



Bachelorarbeit

im Studiengang Agrarökologie

Untersuchung zur Wirkung eines homöopathischen
Mittels zur Verbesserung der Biogasproduktion

eingereicht am 22.10.2012
von Carolin Klatt
Matrikelnummer: 209204336
geboren am 25.09.1990 in Pritzwalk

Betreuer:

Dr. agr. Denny Wiedow
MSc. Jörg Burgstaler

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Diskontinuierliche Applikation des Additivs

Zur Durchführung des Batchversuches wurden die eingesetzten Substrate sowie die Impfgülle im Voraus, hinsichtlich der Parameter TS, oTS, organische Säuren und organische Substanz, analysiert. Die dabei ermittelten Ergebnisse und dazugehörigen Mittelwerte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Analysenergebnisse der Impfgülle sowie der Inputsubstrate bezogen auf die angegebenen Prozessparameter

Substrat	TS % FM	oTS % TS	org. Säuren g·kg ⁻¹ FM	oS % FM
Impfgülle	4,76	72,67	0,80	3,54
	4,59	71,05	0,83	3,34
	4,98	73,40	0,82	3,74
Mittelwert	4,78	72,37	0,82	3,54
Rindergülle	8,71	78,22	5,12	7,33
	8,70	79,07	3,90	7,27
	8,63	78,74	5,18	7,31
Mittelwert	8,68	78,68	4,73	7,30
Maissilage	33,55	96,44	8,62	30,54
	33,55	96,50	8,77	30,63
Mittelwert	33,55	96,47	8,70	30,59

TS: Trockensubstanz, oTS: organische Trockensubstanz, oS: organische Substanz, FM: Frischmasse

In der VDI-Richtlinie 4630 (2006) wird für Impfschlamm ein minimaler oTS-Gehalt von 50 % ausgewiesen. Nach Burgstaler et al. (2011) sollte die Impfgülle einen TS-Gehalt von ≤ 4 % und einen oTS-Wert von ≤ 70 % haben. Die verwendete Impfgülle ist im Mittel mit 4,78 % TS und 72,37 % oTS etwas über den Richtwerten, jedoch noch in einem akzeptablen Bereich. Der Mittelwert für die organischen Säuren beträgt 0,82 g·kg⁻¹ und erfüllt damit den angestrebten Wert von ≤ 1 g·kg⁻¹ (Burgstaler et al., 2011).

Die Rindergülle weist TS-Gehalte von 8,63 - 8,71 % und im Mittel 8,68 % auf. Der durchschnittliche oTS-Gehalt liegt bei einem Wert von 72,73 %. Friehe et al. (2010) gibt einen Wert von 10 % TS und 80 % oTS für Rindergülle an. Beide Werte werden in den eigenen Untersuchungen nicht erreicht. In der KTBL (Döhler et al., 2007) ist dagegen ein TS-Gehalt von 8 % für Rindergülle angegeben. Es wird jedoch auch hier ein oTS-Gehalt von 80 % angestrebt. Die organischen Säuren befinden sich im Bereich von 3,90 - 5,98 g·kg⁻¹ FM. Linke et al. (2007) ermittelt Werte im Bereich von 6,2 - 9,9 g·kg⁻¹ FM. Auch Mähner (2007) gibt Gehalte von 6,6 - 9,9 g·kg⁻¹ für organische Säuren an. Es ist zu erkennen, dass die analysierte Rindergülle hinsichtlich genannter Angaben, nur geringe Mengen organischer Säuren enthält. Es ist bekannt, dass einzelne Fettsäuren in geringen Mengen hemmend auf den Biogasprozess wirken können (Döhler et al., 2007). Demnach wäre die Rindergülle weniger gut für den Einsatz im Biogasprozess geeignet. Der Gehalt an organischer Substanz lag im Durchschnitt bei 7,30 %. Müller et al. (2011) gibt eine Spanne von 7,43 - 7,79 oS % FM bei einem TS-Gehalt von 9 - 9,55 % an. Bei einem durchschnittlich geringeren TS-Wert der verwendeten Rindergülle befindet sich auch die organische Substanz etwas unter dem angegebenen Bereich, kann aber dennoch als gut gewertet werden

Die TS-Gehalte der verwendeten Maissilage befinden sich bei beiden Wiederholungen bei 33,55 %. Nach Angaben der KTBL (Döhler et al., 2007) ist die Silage damit im Bereich zwischen Teig- und Wachsreife. Nach Eder und Eder (2009) ist dieser Wert optimal für eine gute Silierfähigkeit. Die Methanausbeuten nehmen jedoch tendenziell mit zunehmendem TS-Gehalt ab (Amon et al., 2003). Die oTS-Werte liegen im Mittel bei 96,47 % und befinden sich damit in der Spanne, die von der KTBL (Döhler et al., 2007) sowie von Friehe et al. (2010) angegeben wird. Im Mittel enthält die Silage 8,70 g·kg⁻¹ FM organische Säuren. Linke et al. (2008) ermittelt durchschnittliche Analysedaten von 4,3 - 10,4 g·kg⁻¹. Die verwendete Maissilage erreicht diese Werte und kann damit hinsichtlich der organischen Säuren als gut gewertet werden. Bezüglich der organischen Substanz lässt sich über die gesamte Versuchszeit ein Durchschnittswert von 30,59 % erreichen. Burgstaler (2012 a) ermittelt Gehalte der organischen Substanz von 29,58 - 39,26 oS % FM. Die analysierte

Maissilage befindet sich demnach hinsichtlich der oS-Gehalte in einem guten Bereich.

Die Ergebnisse des durchgeführten Batchversuches sind in Tabelle 5 dargestellt. Dabei wurden ausschließlich die Mittelwerte aller Varianten verwendet. Eine ausführliche Tabelle mit allen ermittelten Daten ist in Tabelle A1 im Anhang zu finden. Aufgrund von Undichtigkeiten im System des Batchversuches musste der Gärversuch für ein Batchgefäß vorzeitig beendet werden. Die Daten werden nicht in die Berechnungen einbezogen. Dies betrifft eine Wiederholung der Variante Maissilage (70 %) + Rindergülle (30 %).

Tabelle 5: Mittlere Gesamtgas- und Methangaspotentiale der untersuchten Varianten bezogen auf die Frischmasse (FM) und organische Substanz (oS) sowie der Methangehalt in Vol. %

Varianten	Biogaspotential:		Methanpotential:		Vol. %
	$\text{I}_N \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$	$\text{I}_N \cdot \text{kg}^{-1} \text{ oS}$	$\text{I}_N \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$	$\text{I}_N \cdot \text{kg}^{-1} \text{ oS}$	
RG	20,42	279,57	12,72	174,23	62,32
MS	118,98	388,99	60,24	196,94	50,59
MS + BPP	234,13	765,49	123,45	403,62	52,71
MS* + RG*	123,76	465,99	66,85	251,68	54,01
MS* + RG* + BPP	168,16	633,13	88,84	334,48	52,83
MS* + RG* + BPP*	170,01	640,11	90,95	342,46	53,49
MS* + RG* + BPP**	169,54	638,35	89,93	338,58	53,05

RG: Rindergülle, RG*: Rindergülle 30 %, MS: Maissilage, MS*: Maissilage 70 %, BPP: Biogas Power Powder (Additiv), BPP*: Biogas Power Powder +20 %, BPP**: Biogas Power Powder -20 %

Die Rindergülle erreichte im Batchversuch durchschnittliche Gaserträge von $279,57 \text{ I}_N \text{ Gas} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ oS}$ bei einer mittleren Methankonzentration von 62,32 Vol. %. Die KTBL (Döhler et al., 2007) verweist auf Biogaserträge von etwa $370 \text{ I}_N \text{ Gas} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ oS}$ und einem Methangehalt von 55 Vol. %, bei einer Trockensubstanz von 8 %. Reinhold (2010) gibt für Rindergülle mit einem TS-Gehalt von 8,5 % eine Methanproduktion von $210 \text{ I}_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ oS}$ an. Damit befindet sich die untersuchte Rindergülle hinsichtlich der Gaserträge weit unter den Angaben der

Literatur. Die geringere Energiedichte ist auf die niedrigeren TS-Gehalte zurück zu führen. Hinsichtlich des Methangehaltes wurden jedoch höhere Werte erreicht.

Bei der Variante Rindergülle mit Additiv wurden Werte von 23,33 I_N Gas·kg⁻¹ FM, 14,37 I_N CH₄·kg⁻¹ FM, 319,46 I_N Gas·kg⁻¹ oS sowie 196,72 I_N CH₄·kg⁻¹ nachgewiesen. Im Vergleich zur reinen Rindergülle ist zu erkennen, dass der Einsatz des Additivs einen positiven Effekt auf den Biogasertrag hat. Mit einer Methankonzentration von im Mittel 61,57 Vol. % weisen die Varianten mit Additiv, im Vergleich zu denen ohne, jedoch etwas geringere Werte auf.

Bei der untersuchten Maissilage wurde ein Biogasertrag von 118,98 I_N Gas·kg⁻¹ FM und ein Methanpotential von 196,94 I_N CH₄·kg⁻¹ oS bei 50,59 Vol. % Methan nachgewiesen. Nach Friehe et al. (2010) erzeugt eine Maissilage mit einem TS-Gehalt von 33 % durchschnittlich 200 I_N Gas·kg⁻¹ FM und eine Methanausbeute von 340 I_N CH₄·kg⁻¹ oS. Amon et al. (2003) gibt für eine Maissilage etwa 222 I_N CH₄·kg⁻¹ oS an. Von Kelm et al. (2007) werden für eine Maissilage mit einem TS-Gehalt von 33 % ein Gasertrag von 178,4 I_N Gas·kg⁻¹ FM angegeben. Die verwendete Maissilage liegt hinsichtlich dieser Parameter weit unter den angegebenen Werten in der Literatur. Lediglich der Methangehalt erreicht den Durchschnittswert von 52 Vol. %, der in der KTBL (Döhler et al., 2007) angegeben wird. Dies weist darauf hin, dass die eingesetzte Maissilage nur bedingt für den Biogasprozess geeignet ist. In der Variante Maissilage mit Additiv wurde ein Biogasertrag von 234,13 I_N Gas·kg⁻¹ FM und ein Methanpotential von 403,62 I_N CH₄·kg⁻¹ oS bei 52,71 Vol. % Methan ermittelt. An dieser Variante ist der Einfluss des homöopathischen Mittels besonders deutlich zu erkennen. Hinsichtlich der Gesamtgas- und Methangaserträge wurden im Schnitt 100 % höhere Ausbeuten gegenüber der reinen Maissilage erzielt. Auch die Methankonzentration mit einem Durchschnittswert von 52,71 Vol. % ist durch die Zugabe des Additivs höher.

Die Batch-Varianten mit 70 % Maissilage und 30 % Rindergülle erreichten bei der gemeinsamen Vergärung hinsichtlich der Parameter I_N Gas·kg⁻¹ FM, I_N CH₄·kg⁻¹ oS, I_N Gas·kg⁻¹ oS sowie I_N CH₄·kg⁻¹ FM bessere Werte, als bei der separaten Vergärung der Inputsubstrate.

Unter Einsatz des homöopathischen Mittels, werden 633,13 I_N Gas·kg⁻¹ oS (ohne Additiv 465,99 I_N Gas·kg⁻¹ oS) und 334,48 I_N CH₄·kg⁻¹ oS

(ohne Additiv $251,68 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ oS}$) erzeugt. Auch auf die FM bezogen ist der Gas- sowie Methanertrag der Varianten mit Additiv höher. Es ist demnach deutlich zu erkennen, dass erneut ein positiver Effekt des homöopathischen Mittels vorliegt. Bei den letzten zwei Varianten wurde dem Gemisch aus Rindergülle und Maissilage 20 % mehr sowie 20 % weniger des homöopathischen Mittels, bezogen auf die Einsatzempfehlung, zugesetzt. Mit $170,01 \text{ l}_N \text{ Gas} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$ (+20 %) und $169,54 \text{ l}_N \text{ Gas} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$ (-20 %) liegen die Varianten nur gering über der, der das Additiv nach Einsatzempfehlung zugesetzt wurde ($168 \text{ l}_N \text{ Gas} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$). Auch mit $88,84 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$ liegt die optimal versorgte Variante nur leicht unter den Erträgen von $90,95 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$ (+20 %) und $89,93 \text{ l}_N \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$ (-20 %). Die Methangaskonzentration bewegt sich bei den drei Varianten zwischen 52 Vol. % und 53 Vol. % und ist sich somit ebenfalls sehr ähnlich. Sowohl bei der Erhöhung als auch bei der Reduzierung des Additivs sind keine deutlichen Mehr- oder Mindererträge festzustellen.

Zur Verdeutlichung der Gesamtgas- sowie der Methangaserträge im zeitlichen Verlauf des Batch-Versuches wurden Grafiken erstellt. Sie zeigen das vergärende Substrat jeweils mit und ohne Additiv über die Versuchszeit. Zur Darstellung der Gasmengen wurde in jeder Grafik der Bezug auf organische Substanz gewählt. In Abbildung 6 ist die Gesamtgasausbeute der Rindergülle mit und ohne Zusatz des homöopathischen Mittels, in Normlitern pro Kilogramm organische Substanz, im Verlauf des Batchversuches dargestellt.

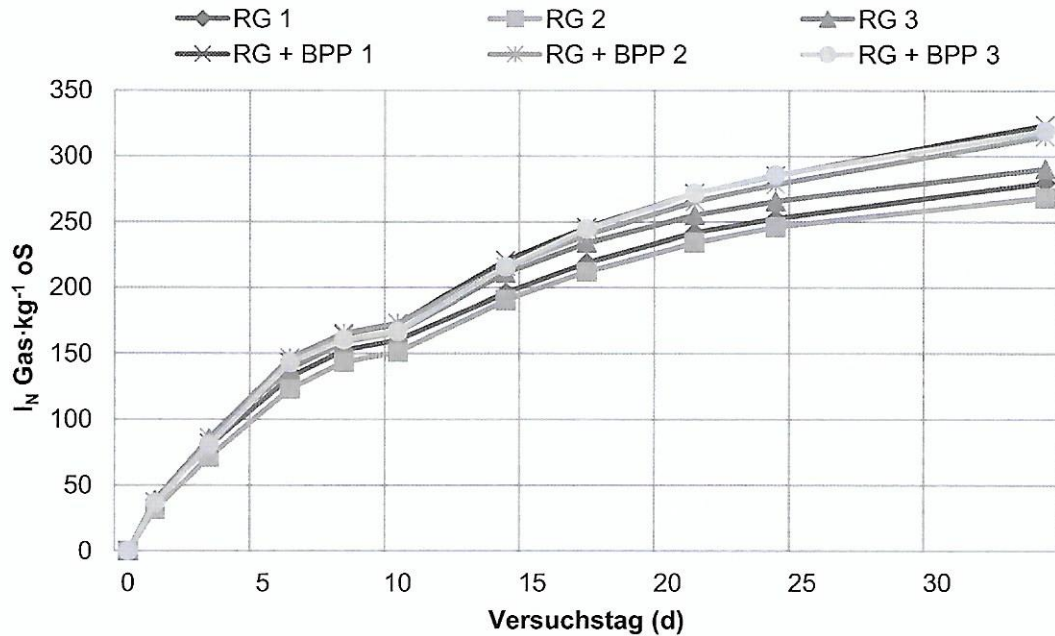


Abbildung 6: Gesamtgasertrag von Rindergülle mit und ohne Additiv im Verlauf des Batchversuches (RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

In den ersten 3 Tagen sind keine Unterschiede bezüglich Gasproduktion zu erkennen. Alle 6 Varianten erzeugen eine ähnliche Menge und haben somit einen gleichen Anstieg. Ab Versuchstag 5 sind erste Differenzen zwischen den Varianten mit Additiv und denen ohne, hinsichtlich des Gasertrages, zu erkennen. Vom 15. bis zum letzten Versuchstag liegen die Gasproduktionen aller Varianten mit Additiv über denen der reinen Rindergülle und generieren damit eine höhere Gesamtgasausbeute.

Abbildung 7 zeigt den Methangasertrag der zuvor beschriebenen Varianten.

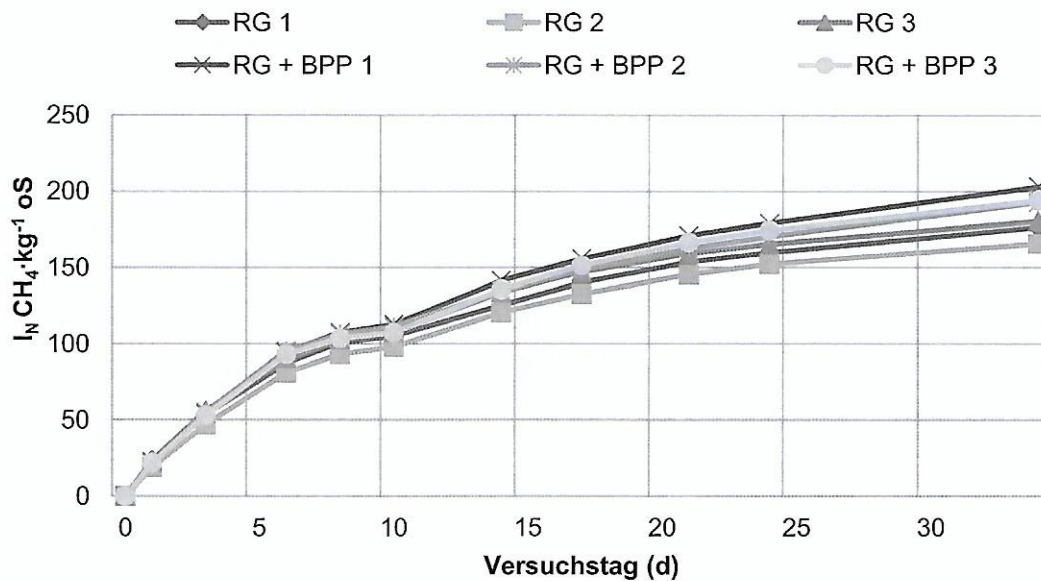


Abbildung 7: Methangasertrag von Rindergülle mit und ohne Additiv im Verlauf des Batchversuches (RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

Der Kurvenverlauf ist dem der Gasgesamtproduktion sehr ähnlich. Zu Versuchsbeginn sind kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten zu erkennen. Im Verlauf werden diese jedoch deutlicher. Ab dem 18. Versuchstag liegen die Methanproduktionen aller Varianten mit Additiv, über denen der reinen Rindergülle. In Abbildung 8 ist die Gesamtgasproduktion von Maissilage ohne und mit Zusatz des homöopathischen Mittels dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass ab dem 1. Versuchstag ein Unterschied zwischen den Varianten mit Additiv und denen ohne vorliegt. Unter Einsatz des Biogas Power Powder ist zu Versuchsbeginn ein wesentlich steilerer Anstieg der Gasproduktion wahrzunehmen. Am 7. Versuchstag ist die Gasausbeute bereits um 100 % höher, als bei der reinen Maissilage. Ab diesem Zeitpunkt verlaufen die Kurven aller Varianten in etwa synchron.

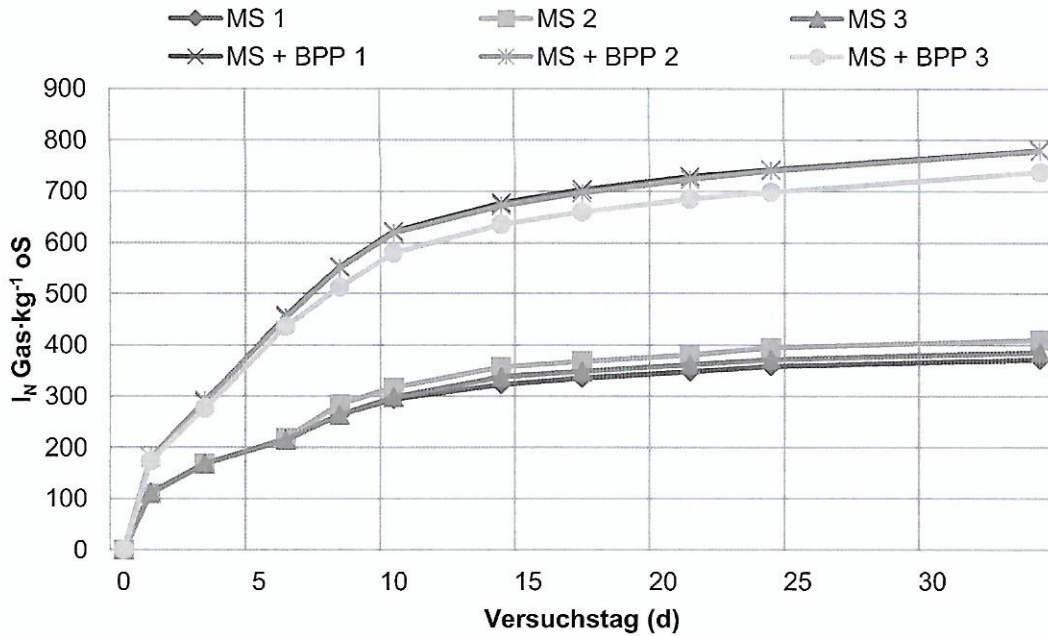


Abbildung 8: Gesamtgasertrag von Maissilage mit und ohne Additiv im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

Abbildung 9 zeigt die Methangasproduktion der Maissilage. Auch hier wurden die Varianten mit und ohne Zugabe des homöopathischen Mittels dargestellt.

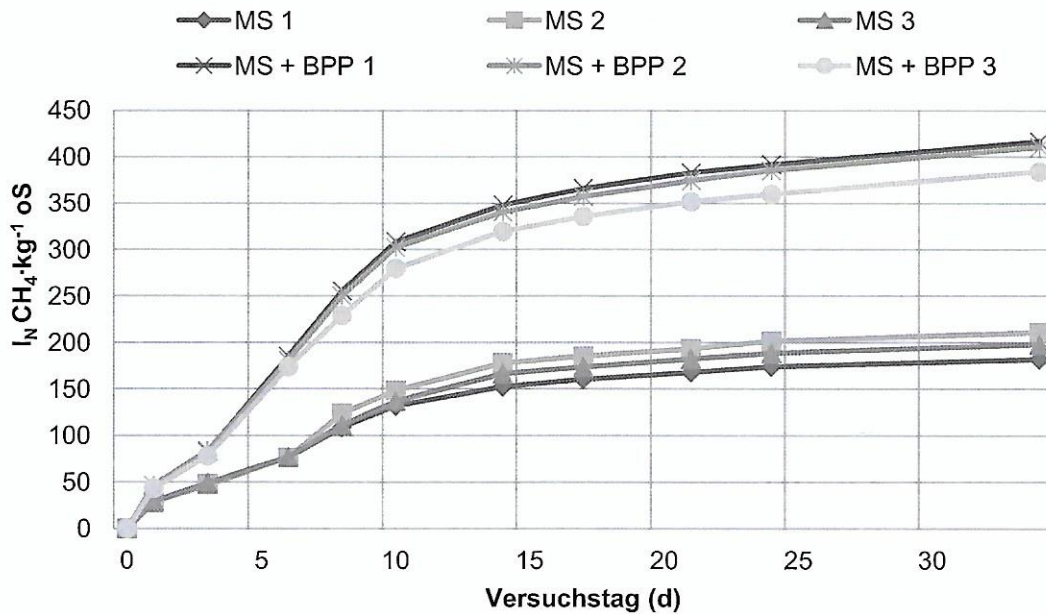


Abbildung 9: Methangasertrag von Maissilage mit und ohne Additiv im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

Ab dem Versuchsbeginn ist eine höhere Methanproduktion bei den Varianten mit Additiv festzustellen. Der Anstieg aller Ansätze ist jedoch bis zum 4. Versuchstag in etwa gleich. Bei den Varianten mit dem Additiv kommt es zu einem starken Anstieg der Kurven, sodass zum 7. Versuchstag eine um 100 % höhere Methangasausbeute vorliegt. Ab dem 15. Versuchstag nimmt der Anstieg etwas ab. Die reine Maissilage hat zu diesem Zeitpunkt bereits fast ihr Maximum erreicht. Demnach sind ab Tag 15 bis zum Versuchsende für diese Varianten lediglich ein geringer Anstieg und damit eine geringe Biogaszunahme zu verzeichnen.

Abbildung 10 stellt den Gesamtgasertrag des Substratgemisches Maissilage und Rindergülle mit und ohne Zugabe des Additivs dar.

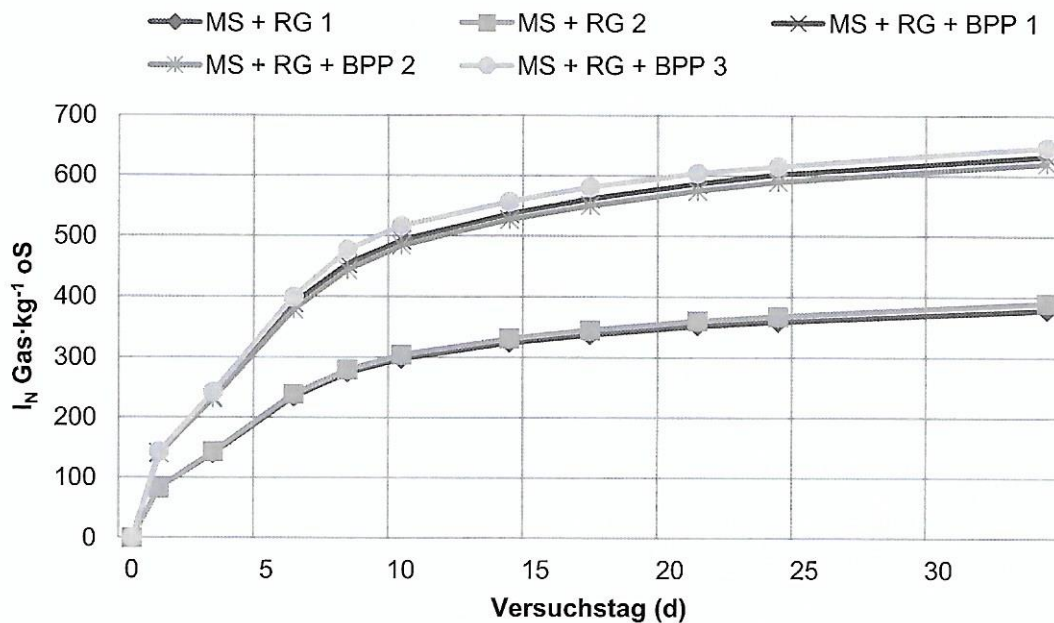


Abbildung 10: Gesamtgasertrag von Maissilage und Rindergülle mit und ohne Additiv im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

Die Varianten mit Additiv weisen, gegenüber denen ohne, ab Versuchsbeginn einen steileren Anstieg der Biogaserate auf. Der Verlauf der Kurven aller 6 Ansätze flacht zwischen dem 9. und 11. Tag ab. Ab dem 18. Versuchstag verlaufen die Kurven aller Ansätze nahezu identisch.

Den Verlauf des Methangasertrages des Substratgemisches aus Maissilage und Rindergülle veranschaulicht Abbildung 11.

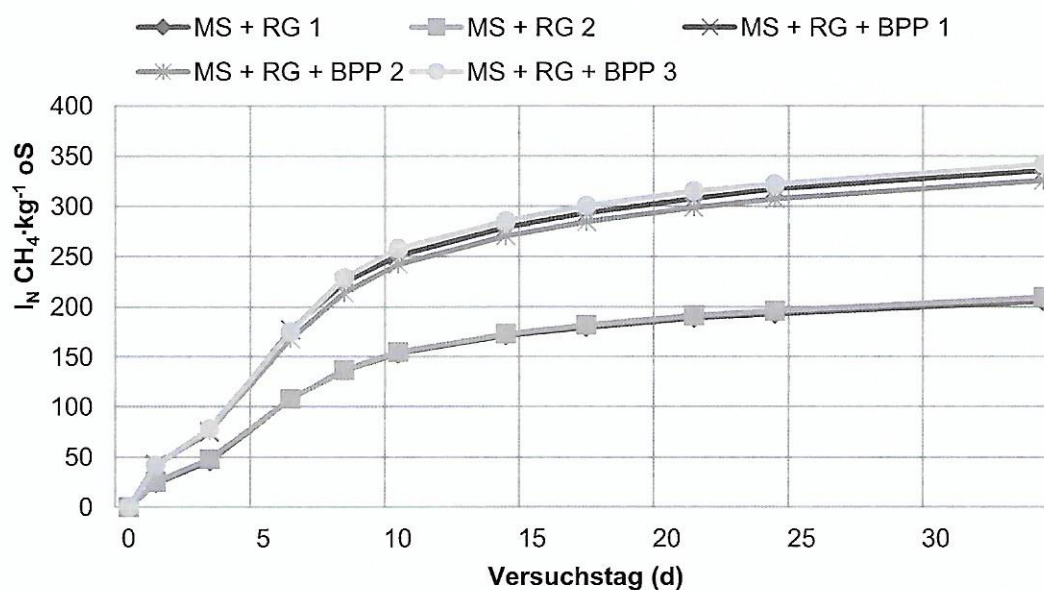


Abbildung 11: Methangasertrag von Maissilage und Rindergülle mit und ohne Additiv im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

In den ersten 2 - 3 Tagen nach Versuchsbeginn liegen die Methangasproduktionen eng beieinander. Dies ändert sich ab dem 4. Versuchstag. Der Anstieg der Methangasproduktion in den Varianten mit Additiv nimmt stark zu und grenzt sich klar von den Produktionsmengen der Ansätze ohne Additiv ab. Ab dem 9. - 11. Versuchstag flacht der Kurvenverlauf ab. Damit ist der Anstieg bis zum Versuchsende nur noch gering.

Abbildung 12 und 13 stellen den Gesamtgasertrag sowie den Methangasertrag von Maissilage und Rindergülle dar. Im Vergleich zu Abbildung 10 und 11 erfolgte der Einsatz des Additivs jedoch nicht mehr nach Einsatzempfehlung, sondern wurde um 20 % erhöht.

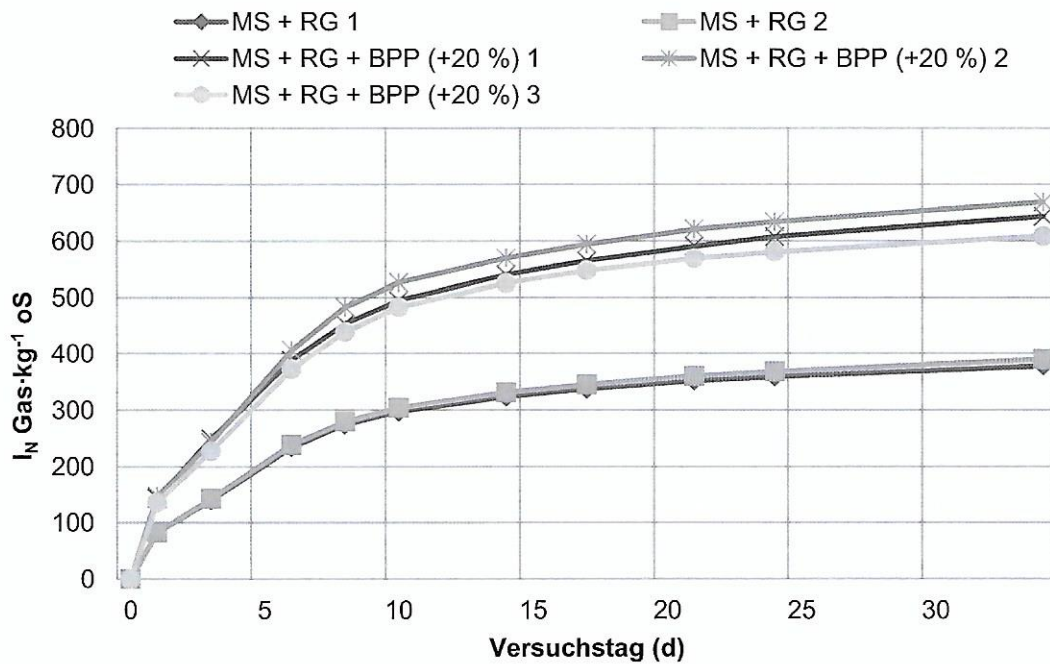


Abbildung 12: Gesamtgasertrag von Maissilage und Rindergülle mit und ohne Additiv (+20 %) im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

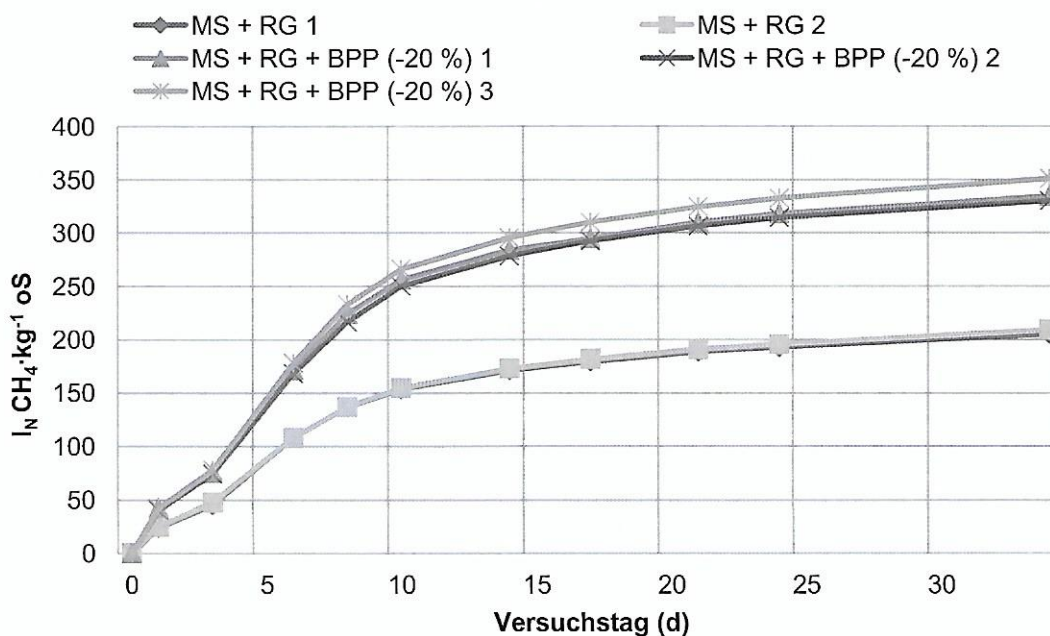


Abbildung 13: Methangasertrag von Maissilage und Rindergülle mit und ohne Additiv (+20 %) im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

Beide Diagramme ähneln den Biogas und Methanverläufen der Variante mit Rindergülle und Maissilage. Der Anstieg des Gesamtgasertrages der Varianten mit Additiv verläuft deutlich steiler als bei denen ohne. Bei der Methangasproduktion hingegen setzt der starke Anstieg erst ab dem 4. Versuchstag ein. Ein Abflachen der Kurven aller Varianten beginnt ab dem 9. Versuchstag. Ab diesem Zeitpunkt erzeugen alle Ansätze weniger Gas pro Versuchstag. Die Darstellung zeigt, dass die Varianten unter Zusatz des homöopathischen Mittels während der gesamten Versuchszeit mehr Gesamtgas sowie Methangas produzieren.

In Abbildung 14 und 15 ist erneut der Gesamtgas- sowie der Methangasertrag von Maissilage und Rindergülle dargestellt. Der Zusatz des Additivs wurde, ausgehend von der Einsatzempfehlung, um 20 % verringert.

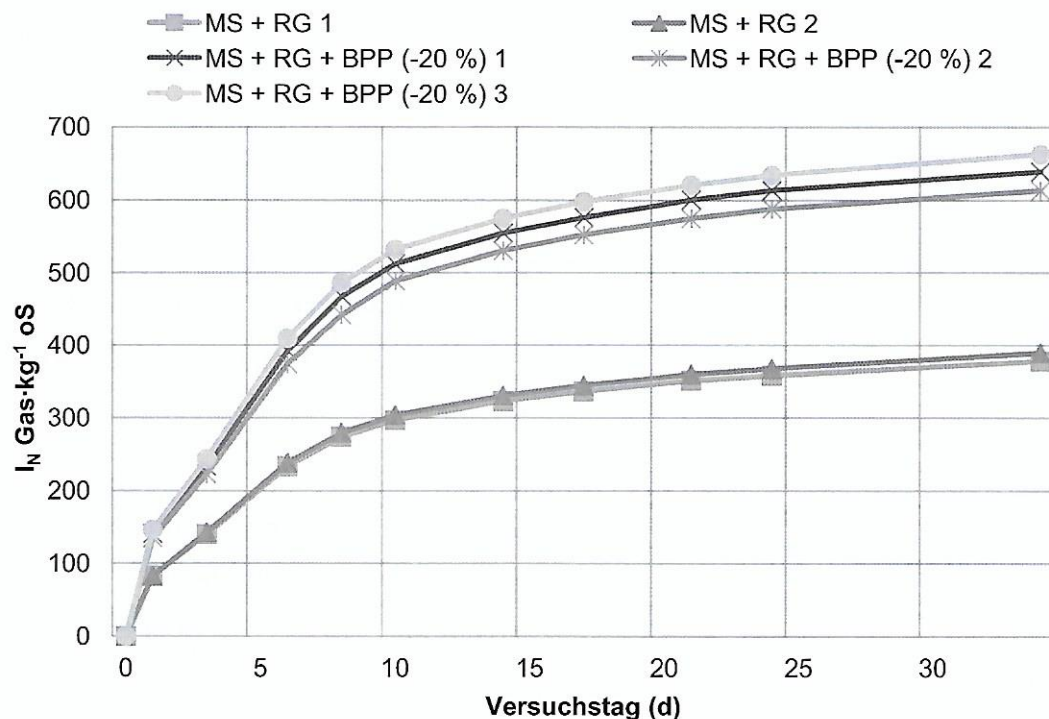


Abbildung 14: Gesamtgasertrag von Maissilage und Rindergülle mit und ohne Additiv (-20 %) im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

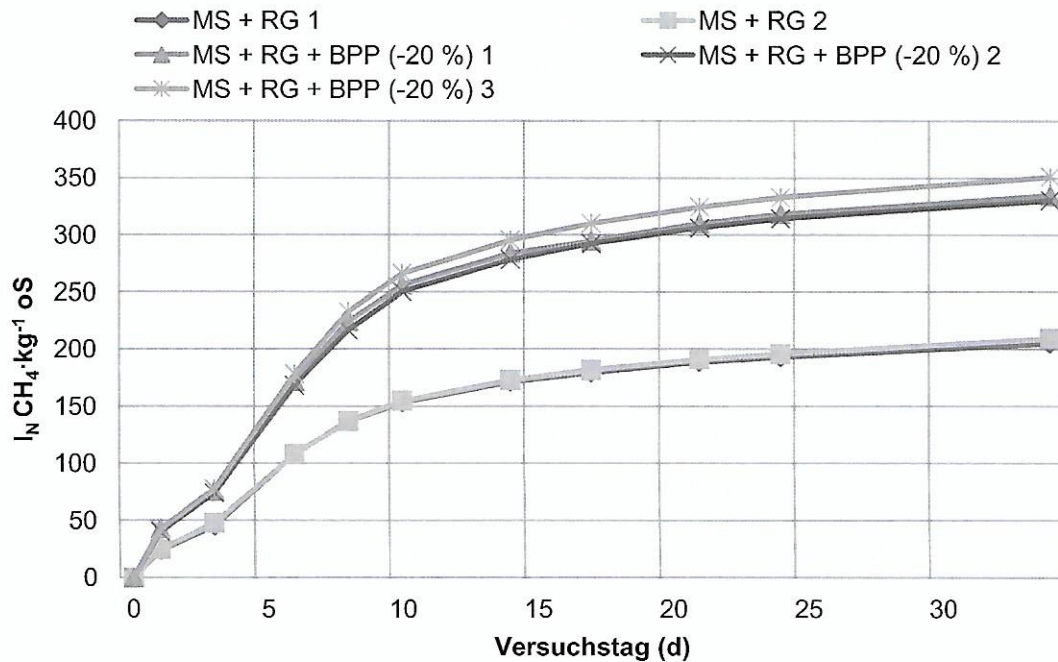


Abbildung 15: Methangasertrag von Maissilage und Rindergülle mit und ohne Additiv (-20 %) im Verlauf des Batchversuches (MS: Maissilage, RG: Rindergülle, BPP: Biogas Power Powder (Additiv))

Der Anstieg der Gesamtgasproduktion, der Varianten mit Additiv, verläuft ab Versuchsbeginn steiler und nimmt erst zwischen dem 9. und 11. Versuchstag ab. Der Anstieg der Methangasproduktion steigt dagegen erst ab dem 4. Versuchstag stärker an. Die Verläufe aller dargestellten Kurven flachen ab dem 9. - 11. Versuchstag ab. Demnach ist der Anstieg für beide Varianten nur noch gering. Keine Kurve weist Besonderheiten, wie zum Beispiel einen außerordentlich starken Abfall oder Anstieg der Gasproduktion, auf. Unter Einsatz des Biogas Power Powder wird während der gesamten Versuchszeit mehr Gesamtgas sowie Methangas produziert. Trotz Reduzierung des homöopathischen Mittels ist ein Mehrertrag an Biogas und Methan gegenüber der Variante ohne Additiv, sowie auch gegenüber der Variante nach Einsatzempfehlung zu erkennen.

Da sowohl die reduzierte (-20 %) als auch die erhöhte (+20 %) Additivvariante in dem diskontinuierlichen Laborversuch einen Mehrertrag an Biogas und Methan erbrachte, ist fraglich, ob die empfohlenen Aufwandmenge nach Einsatzempfehlung als optimal zu bezeichnen ist.