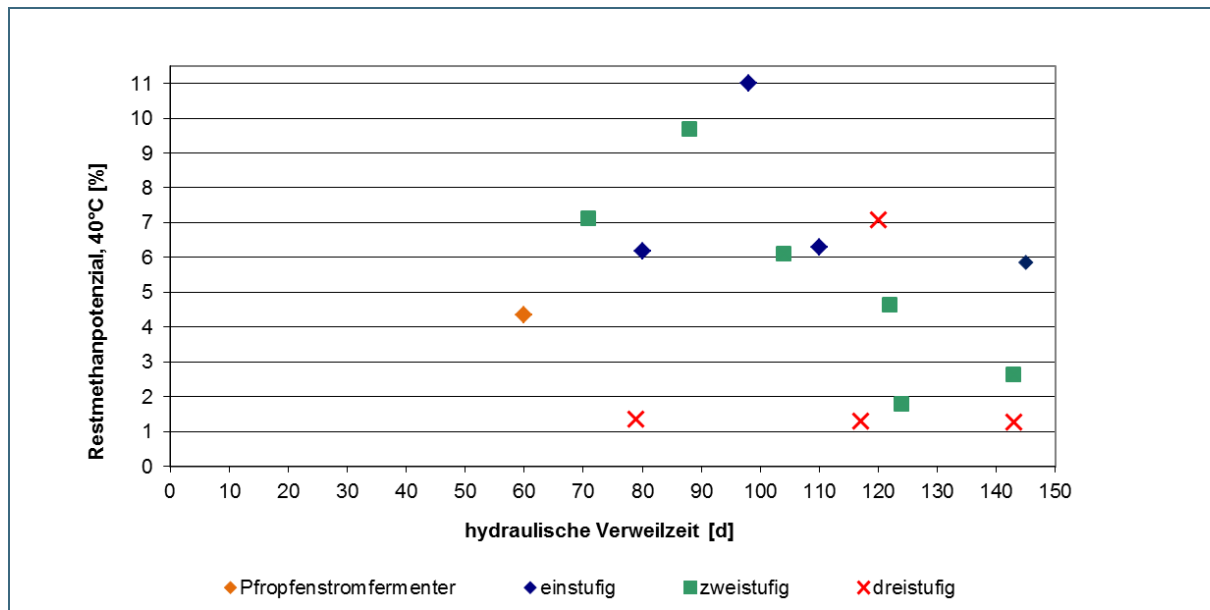


Abb. 7: Restgaspotenzial bei 40°C in Abhängigkeit von der Verweilzeit im gasdichten System und der verfahrenstechnischen Stufen der Biogasanlagen

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass lange Verweilzeiten im gasdichten System und mehrere verfahrenstechnische Stufen einer Biogasanlage zu geringen Restmethanemissionen und einer besseren die Nutzung des energetischen Potenzials des Substrats beitragen können.

4.3.2 Substratinput

Die Art des in einer Biogasanlage eingesetzten Substrats bestimmt die verfahrenstechnischen Merkmale sowie den Gasertrag je Tonne Substrat für die energetische Nutzung. Die Methanausbeute je Kubikmeter Gülle ist durch den niedrigen TS- Gehalts im Vergleich zu NawaRos geringer. In Abb. 8 und Abb. 9 werden die Methanausbeute im Gärtest und das berechnete Restgaspotenzial in Abhängigkeit des oTS-Gehalts dargestellt. Tendenziell verursacht ein hoher Gülle-Anteil (niedriger oTS-Gehalt) im Gärtest niedrige Methanausbeuten bei 20° C und damit niedrige Methanemissionen bei offener Gärrestlagerung.

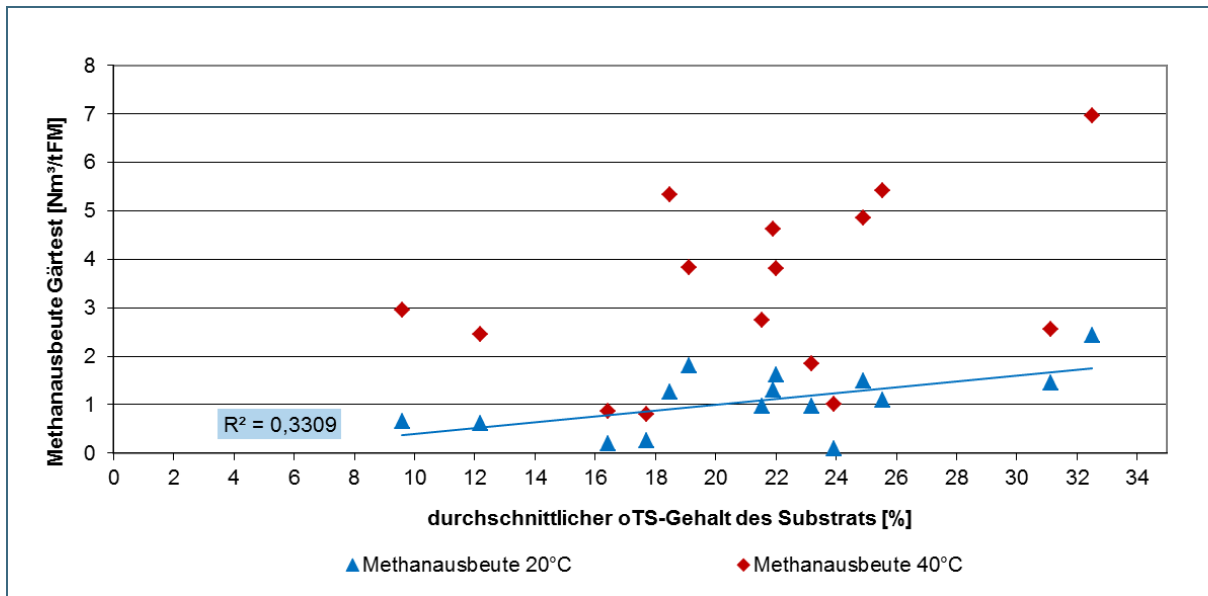


Abb. 8: **Methanausbeute** in Abhängigkeit vom durchschnittlichen oTS-Gehalt des Substratinputs und linearer Regressionslinie mit Bestimmtheitsmaß R^2

Bei Berechnung des Restmethanpotenzials nach RL-VDI 3475 Blatt 4 ist keine Abhängigkeit vom oTS erkennbar. Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist fast Null.

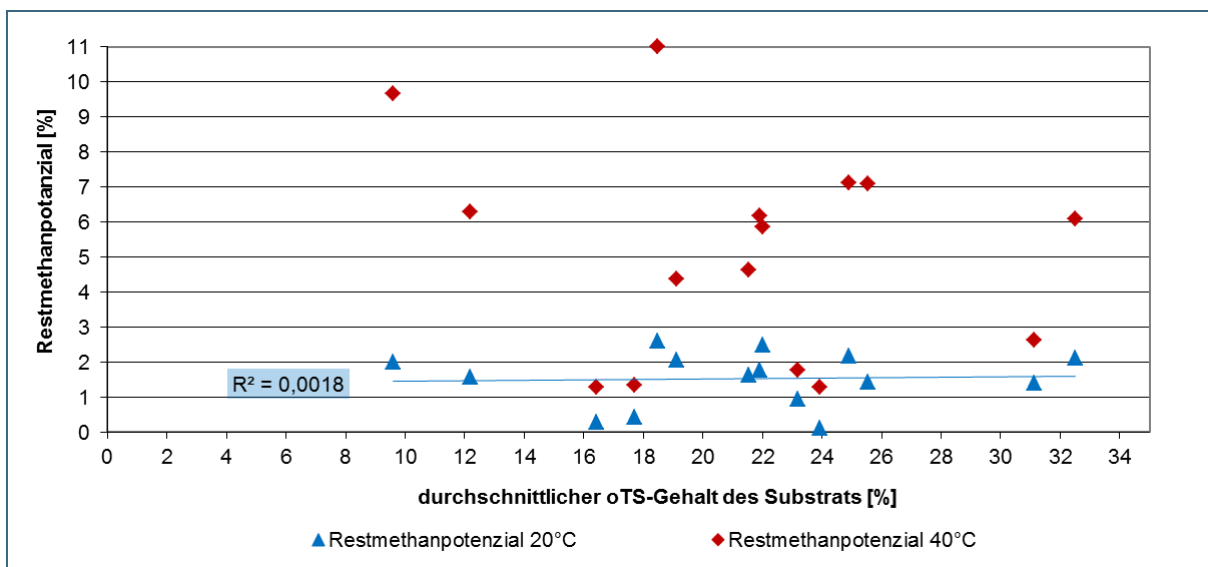


Abb. 9: **Restmethanpotenzial** in Abhängigkeit vom durchschnittlichen oTS-Gehalt des Substratinputs und linearer Regressionslinie mit Bestimmtheitsmaß R^2

Für eine güllebasierte Biogasanlage berechnet sich ein höheres Restmethanpotenzial bei gleichzeitig geringeren absoluten Emissionen im Vergleich zu einer NawaRo – Anlage mit gleicher Einsatzstoffmenge. Dies ist in Abb. 4 und Abb. 5 in Abschnitt 4.2 durch die unterschiedliche Reihenfolge in der Sortierung Restgaspotenzials erkennbar. Deshalb muss bei diesen Anlagen bei Überschreiten eines Restmethanpotenzials von 1,5 % die Verhältnismäßigkeit von Verbesserungsmaßnahmen in Bezug zu Substratinput und Methanausbeute im Gärtest stehen.

5 Diskussion

In der Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 zum Nachweis eines geringen Restmethanpotenzials ist die Methodik wie die Restmethanbildung ermittelt und das Restmethanpotenzial berechnet wird nicht exakt definiert. Die Untersuchung zeigt, dass das Ergebnis des Restmethanpotenzials von der Vorgehensweise bei der Durchführung eines Gärtests und der Berechnung abhängt.

5.1 Probenahme

Es ist davon auszugehen, dass schon die Art der Probenahme und die Art und Dauer des Transports der Gärrestprobe zum analytischen Labor das Ergebnis des Gärtests beeinflussen. Inwieweit sich die Probenahme quantitativ auf das Ergebnis auswirkt, wird im Rahmen des Projekts nicht abgeschätzt.

Für eine repräsentative Gärrestprobe sollte unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten eine Zapfprobe am Überlauf vom gasdichten System in das offene Gärrestlager genommen werden. Dazu ist vorher der in der Leitung stehende Gärrest zu verwerfen. Da die Probe nur stichpunktartig erfolgt, lässt der Gärtest Rückschlüsse auf den Zeitraum zu, in dem keine Änderungen in der Betriebsweise erfolgen und die der Berechnung zugrunde liegenden Substratmengen der Biogasanlage zugeführt werden.

5.2 Analytik

Die biologischen Prozesse bei einem Gärtest im Labor sind immer einer Schwankungsbreite unterworfen. Durch Mehrfachansätze wird der analytische Fehler minimiert. Bei der in der Richtlinie geforderten Temperatur von 20 °C treten zwischen den Ansätzen größere Abweichungen auf als bei 40 °C (siehe die Gärverläufe in Anhang II). Die Schwankungsbreite des Gärtests, insbesondere wenn ein Zweifachansatz durchgeführt wurde, ist bei der Bewertung und dem Vergleich des Restmethanpotenzials einer Biogasanlage mit dem in der Richtlinie-VDI 3475 Blatt 4 genannten Wert von 1,5 % zu berücksichtigen.

5.3 Berechnungsmethode

Die die Biogasanlage verlassende Gärrestmenge ist geringer als die Substratmenge. Die organischen Bestandteile des Substrats werden zu Biogas abgebaut, so dass eine Massenreduktion des ursprünglich in die Anlage zugeführten Substrats stattfindet. Teilweise wird auch bei Anlagen mit hohem TS-Gehalt zur Prozesssteuerung und/oder Volumenreduktion durch Separation fester Gärrest aus dem Anlagensystem frühzeitig ausgezogen.

Die beschriebene Berechnung (Formel 1 bis 4) orientiert sich an den Definitionen der Richtlinie VDI 3475 Blatt 4. Die notwendigen Eingangsdaten sind in der Regel auf jeder Biogasanlage bekannt. Der organische Abbau zur Biogasbildung wird nicht berücksichtigt.

In dieser Untersuchung sind die oTS-Gehalte von Substrat und Gärrest bekannt. Über die Differenz des oTS-Gehalts von Substratinput und Gärrest oder auch über die verstromte Methanmenge kann der Massenverlust nach Anhang I bestimmt werden. Das Restmethanpotenzial von NawaRo-Anlagen mit hohen oTS-Gehalten verringert sich bei Berücksichtigung des organischen Abbaus um bis zu 25 %. Allerdings stellen auch auf diese Weise berechnete Restmethanpotenziale in keiner Weise die tatsächlich auftretenden Emissionen aus dem Gärrestlager dar.

Als Hilfsmittel im immissionsschutztechnischen Vollzug sollte deshalb die Berechnung des Restmethanpotenzials auf den Definitionen in der Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 basieren. Dies entspricht einer für die Praxis geeigneten Konvention. Ein wissenschaftlicher Ansatz ist hier nicht zielführend.

6 Fazit und Hinweise für den Vollzug

Die Durchführung von Gärtests bei 20 °C und 40 °C mit Berechnung des Restmethanpotenzials an 15 bayerischen Bestands-Biogasanlagen mit offener Gärrestlagerung zeigen, dass die Regelung in Kapitel 4.3.3.2 der Richtlinie VDI 3475 Blatt 4, ein anwendbares Hilfsmittel zur Emissionsminderung ist. Biogas-Labordienstleister bieten zunehmend standardisiert eine analytische Restgasbestimmung an. Die Untersuchung hat aber auch gezeigt, dass das Ergebnis mit Unsicherheiten behaftet ist, die insbesondere durch die Berechnungsmethode entstehen.

Der Gärtest und die Berechnung des Restmethanpotenzials eignen sich, um die Effizienz des Biogasprozesses, die Ausnutzung des energetischen Potenzials des Substrats und damit die Restmethanemissionen einschätzen zu können. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es sich bei dem „Nachweis des Restmethanpotenzials von kleiner 1,5 % der in der Biogasanlage pro Stunde gebildeten Methanmenge“ um eine Konvention und ein Hilfsmittel im Vollzug zur Reduzierung schädlicher Klimagasemissionen handelt. Ein Gärtest bildet nicht die tatsächlichen Emissionen des offenen Gärrestlagers ab.

Der Vergleich des berechneten Restmethanpotenzials mit dem Wert von 1,5 % der o.g. VDI-Richtlinie sollte immer in Verbindung mit den absoluten Methanausbeuten im Gärtest, der gesamten Anlagenkonfiguration, dem Substratinput und den vorgenommenen Annahmen in der Berechnung erfolgen. Insbesondere ist zwischen auf Gülle basierenden Anlagen und NawaRo-Anlagen zu differenzieren.

Die Forderung nach einem Gärtest soll für den Betreiber ein Anreiz sein, geeignete Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und zur Emissionsminderung klimarelevanter Gase durchzuführen. In dieser Untersuchung liefert der Gärtest bei 20 °C dafür geeignete Anhaltspunkte.

Abb. 10 zeigt, dass bei einem Restmethanpotenzial über 1,5 % noch ein energetisches Potenzial im Gärrest von über 4 % nutzbar ist.

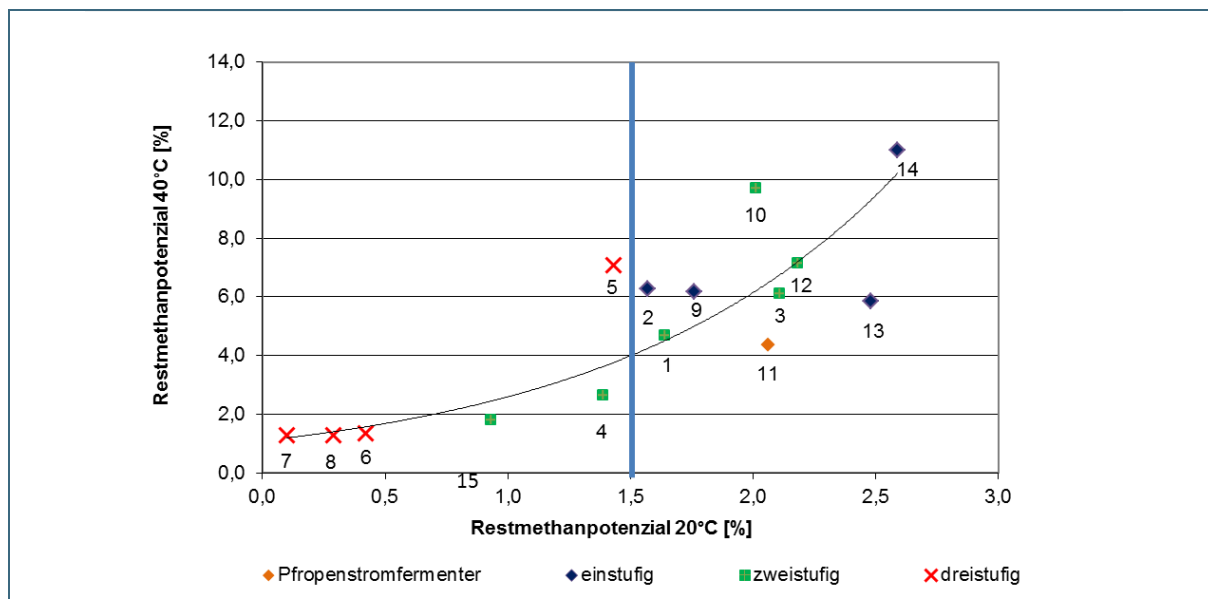


Abb. 10: Restmethanpotenzial bei 20 °C in Beziehung zum Restmethanpotenzial bei 40 °C mit jeweiliger Biogasanlagennummer und Fermenterstufigzahl.

Im Gärtest bei 20 °C lässt die nicht abflachende Methanbildungskurve vermuten, dass der Abbauprozess des organischen Materials auch nach 60 Tagen noch nicht abgeschlossen ist. Die Bakterien bilden noch Methan. Das Endergebnis des Gärtests bei 20 °C über 60 Tage hängt also nur bedingt vom Gesamtüberschuss an noch vergärbare Substanz ab. Je nach Größe der Anlage sind Optimierungsmaßnahmen für den Betreiber auch von hohem wirtschaftlichem Interesse, wie das Beispiel in Tab. 4 zeigt:

Tab. 4: Wirtschaftliche Vorteile bei Maßnahmen zur Emissionsminderung

Beispiel-Biogasanlage		
Einsatzstoffe: NawaRo, Gülle (ca. 30 Massenprozent); vergütet mit 21 ct/kWh nach EEG 2009; BImSchG-pflichtig seit 01.06.2012; ein gasdichtes Gärrestlager, ein offenes Gärrestlager, hydraulische Verweilzeit im gasdichten System kleiner 150 Tage		
installierte elektrische Leistung	300	kW
jährliche Stromspeisung	2.376.000	kWh
jährliche Vergütung	498.960	€
Möglicher Mehrerlös aus emissionsmindernden Maßnahmen und besserer Ausnutzung des Substrats		
1,5 % nutzbares Methanpotenzial		
zusätzlich jährliche Vergütung	7.484	€
4 % nutzbares Methanpotenzial		
zusätzlich jährliche Vergütung	19.958	€

Deshalb empfehlen wir dringend zusätzlich einen Gärtest bei 40 °C durchzuführen um das tatsächlich noch nutzbare Potenzial zu ermitteln. Auf dieser Grundlage kann abgeschätzt werden, welche Maßnahmen verhältnismäßig sind. Neben einer Abdeckung des Gärrestlagers kommen zum Beispiel der Einbau einer zusätzlichen beheizten Stufe oder die Verbesserung der Rührtechnik in Frage. Auch die Reduzierung des Substratinputs zur Verlängerung der Verweilzeit im beheizten System stellt eine Maßnahme dar. In der Praxis sollte deshalb zusätzlich die Gasausbeute bei 40° C über 60 Tage ermittelt werden.

In der Untersuchung lag das Restmethanpotenzial bei fünf Anlagen unter dem vorgegebenen Wert von 1,5 %. Die niedrigsten Methanausbeuten im Gärtest und errechneten Restmethanpotenziale sowohl bei 20 °C als auch bei 40 °C weisen Biogasanlagen mit drei beheizten Stufen, einer hohen Temperatur im Fermenter und einer langen durchschnittlichen hydraulischen Verweilzeit der Substrate im beheizten System auf.

Literaturverzeichnis

FNR, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. [Hrsg.] (2005): Ergebnisse des Biogasmessprogramms, Gülzow

FNR, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. [Hrsg.] (2009): Biogasmessprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich, Gülzow

Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Gesetzestextes mit den Änderungen durch das „Gesetz zur Änderung des Rechtsrahmens für Strom aus solarer Strahlungsenergie und weiteren Änderungen im Recht der erneuerbaren Energien“ (sog. PV-Novelle),

http://www.erneuerbareenergien.de/fileadmin/eeimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_konsolidierte_fassung_120629_bf.pdf (Abruf am 27.06.2013)

Richtlinie VDI 3475 Blatt 4 (August 2010): „Emissionsminderung - Biogasanlagen in der Landwirtschaft – Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger“

Richtlinie VDI 4630 (April 2006): „Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche“

www.lfl.bayern.de, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), (Abruf am 27.06.2013)

Anhang I Berechnungsmethode mit Berücksichtigung des organischen Abbaus

Berechnung des Masseverlustes über die Inputanalyse

Anhand der Abnahme des oTS Gehalts kann der Massenverlust berechnet werden. Der oTS_o (Organischer Trockenrückstand des Outputs = Gärrest) und der oTS_i (durchschnittlicher organischer Trockenrückstand des Inputs = Substrat) auf die stündliche Inputmenge bezogen.

$$\text{Massenverlust} \left[\frac{t}{h} \right] = \left(\frac{oTS_i [\%]}{100} - \frac{oTS_o [\%]}{100} \right) \cdot \text{Inputmenge} \left[\frac{t}{h} \right] \quad (5)$$

Berechnung des Masseverlustes über die verstromte Methanmenge

Alternativ kann der Massenverlust auch über die verstromte Methanmenge errechnet werden. Zur Vereinfachung wird bei der Berechnung von idealen Gasen ausgegangen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass neben Methan nur Kohlendioxid entsteht. V_m entspricht dem molaren Volumen unter Normbedingungen. Der Heizwert von Methan beträgt 9,97 kWh pro Kubikmeter im Normzustand.

$$\text{Massenverlust} \left[\frac{t}{h} \right] = \frac{\text{Verstromte_Methanmenge} \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot 100}{\text{Methan_Gehalt} [\%] \cdot V_m \left[\frac{m^3}{mol} \right]} \cdot \left(M(CH_4) \left[\frac{t}{mol} \right] \cdot \frac{CH_4 [\%]}{100} + M(CO_2) \left[\frac{t}{mol} \right] \cdot \left(100 - \frac{CH_4 [\%]}{100} \right) \right) \quad (6)$$

Restmethanpotenzial unter Berücksichtigung des Masseverlusts

Wird der Massenverlust für die Berechnung des Restmethanpotenzials herangezogen, vermindert sich das Restmethanpotenzial.

$$R_{\text{estmethanpotenzial_korrigiert}} [\%] = R_{\text{estmethanpotenzial}} [\%] \cdot \left(\frac{\text{Inputmenge} \left[\frac{t}{h} \right] - \text{Massenverlust} \left[\frac{t}{h} \right]}{\text{Inputmenge} \left[\frac{t}{h} \right]} \right) \quad (7)$$

Anhang II Biogasanlagendaten

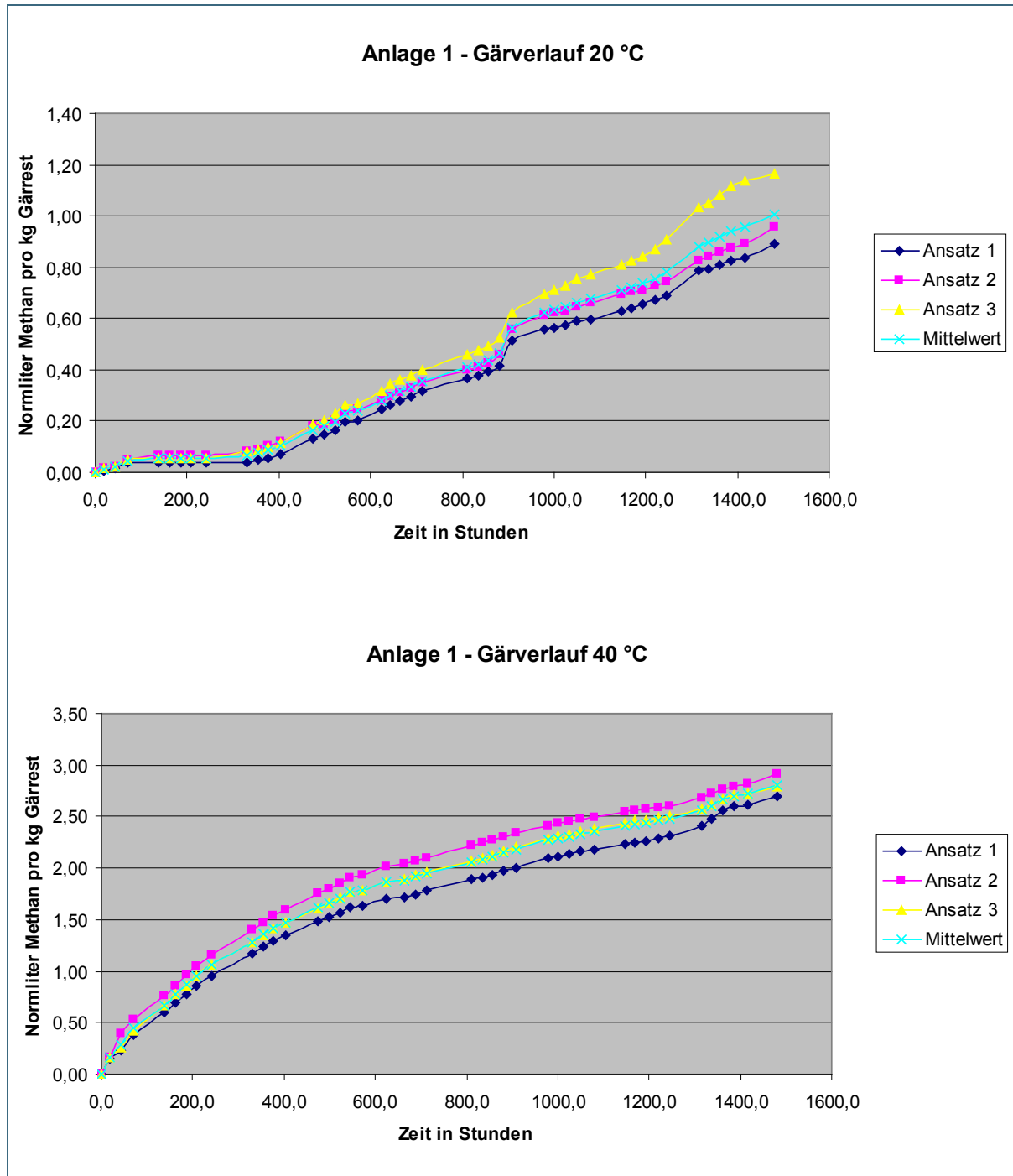


Abb. 11: Biogasanlage 1 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 5: Biogasanlage 1, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	12.12.2011
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's als Schöpfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	4	t/d	
Gras	4	t/d	
Rindergülle	9	m³/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	KW	159	Verlauf über einen Monat konstant
Motortyp	KW	180	Gasmotor, Marke Deutz
Wirkungsgrad BHKW	%	38	
Methangehalt	%	53	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	39	1800	92
Nachgärer	39	450	92
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	122	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Gras	Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	32,2	41,3	13,9
Wassergehalt %	OS	67,8	58,7	86,1
o-TS (550°C) %	OS	31,0	37,2	10,4
Verhältnis o-TS/TS %	OS	96,3	90,1	74,8

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	8	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	5,3	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	66,3	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,9	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	62	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	62	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	4.300	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	3.300	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	8,4	7,2
o-TS (550°C)	%	OS	5,4	4,4
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	64,5	61,7
pH-Wert		W/E	7,8	8,2
Essigsäure	mg/kg	OS	900	<50
Propionsäure	mg/kg	OS	70	<50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	957	-/-
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	6.000	5.800
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	4.700	4.500

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	41,98		0,71

Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,97	2,75
Restmethanpotenzial in %	1,64	4,64

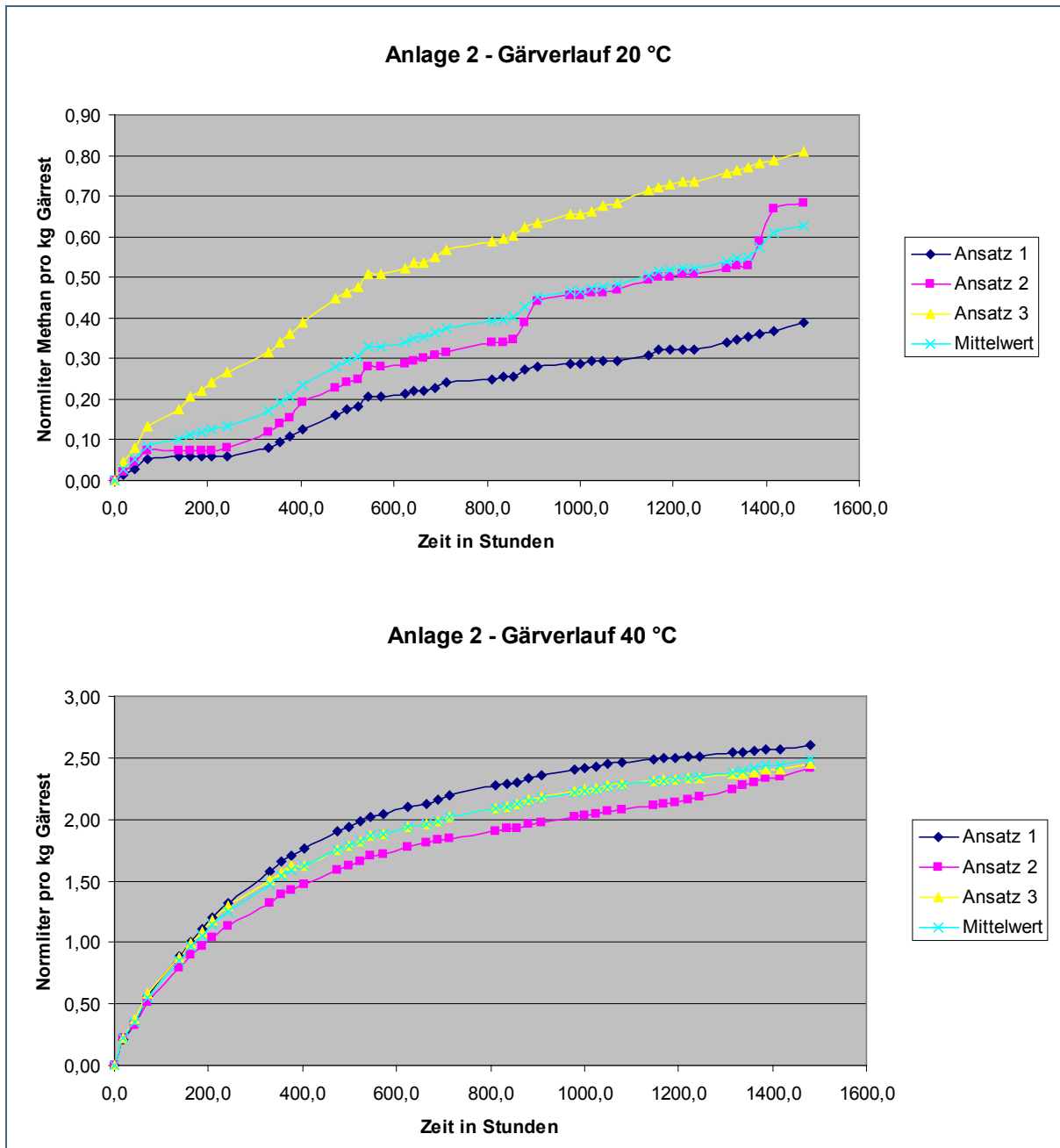


Abb. 12: Biogasanlage 2 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 6: Biogasanlage 2, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	12.12.2011
Probenahmestelle	Am Überlauf des Hauptfermenter als Schöpfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	0,3	t/d	über 3 Monate konstant
Gras	1,2	t/d	über 3 Monate konstant
Rindergülle	4,8	m³/d	über 3 Monate konstant

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	KW	35	Verlauf über einen Monat konstant
Motortyp	KW	38	
Wirkungsgrad BHKW	%	34,3	
Methangehalt	%	54	Schätzwert

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	42	770	90
Nachgärer	kein Nachgärer vorhanden		
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	110	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Gras	Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	33,8	33,9	9,2
Wassergehalt %	OS	66,2	66,1	90,8
o-TS (550°C) %	OS	32,5	29,0	6,7
Verhältnis o-TS/TS %	OS	49,1	43,9	7,4

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	7,8	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	4,9	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	63,3	max. 74 %
pH-Wert		W/E	8	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	110	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	110	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.700	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.900	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,2	6,8
o-TS (550°C)	%	OS	3,8	4,1
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	60,9	61,1
pH-Wert		W/E	7,8	8,2
Essigsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	<50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	-/-	-/-
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	4.700	5.400
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	3.600	4.200

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	10,24		0,26
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,61	2,45	
Restmethanpotenzial in %	1,57	6,28	

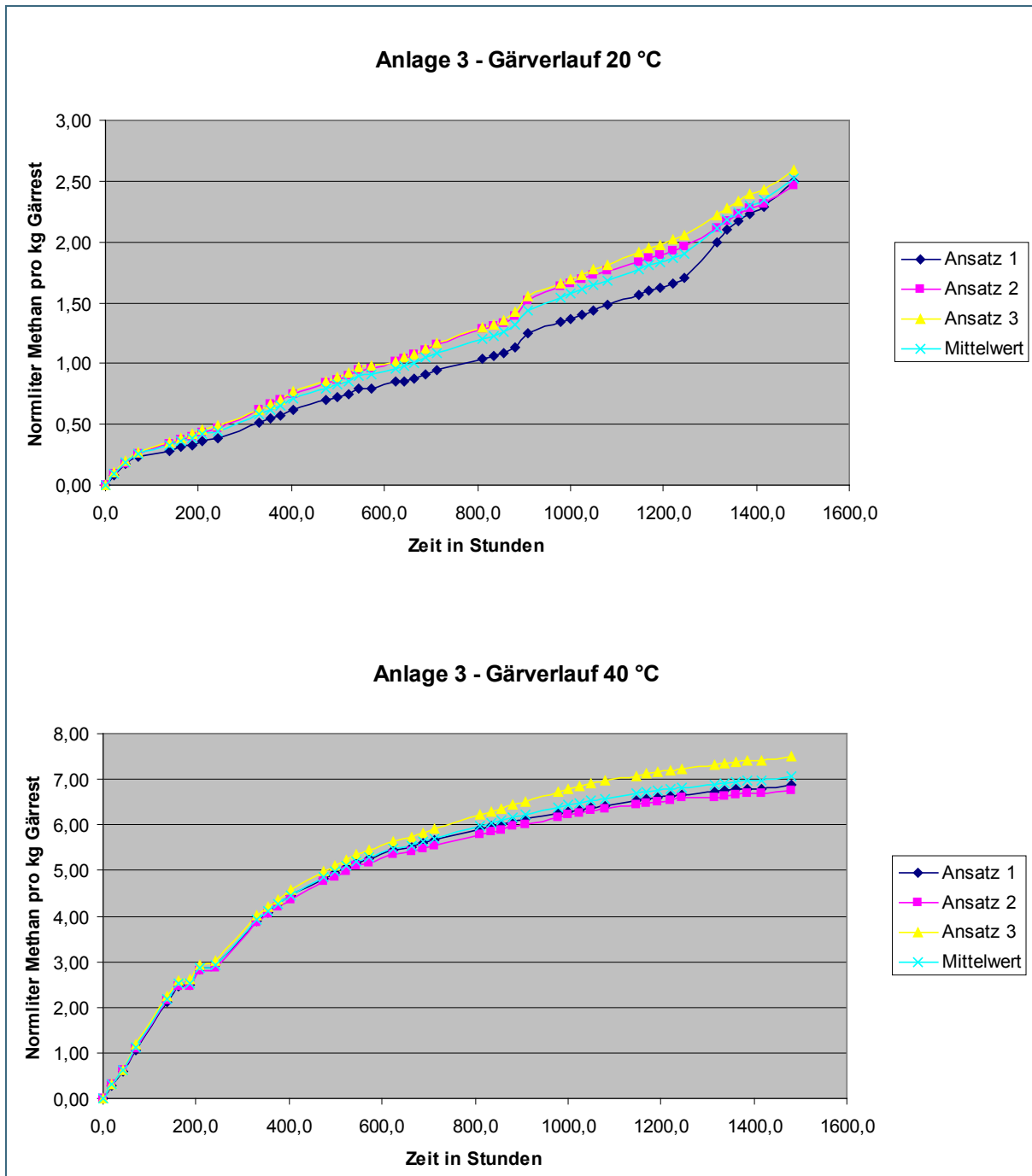


Abb. 13: Biogasanlage 3 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 7: Biogasanlage 3, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	12.12.2011
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's (Zapfprobe)

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	18,5	t/d	über 2,5 Monate konstant
Kleegras	0,7	t/d	über 2,5 Monate konstant

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	347	Verlauf über einen Monat konstant
Motortyp	kW	400	Gasmotor MAN
Wirkungsgrad BHKW	%	38	Schätzwert
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	42	400	89
Nachgärer	42	1800	91
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	104	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Kleegras
Trockenrückstand %	OS	34,4	22,0
Wassergehalt %	OS	65,6	78,0
o-TS (550°C) %	OS	33,0	19,3
Verhältnis o-TS/TS %	OS	50,3	24,7

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	8,9	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	7,2	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	81,2	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,7	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	280	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	280	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	1.800	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	1.400	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	8,3	7,8
o-TS (550°C)	%	OS	6,7	6
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	80,2	77,9
pH-Wert		W/E	7,5	8
Essigsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	<50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	-/-	-/-
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.600	3.700
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.000	2.900

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	91,61		0,80
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	2,42	6,97	
Restmethanpotenzial in %	2,11	6,09	

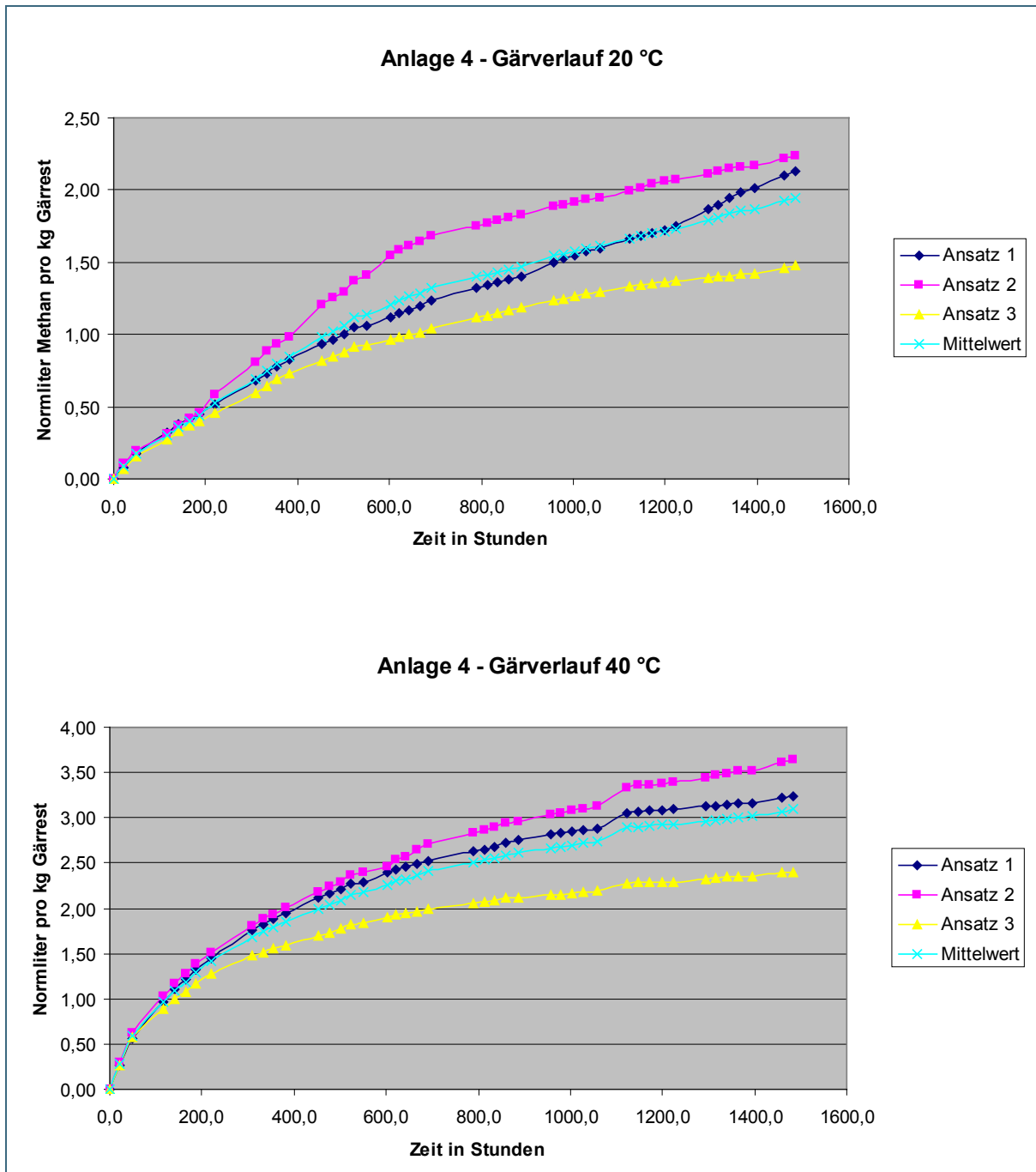


Abb. 14: Biogasanlage 4 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 8: Biogasanlage 4, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	13.12.2011
Probenahmestelle	Probenahme von der Plane des gasdichtem Endlagers als Schöpfprobe am 4. Tag der Auffüllung von 12-14 Tagen Verweilzeit

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	28	t/d	über 3,0 Monate konstant
Gras	8	t/d	über 3,0 Monate konstant
GPS	4	t/d	über 3,0 Monate konstant

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	620	Verlauf über einen Monat konstant
Motortyp	kW	720	2x 360 KW Gasmotoren MAN
Wirkungsgrad BHKW	%	38,5	
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
1. Hauptfermenter u. 2. Hauptf.	50	2500	87
1. Nachgärer u. 2. Nachgärer	50	2750	87
Gasdichtes Endlager	22	1800	87

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	114	Tag
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	39	Tag

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Gras	GPS
Trockenrückstand %	OS	35,9	23,9	30
Wassergehalt %	OS	64,1	76,1	70,0
o-TS (550°C) %	OS	34,5	20,7	28,4

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Wert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,2	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	4,5	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	72,6	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,7	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	810	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	100	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	891	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.300	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.600	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	7,1	5,5
o-TS (550°C)	%	OS	4,7	4
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	67,3	71,3
pH-Wert		W/E	7,6	8
Essigsäure	mg/kg	OS	100	90
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	61
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	100	139
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.500	3.400
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.700	2.600

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	161,56		1,67
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,39	2,55	
Restmethanpotenzial in %	1,44	2,63	

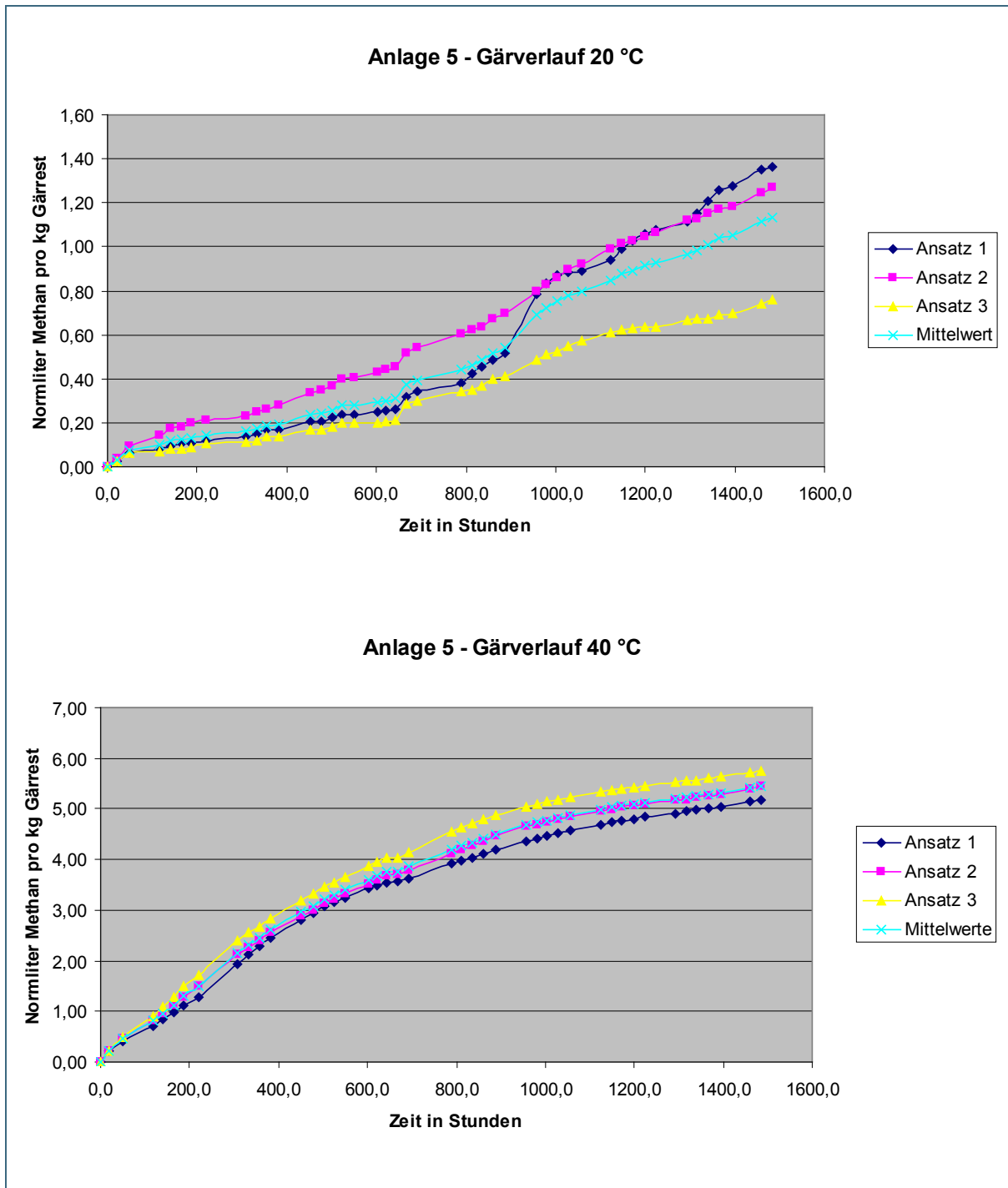


Abb. 15: Biogasanlage 5 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 9: Biogasanlage 5, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	13.12.2011
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's (vor dem Seperator, Zapfprobe) Fest-/Flüssigphasentrennung

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Silomais	23	t/d	Fütterung seit zwei Monaten
Zuckerrüben-Maisgemisch	1	t/d	konstant, vorher ausschließlich Mais
Schwein/Rindergülle	15	t/d	konstant

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	470	Verlauf über einen Monat konstant
Motortyp	kW	550	2 Gasmotoren MAN
Wirkungsgrad BHKW	%	38	Schätzwert
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
1. Hauptfermenter u. 2. Hauptf. Nachgärer	43	1900	90
Gasdichtes Endlager	43	1400	90

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	120	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Zuckerrüben- /Maisgemisch	Schweine- u. Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	40,1	33,7	7,1
Wassergehalt %	OS	59,9	66,3	92,9
o-TS (550°C) %	OS	38,6	30,9	5,2
Verhältnis o-TS/TS %	OS	64,4	46,6	5,6

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewerte	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	7,5	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	5,6	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	74,4	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,9	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	190	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	190	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.700	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.100	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,6	7
o-TS (550°C)	%	OS	4,9	5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	73,5	71,9
pH-Wert		W/E	7,5	7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	1.100	70
Propionsäure	mg/kg	OS	370	61
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	92	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	150	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	1.550	119
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	4.500	4.600
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	3.500	3.600

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	124,08		1,63

Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,09	5,41
Restmethanpotenzial in %	1,43	7,09

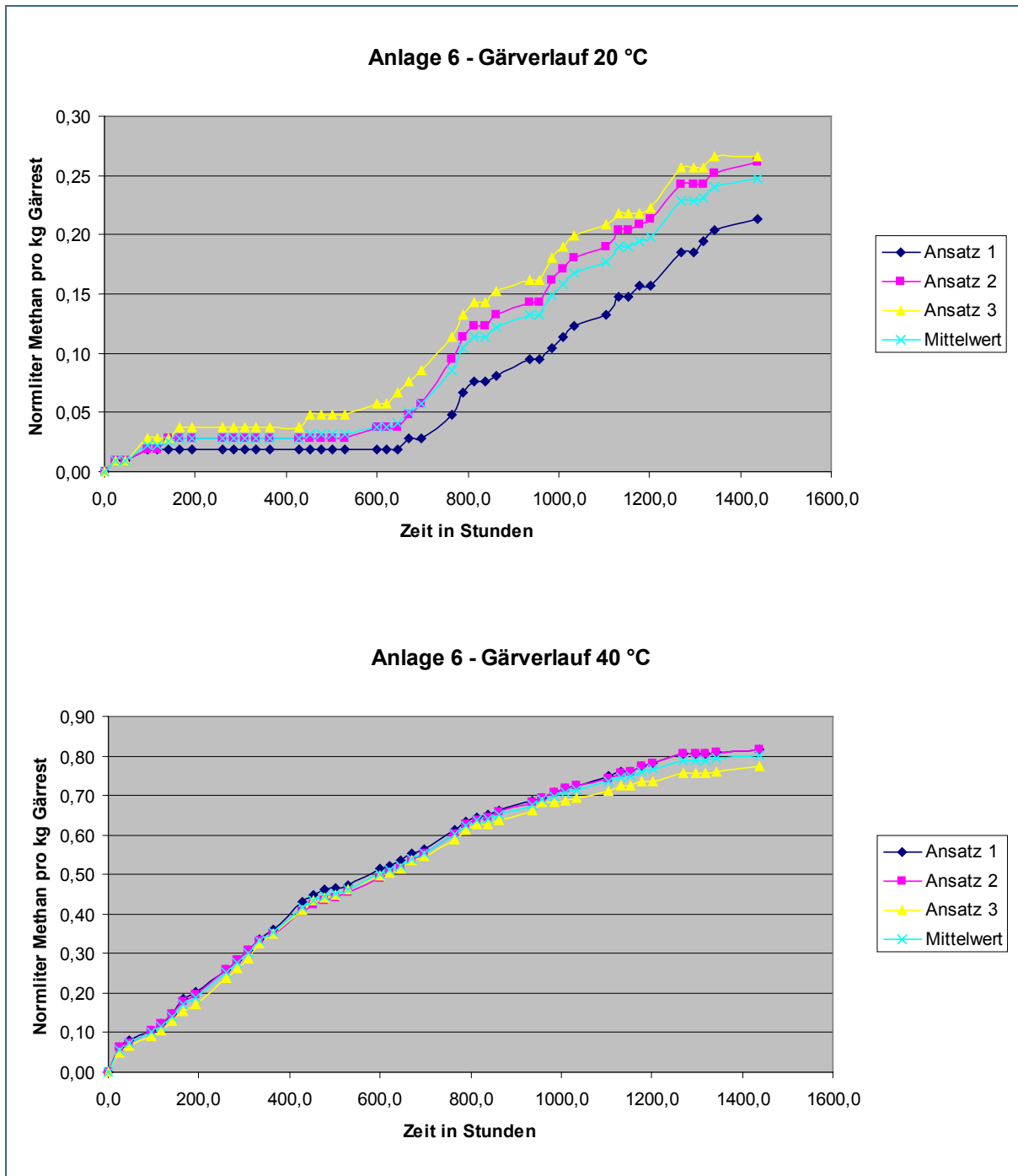


Abb. 16: Biogasanlage 6 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 10: Biogasanlage 6, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	10.01.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's (Schöpfprobe)

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	4,5	t/d	seit 6 Wochen konstant
Gras	11	t/d	vorher 2 t Mais und 2 t GPS
Rindergülle	13	m³/d	
Stallmist	1	t/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	306	konstant über 6 Monate
Motortyp	kW	2x220	
Wirkungsgrad BHKW	%	42	
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
1. Hauptfermenter u. 2. Hauptf. Nachgärer	42 / 47	1500 / 565	90
Gasdichtes Endlager	40	565	86
kein gasdichtes Endlager vorhanden			

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	79	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Gras	Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	33,7	32,2	9,2
Wassergehalt %	OS	66,3	67,8	90,8
o-TS (550°C) %	OS	32,2	26,3	6,7
Verhältnis o-TS/TS %	OS	95,5	81,7	72,8

iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	71	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	4.000	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	3.100	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	8,1	8
o-TS (550°C)	%	OS	4,9	4,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	60,2	56,6
pH-Wert		W/E	7,9	8,2
Essigsäure	mg/kg	OS	220	110
Propionsäure	mg/kg	OS	130	69
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	325	166
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.400	3.300
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.600	2.600

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	73,09		1,23
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,25	0,80	
Restmethanpotenzial in %	0,42	1,35	

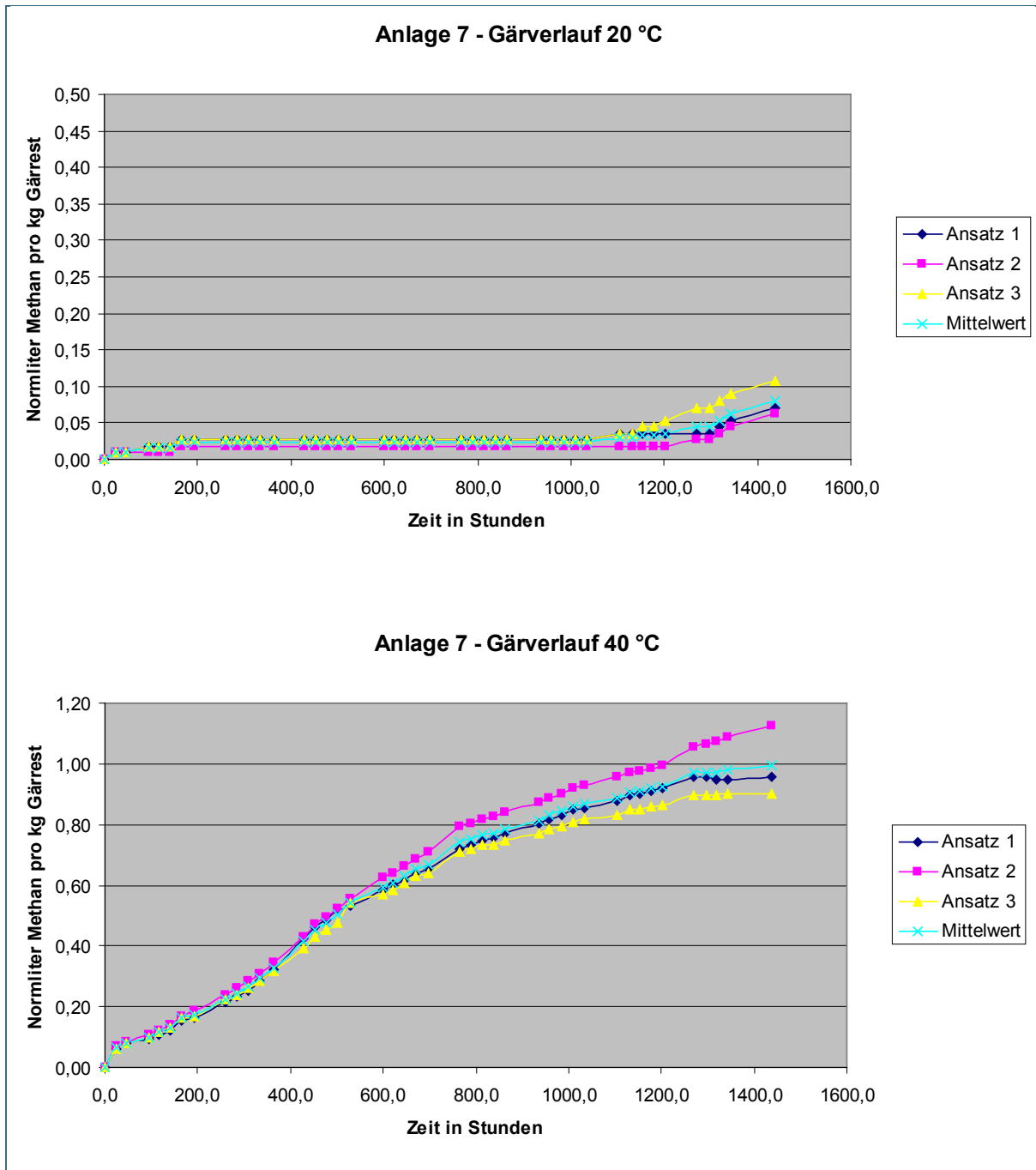


Abb. 17: Biogasanlage 7 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 11: Biogasanlage 7, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	10.01.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's als Schöpfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	16	t/d	Zugabe von Spurenelementen
Grünroggen	1	t/d	
Gras	1	t/d	
CCM	0,3	t/d	
Rindergülle	10	t/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	345	
Motortyp	kW	174/183	MDE 3066
Wirkungsgrad BHKW	%	38	Schätzwert
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	43	1000	90
Nachgärer	43	1000	90
Gasdichtes Endlager	39	2200	68 (schwankt)
hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem			64 Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager			53 Tage

Analyse der Inputmaterialien

	Mais (OS)	Grünroggen (OS)	Gras (OS)	Gülle (OS)
Trockenrückstand %	33,3	23,6	33,8	12,1
Wassergehalt %	66,7	76,4	66,2	87,9
o-TS (550°C) %	32,4	21,9	31,8	10,5
Verhältnis o-TS/TS %	97,3	92,8	94,1	86,8

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewerte	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,9	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	5,1	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	74,5	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,9	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	83	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	83	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.300	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.600	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,9	6
o-TS (550°C)	%	OS	5,1	4,3
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	74,9	71,4
pH-Wert		W/E	7,9	8,1
Essigsäure	mg/kg	OS	130	78
Propionsäure	mg/kg	OS	53	79
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	173	142
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.000	3.200
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.300	2.500

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	91,08		1,18
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,080	1,00	
Restmethanpotenzial in %	0,10	1,29	

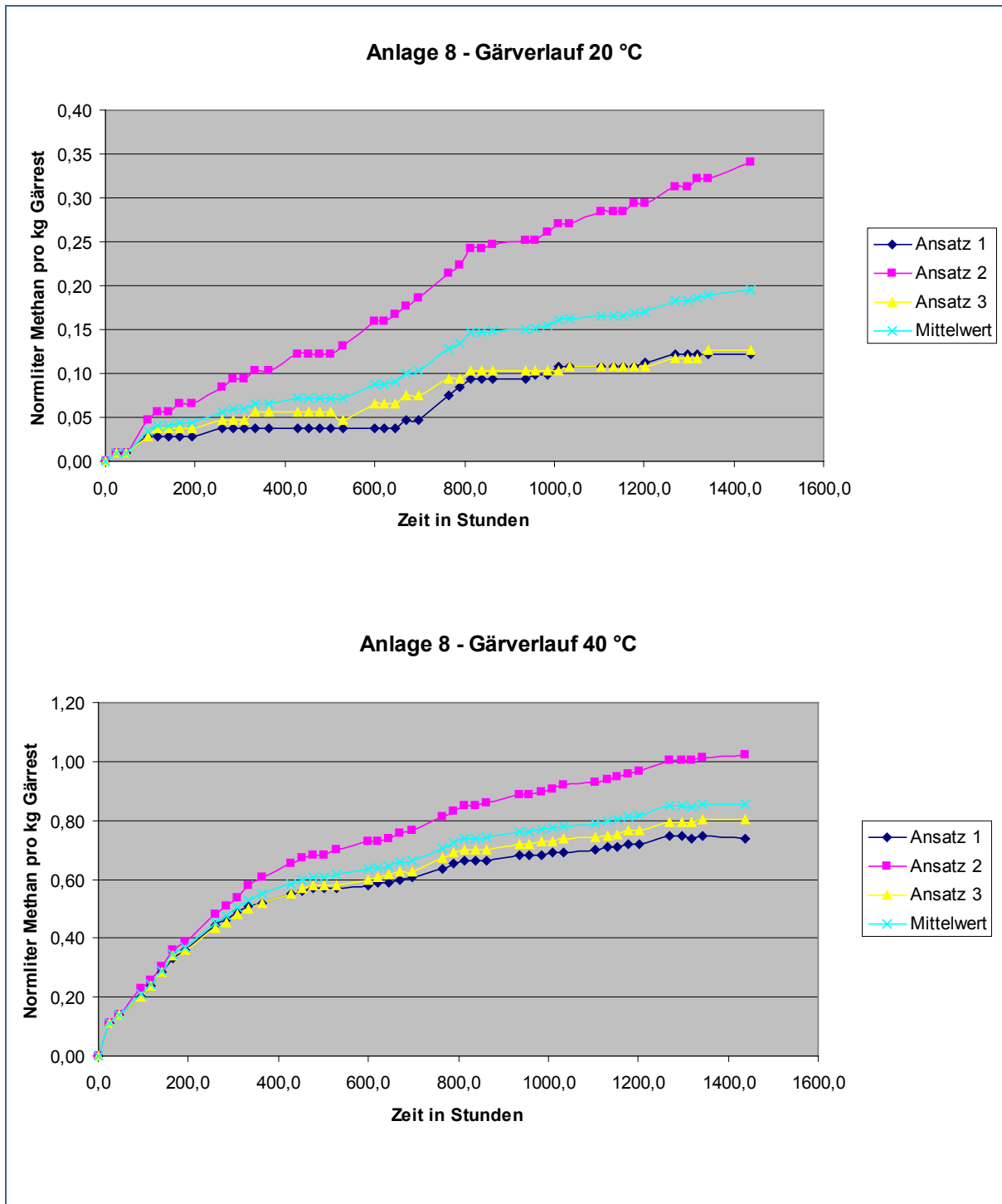


Abb. 18: Biogasanlage 8 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 12: Biogasanlage 8, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	10.01.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's als Schöpfprobe nach Separation fest/flüssig Separation, Festanteil wird wieder in die Anlage gefahren

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	3	t/d	variiert in der Summe konstant
Gras	2	t/d	variiert in der Summe konstant
Mist	4,8	t/d	konstant
Rindergülle	12	m³/d	konstant

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	260	
Motortyp	kW	132	2x MAN
Wirkungsgrad BHKW	%	43	
Methangehalt	%	55	Schwankt zw. 53 - 60 %

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
1. Hauptfermenter u. 2. Hauptf.	48 / 45	925 / 925	90
Nachgärer	40	1525	95
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	143	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Mais (OS)	Gras (OS)	Mist (OS)	Rindergülle (OS)
Trockenrückstand %	38,6	23,2	29,7	6,8
Wassergehalt %	61,4	76,8	70,3	93,2
o-TS (550°C) %	37,4	21,9	28,4	5,5
Verhältnis o-TS/TS %	96,9	94,4	95,6	80,9

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewerte	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	5,3	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	3,5	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	65,9	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,8	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	76	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	76	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.000	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.300	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	4,9	4,6
o-TS (550°C)	%	OS	3,2	2,9
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	65,6	62,8
pH-Wert		W/E	7,8	8,3
Essigsäure	mg/kg	OS	79	130
Propionsäure	mg/kg	OS	54	100
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	123	211
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.700	2.700
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.100	2.100

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	60,66		0,91
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,20	0,86	
Restmethanpotenzial in %	0,29	1,28	

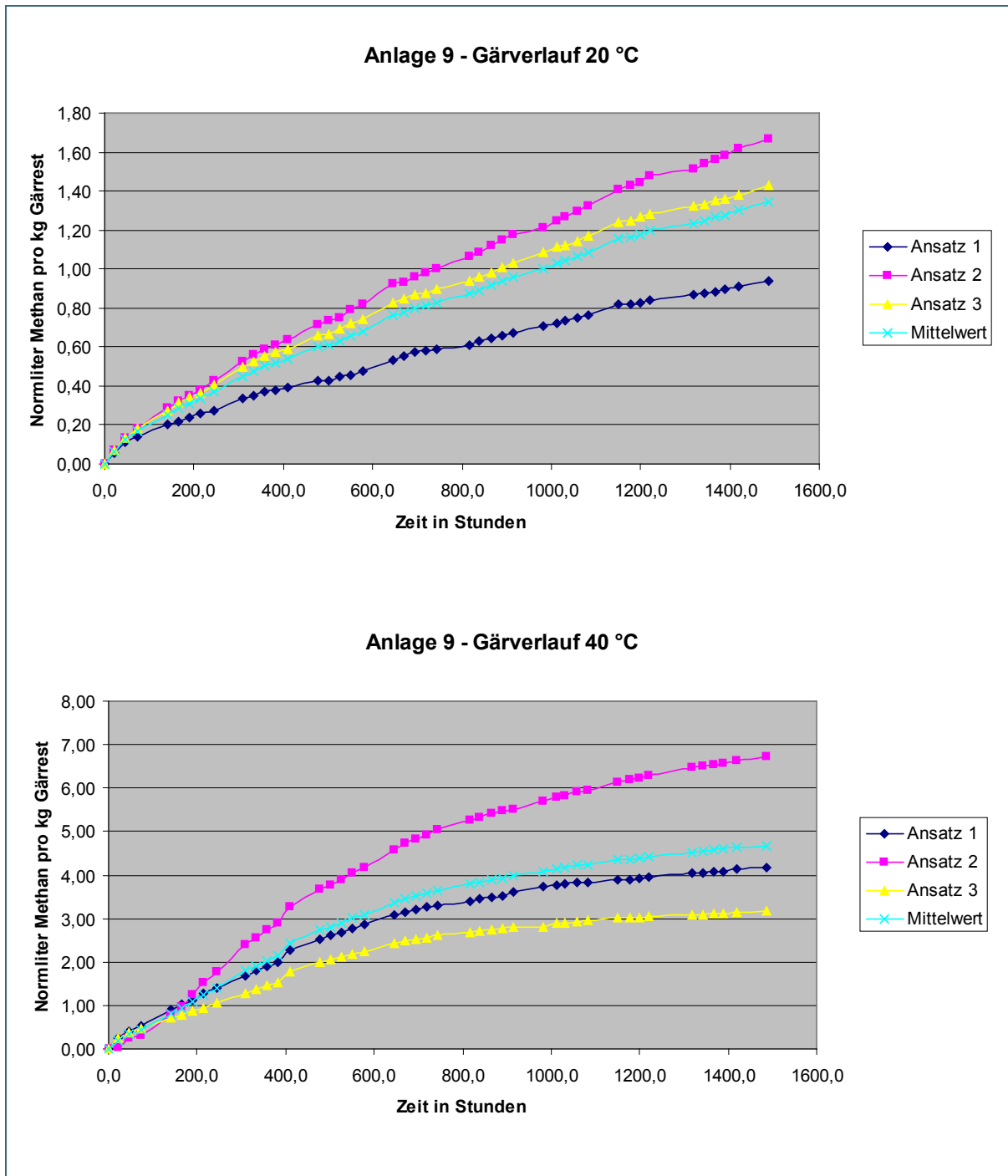


Abb. 19: Biogasanlage 9 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 13: Biogasanlage 9, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	16.01.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärers als Zapfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	12,0	t/d	über 2,5 Monate konstant
Gersten GPS	1,1	t/d	
Gras	2,7	t/d	
Rindergülle	9,5	t/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	298	Verlauf über einen Monat konstant
Motortyp	kW	302	Gasmotor
Wirkungsgrad BHKW	%	38	Schätzwert
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	52	1500	90
Nachgärer	nicht vorhanden		
Gasdichtes Endlager	26	2250	30 (schwankt)
hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem			53 Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager			27 Tage

Analyse der Inputmaterialien

	Mais	Gersten GPS	Gras	Rindergülle
Trockenrückstand %	33,8	38,7	49,4	4,9
Wassergehalt %	66,2	61,3	50,6	95,1
o-TS (550°C) %	32,6	36,1	32,8	3,7
Verhältnis o-TS/TS %	96,4	93,3	66,4	75,5

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Wert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,7	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	4,6	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	68,3	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,7	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	160	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	160	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.950	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.300	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	7	6,5
o-TS (550°C)	%	OS	4,8	4,3
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	69	65,9
pH-Wert		W/E	7,7	8,1
Essigsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Propionsäure	mg/kg	OS	50	50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	40,5	40,5
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.700	1.900
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.100	1.500

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	78,67		1,05
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,31	4,62	
Restmethanpotenzial in %	1,76	6,19	

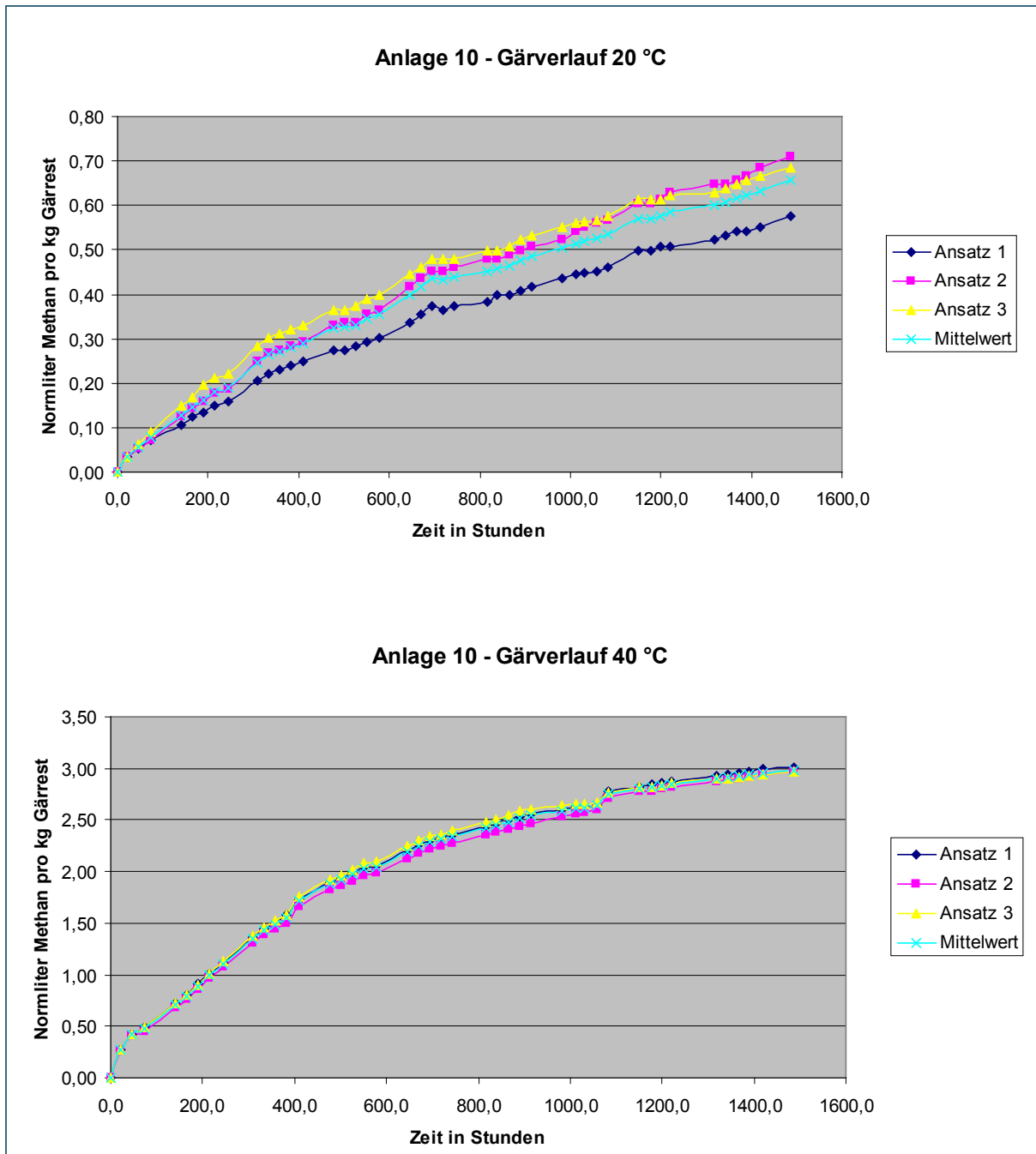


Abb. 20: Biogasanlage 10 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 14: Biogasanlage 10, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	16.01.2012
Probenahmestelle	Probenahme am Nachgärer (am Überlauf nicht möglich)

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Gras	0,75	t/d	
Festmist	1	t/d	
Rindergülle	10	t/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	55	
Motortyp	kW	60	Schnell
Wirkungsgrad BHKW	%	37	
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %	
1. Hauptfermenter / 2. Hauptf. Nachgärer	43 / 30	400 / 350	90	
Gasdichtes Endlager	unbekannt	400	90	freitags Abfluß
kein gasdichtes Endlager vorhanden				

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	88	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Gras	Festmist	Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	25,4	22,1	9,4
Wassergehalt %	OS	74,6	77,9	90,6
o-TS (550°C) %	OS	23,0	19,4	7,6
Verhältnis o-TS/TS %	OS	90,6	87,8	80,9

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewerte	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,5	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	4,5	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	68,9	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,5	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	490	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	490	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.690	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.100	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,3	6,1
o-TS (550°C)	%	OS	4,3	4
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	67,6	65,9
pH-Wert		W/E	7,7	8
Essigsäure	mg/kg	OS	180	73
Propionsäure	mg/kg	OS	<50	58
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	180	120
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.100	2.800
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	1.600	2.200

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	14,91		0,49

Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,65	2,95
Restmethanpotenzial in %	2,01	9,68

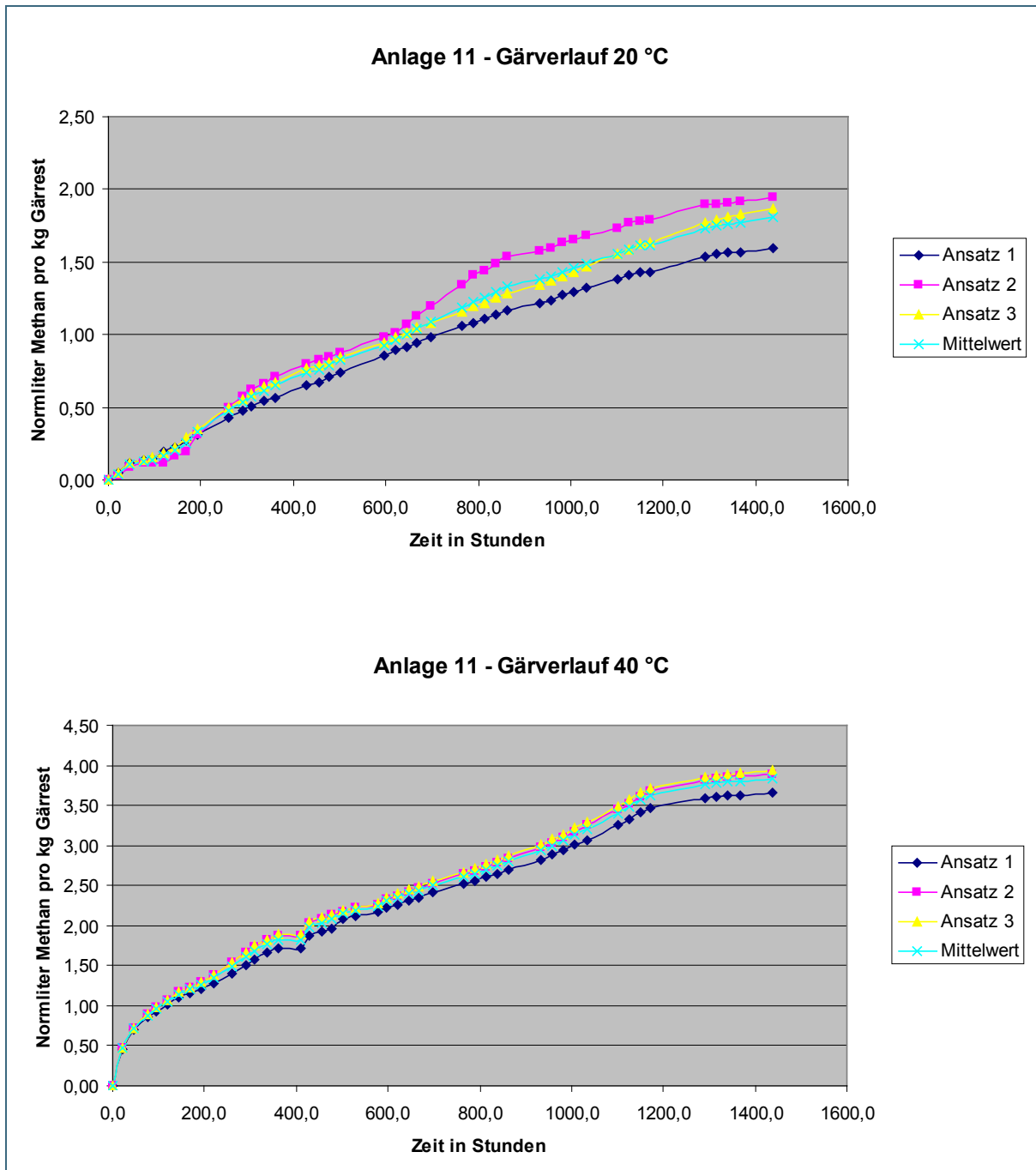


Abb. 21: Biogasanlage 11 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 15: Biogasanlage 11, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	14.02.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärers als Schöpfprobe nach Separation fest/flüssig Separation, Festanteil wird nicht wieder in die Anlage gefahren

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Körnermais	2,94	t/d	berechnet aus Input Dez.-Feb.
GPS	5,06	t/d	
Zuckerrüben	3,53	t/d	
Hühnermist	7,44	t/d	
Schweinegülle	2,05	t/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	292	Verlauf über einen Monat konstant Jenbacher
Motortyp	kW	-	
Wirkungsgrad BHKW	%	38	
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	44	750	90
Nachgärer	-	-	-
Gasdichtes Endlager	25-30 °C	665	90

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	32	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	28	Tage

Analyse der Inputmaterialien

	Körnermais (OS)	GPS (OS)	Zuckerrüben (OS)	Hühnermist (OS)
Trockenrückstand %	69,4	35,9	23,6	25,7
Wassergehalt %	30,6	64,1	76,4	74,3
o-TS (550°C) %	63,2	33,9	20,6	19,5
Verhältnis o-TS/TS %	91,1	94,4	87,3	75,9

Besonderheiten:

Fermentertechnik: Pfropfenstromfermenter

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	5,4	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	3,3	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	60,3	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,7	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	440	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	59	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	488	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	7.300	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	5.700	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	4,2	4,3
o-TS (550°C)	%	OS	2,5	2,7
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	60,1	61,9
pH-Wert		W/E	7,9	8,2
Essigsäure	mg/kg	OS	160	110
Propionsäure	mg/kg	OS	80	74
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	225	170
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	5.800	6.800
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	4.500	5.300

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	77,09		0,88
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,81	3,84	
Restmethanpotenzial in %	2,06	4,36	

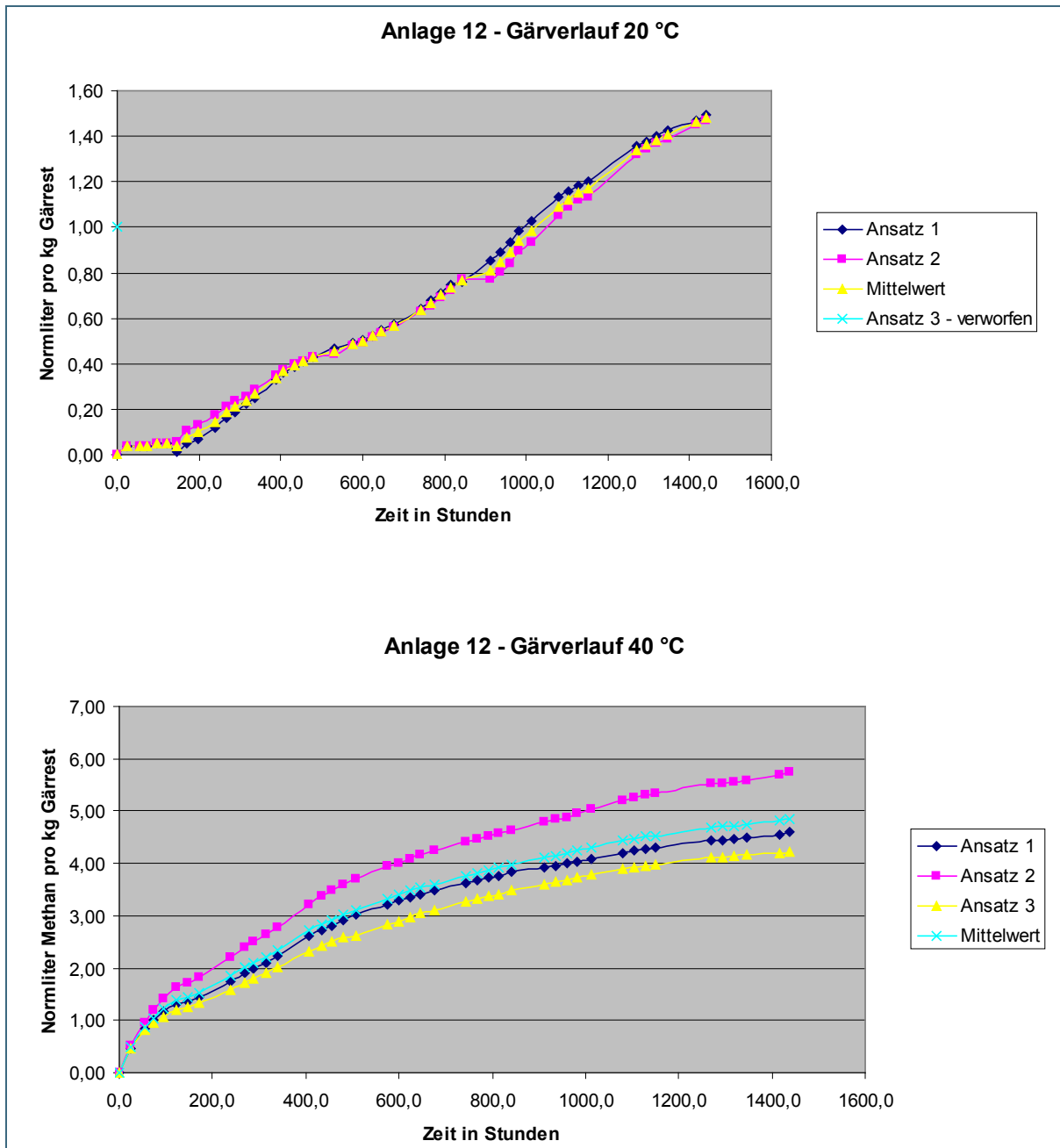


Abb. 22: Biogasanlage 12 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 16: Biogasanlage 12, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	14.02.2012
Probenahmestelle	An der Rezirkulation vom Nachgärer

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	6,8	t/d	
Getreide	0,7	t/d	
Schweinegülle	4,75	m³/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	132	4 Tage Stillstand im November
Motortyp	kW	160	
Wirkungsgrad BHKW	%	38	Schätzwert
Methangehalt	%	54	Schätzwert

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	45,5	300	90
Nachgärer	48,0	670	90
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	71	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Getreide	Schweinegülle
Trockenrückstand %	OS	34,9	85,9	8,0
Wassergehalt %	OS	65,1	14,1	92,0
o-TS (550°C) %	OS	33,0	77,1	5,6
Verhältnis o-TS/TS %	OS	94,6	89,8	70,0

Besonderheiten:

Rezirkulation

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	7,5	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	5,9	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	78,9	max. 74 %
pH-Wert		W/E	8,1	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	1.300	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	130	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	1.410	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	5.200	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	4.000	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	6,6	6,9
o-TS (550°C)	%	OS	5,1	5,3
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	76,3	76,4
pH-Wert		W/E	7,6	8
Essigsäure	mg/kg	OS	390	72
Propionsäure	mg/kg	OS	990	72
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	1.190	130
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	4.300	4.400
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	3.300	3.400

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	34,85		0,51
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,49	4,85	
Restmethanpotenzial in %	2,18	7,11	

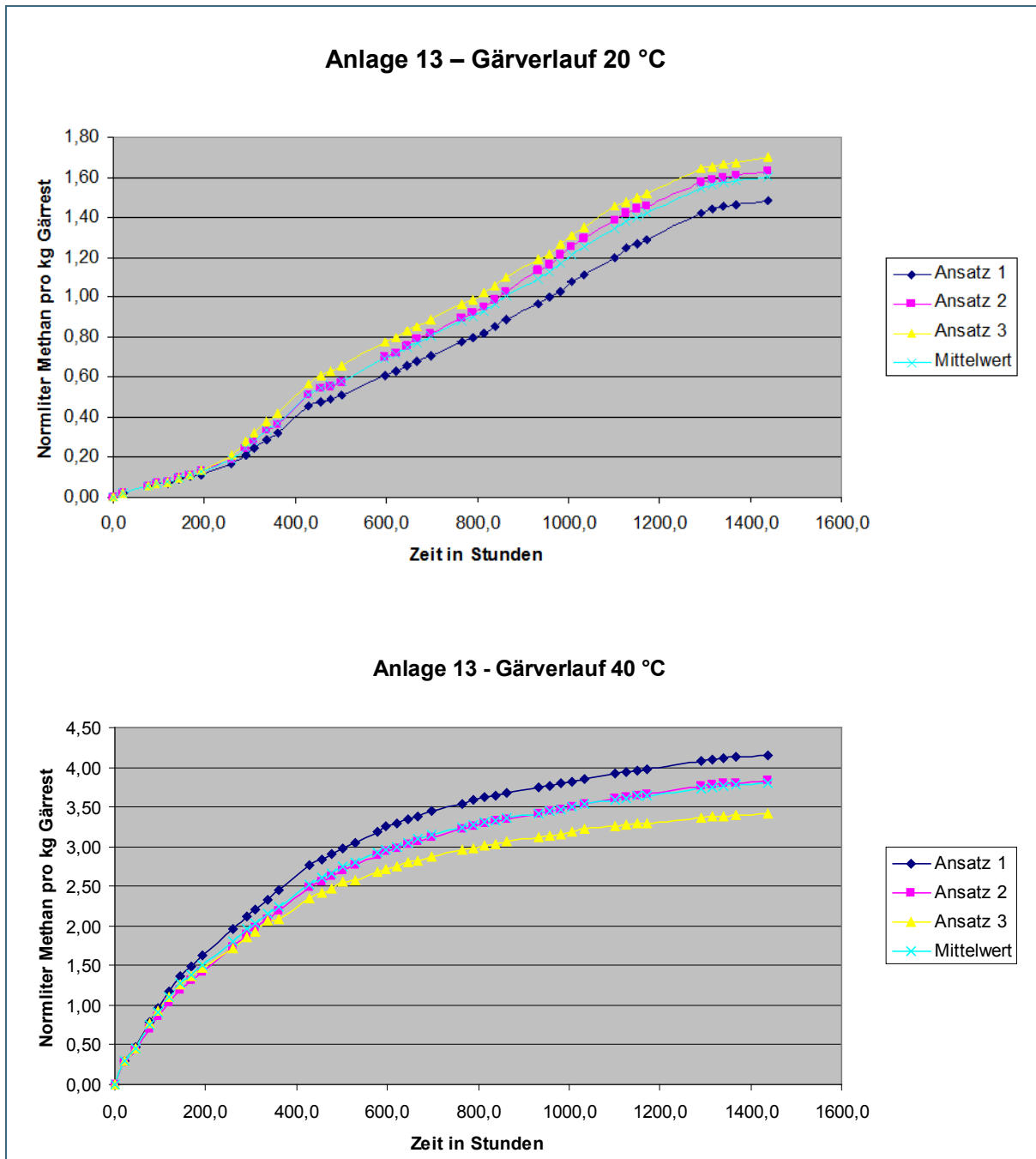


Abb. 23: Biogasanlage 13 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 17: Biogasanlage 13, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	14.02.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's als Schöpfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	2,51	t/d	Auswertung über 2,5 Monate
Grünroggen	1,80	t/d	
Grassilage	0,60	t/d	
Getreide	0,14	t/d	
Festmist	0,93	t/d	
Rindergülle	3,50	t/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	99	
Motortyp	kW	165	
Wirkungsgrad BHKW	%	38,7	Schätzwert
Methangehalt	%	54	Schätzwert

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	43	1560	88
Nachgärer	nicht vorhanden		
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		
hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem			145 Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager			kein gasdichtes Endlager vorhanden

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Grünroggen	Grassilage
Trockenrückstand %	OS	30,0	34,7	24,8
Wassergehalt %	OS	70,0	65,3	75,2
o-TS (550°C) %	OS	28,7	32,5	22,7
Verhältnis o-TS/TS %	OS	95,7	93,7	91,5

	Matrix	Getreide	Festmist	Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	81,4	33,3	9,7
Wassergehalt %	OS	18,6	66,7	90,3
o-TS (550°C) %	OS	73,5	29,2	7,7
Verhältnis o-TS/TS %	OS	90,3	87,7	79,4

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	7,8	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	5,5	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	70,6	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,8	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	200	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	51	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	241	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	4.100	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	3.200	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	7,1	6,9
o-TS (550°C)	%	OS	4,9	4,7
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	69,4	68,5
pH-Wert		W/E	7,8	8,1
Essigsäure	mg/kg	OS	190	150
Propionsäure	mg/kg	OS	220	65
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	368	203
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.700	4.100
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.900	3.200

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	25,66		0,40

Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,61	3,81
Restmethanpotenzial in %	2,48	5,86

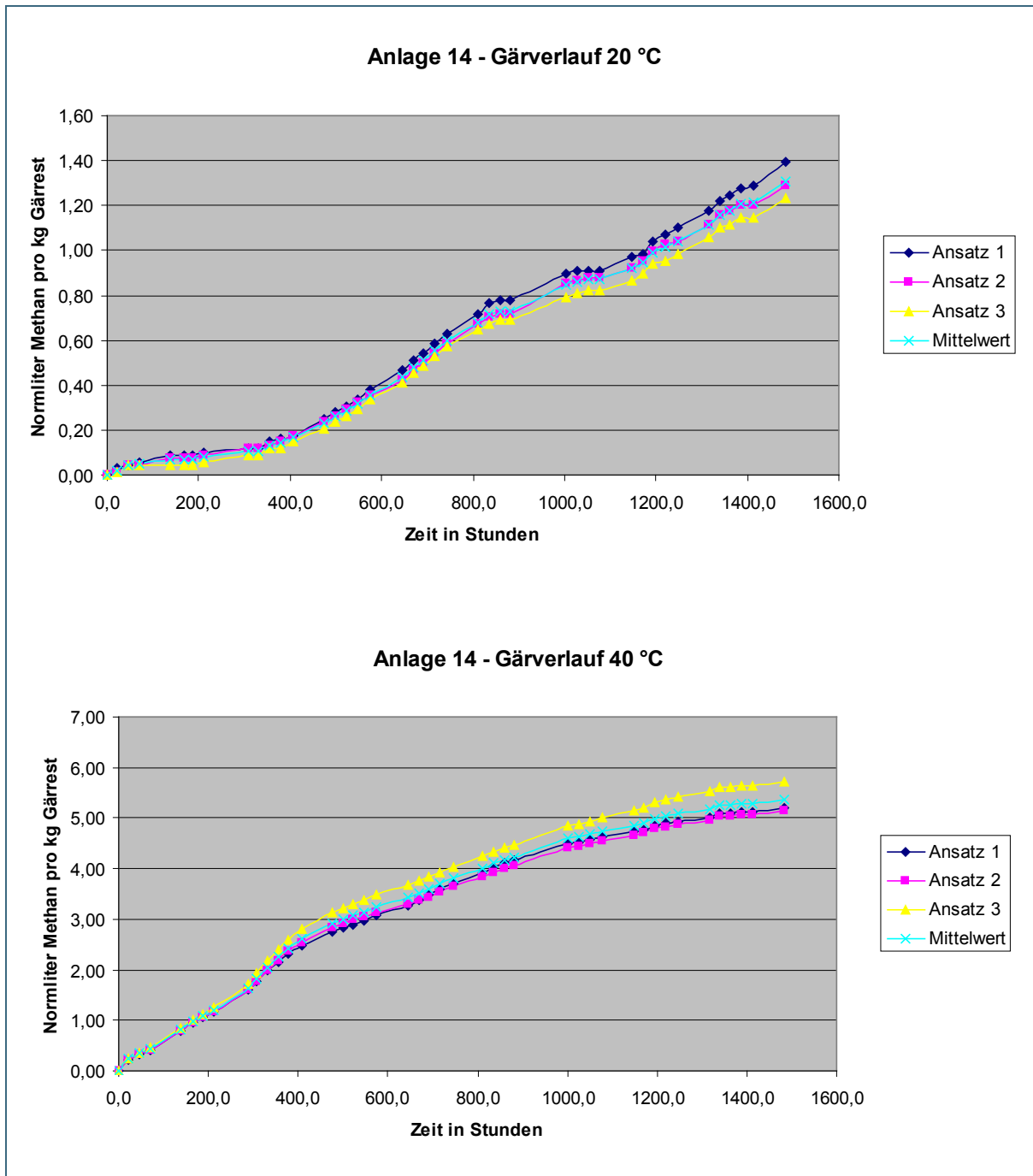


Abb. 24: Biogasanlage 14 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 18: Biogasanlage 14, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	27.02.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's als Schöpfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	1,75	t/d	
Gras	0,5	t/d	
Rindergülle	4,50	m³/d	Seit 2 Wochen 7 m³

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	48	4 Tage Stillstand im November
Motortyp	kW	50	MAN HageI
Wirkungsgrad BHKW	%	35	
Methangehalt	%	52	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	45	800	83
Nachgärer	nicht vorhanden		
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	98	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Matrix	Mais	Gras	Rindergülle
Trockenrückstand %	OS	37,6	33,2	12,5
Wassergehalt %	OS	62,4	66,8	87,5
o-TS (550°C) %	OS	36,4	30,3	10,2
Verhältnis o-TS/TS %	OS	96,8	91,3	81,6

Besonderheiten:

Erhöhter Schwefelgehalt 80 - 180 ppm

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	5,9	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	4,3	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	72,2	max. 74 %
pH-Wert		W/E	8	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	250	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	67	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	304	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.300	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.600	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	5,5	5,1
o-TS (550°C)	%	OS	3,8	3,4
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	69,2	66,6
pH-Wert		W/E	7,8	8
Essigsäure	mg/kg	OS	430	79
Propionsäure	mg/kg	OS	730	74
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	71	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	54	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	1.100	139
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.600	2.800
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.000	2.200

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	13,61		0,28
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	1,25	5,33	
Restmethanpotenzial in %	2,59	11,00	

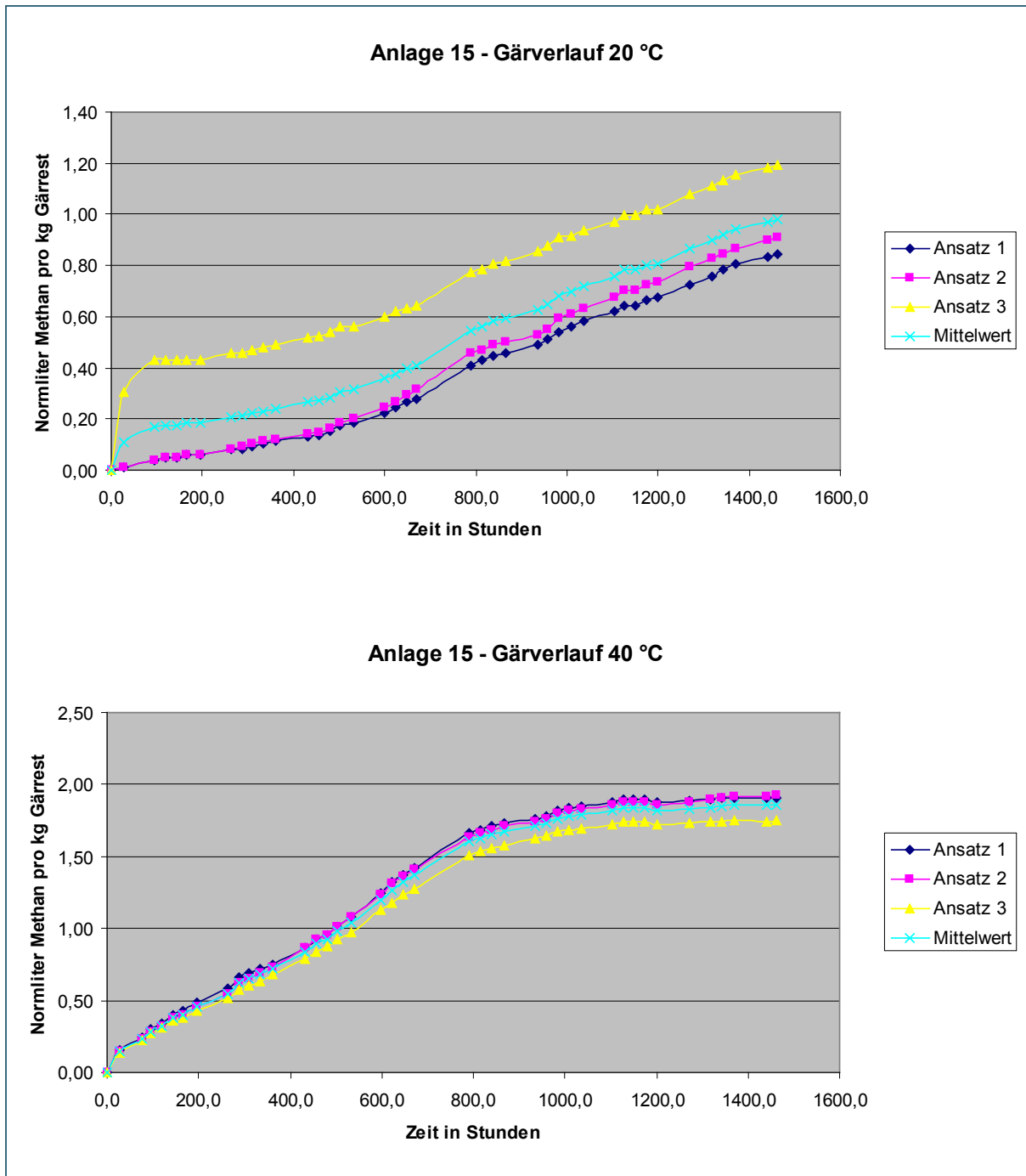


Abb. 25: Biogasanlage 15 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C

Tab. 19: Biogasanlage 15, Analyse- und Anlagendaten

Probenahme

Probenahmedatum	05.03.2012
Probenahmestelle	Am Überlauf des Nachgärer's als Schöpfprobe

Inputmaterialien

	Menge/Tag	Einheit	Bemerkung
Mais	4,5	t/d	konstant
GPS	2,2	t/d	
Getreide	0,95	t/d	
Rinder/Schweinegülle	4,5	m³/d	

BHKW

	Einheit	Wert	Bemerkung
Einspeisung	kW	183	
Motortyp	kW	190	
Wirkungsgrad BHKW	%	34,8	
Methangehalt	%	55	

Anlagenaufbau

	Temperatur °C	Volumen m³	Füllstand %
Hauptfermenter	44	600	92
Nachgärer	44	1020	93
Gasdichtes Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden		

hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem	124	Tage
hydraulische Verweilzeit im gasdichtem Endlager	kein gasdichtes Endlager vorhanden	

Analyse der Inputmaterialien

	Mais (OS)	Grassilage (OS)	Getreide (OS)	Rinder/Schweinegülle
Trockenrückstand %	25,0	35,5	87,5	6,6
Wassergehalt %	75,0	64,5	12,5	93,4
o-TS (550°C) %	23,9	33,9	81,3	5,0
Verhältnis o-TS/TS %	95,6	95,5	92,9	75,8

Analyse Gärsubstrat vor Gärversuch

	Einheit	Matrix	Analysewert	Typische Gehalte
Trockenrückstand	Gew%	OS	4,2	5 bis 8
o-TS (550°C)	%	OS	3	4 bis 6,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	70,7	max. 74 %
pH-Wert		W/E	7,9	7,4 bis 7,9
Essigsäure	mg/kg	OS	210	< 150
Propionsäure	mg/kg	OS	96	< 50
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	< 50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	288	< 150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	2.300	-
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	1.800	1600 bis 3500

Analyse Gärsubstrat nach Gärversuch

	Einheit	Matrix	bei 20°	bei 40°
Trockenrückstand	Gew%	OS	3,8	3,7
o-TS (550°C)	%	OS	2,6	2,5
Glühverlust (550°C)	Gew%	TS	67,9	67,2
pH-Wert		W/E	7,9	8,2
Essigsäure	mg/kg	OS	100	61
Propionsäure	mg/kg	OS	200	110
n-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Buttersäure	mg/kg	OS	<50	<50
Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
iso-Valeriansäure	mg/kg	OS	<50	<50
Capronsäure	mg/kg	OS	<50	<50
Essigsäureäquivalent	mg/kg	OS	262	150
Ammonium (NH4)	mg/kg	OS	3.200	3.000
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/kg	OS	2.500	2.300

Berechnung des Restmethanpotenzials anhand von Gärversuchen

Biogasanlage	Nm³/h	Stündliche Inputmenge	in m³
Verstromte Methanmenge	52,76		0,51
Gärversuch über 60 Tage	20 °C	40 °C	
Gesamtmethanbildung Nm³/t FM	0,97	1,85	
Restmethanpotenzial in %	0,93	1,78	

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht über die 15 beprobten Biogasanlagen	8
Tab. 2: Übersicht der verschiedenen Materialien auf ihre analysierten Parameter	9
Tab. 3: Methanausbeuten und berechnete Restmethanpotenziale aus den Gärtests bei 20°C und 40°C	14
Tab. 4: Wirtschaftliche Vorteile bei Maßnahmen zur Emissionsminderung	19
Tab. 5: Biogasanlage 1, Analyse- und Anlagendaten	23
Tab. 6: Biogasanlage 2, Analyse- und Anlagendaten	25
Tab. 7: Biogasanlage 3, Analyse- und Anlagendaten	27
Tab. 8: Biogasanlage 4, Analyse- und Anlagendaten	29
Tab. 9: Biogasanlage 5, Analyse- und Anlagendaten	31
Tab. 10: Biogasanlage 6, Analyse- und Anlagendaten	33
Tab. 11: Biogasanlage 7, Analyse- und Anlagendaten	35
Tab. 12: Biogasanlage 8, Analyse- und Anlagendaten	37
Tab. 13: Biogasanlage 9, Analyse- und Anlagendaten	39
Tab. 14: Biogasanlage 10, Analyse- und Anlagendaten	41
Tab. 15: Biogasanlage 11, Analyse- und Anlagendaten	43
Tab. 16: Biogasanlage 12, Analyse- und Anlagendaten	45
Tab. 17: Biogasanlage 13, Analyse- und Anlagendaten	47
Tab. 18: Biogasanlage 14, Analyse- und Anlagendaten	49
Tab. 19: Biogasanlage 15, Analyse- und Anlagendaten	51

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Maßnahmen zur Minderung von Emissionen landwirtschaftlicher Biogasanlagen nach Richtlinie VDI 3475 Blatt 4	7
Abb. 2:	Verlauf der Methanausbeute eines Gärtests im Dreifachansatz bei 20°C über 60 Tage	11
Abb. 3:	Verlauf der Methanausbeute eines Gärtests im Dreifachansatz bei 40°C über 60 Tage	12
Abb. 4:	Methanausbeuten der Gärtests bei 20°C und 40°C, aufsteigend sortiert nach der Methanausbeute von 20°C, markierte Biogasanlagen mit einer Verweilzeit im beheizten System > 110 Tage	13
Abb. 5:	Berechnetes Restmethanpotenzial aus den Ergebnissen der Gärtests bei 20°C und 40°C, aufsteigend sortiert nach dem Restmethanpotenzial bei 20°C, markierte Biogasanlagen mit einer Verweilzeit im beheizten System > 110 Tage	13
Abb. 6:	Restgaspotenzial bei 20°C in Abhängigkeit von der Verweilzeit im gasdichten System und der verfahrenstechnischen Stufen der Biogasanlagen	14
Abb. 7:	Restgaspotenzial bei 40°C in Abhängigkeit von der Verweilzeit im gasdichten System und der verfahrenstechnischen Stufen der Biogasanlagen	15
Abb. 8:	Methanausbeute in Abhängigkeit vom durchschnittlichen oTS-Gehalt des Substratinputs und linearer Regressionslinie mit Bestimmtheitsmaß R^2	16
Abb. 9:	Restmethanpotenzial in Abhängigkeit vom durchschnittlichen oTS-Gehalt des Substratinputs und linearer Regressionslinie mit Bestimmtheitsmaß R^2	16
Abb. 10:	Restmethanpotenzial bei 20 °C in Beziehung zum Restmethanpotenzial bei 40 °C mit jeweiliger Biogasanlagennummer und Fermenterstückzahl.	18
Abb. 11:	Biogasanlage 1 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	22
Abb. 12:	Biogasanlage 2 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	24
Abb. 13:	Biogasanlage 3 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	26
Abb. 14:	Biogasanlage 4 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	28
Abb. 15:	Biogasanlage 5 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	30
Abb. 16:	Biogasanlage 6 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	32
Abb. 17:	Biogasanlage 7 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	34
Abb. 18:	Biogasanlage 8 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	36
Abb. 19:	Biogasanlage 9 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	38
Abb. 20:	Biogasanlage 10 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	40
Abb. 21:	Biogasanlage 11 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	42
Abb. 22:	Biogasanlage 12 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	44
Abb. 23:	Biogasanlage 13 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	46
Abb. 24:	Biogasanlage 14 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	48
Abb. 25:	Biogasanlage 15 Gärverläufe bei 20 °C und 40 °C	50

