

Abbildung 1: Biogasanlage der kaim agrar-Energie GmbH & Co.KG



Praxisversuch: Spezialenzyme für die Optimierung der Biogasproduktion aus Mist

In einem Forschungsvorhaben wurde die Wirkungsweise von Enzympräparaten in einer Praxisbiogasanlage mit hohem Misteinsatz unter kontinuierlicher messtechnischer und analytischer Begleitung geprüft und bewertet.

Von Dr.-Ing. Patrice Ramm, Dr.-Ing. Frank Scholwin und Philipp Liebsch

SONDERDRUCK
Vom Original
Seite 106-115

Die Nutzung von Enzymen als Additiv in Biogasanlagen ist umstritten. Es existiert eine Vielzahl von wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Publikationen zum Einsatz von Enzymen und der resultierenden Effekte, wie zum Beispiel hinsichtlich einer Steigerung des Methanertrages, einer Verbesserung der Viskosität oder einer Beschleunigung des Abbaus von proteinhaltigen Substratanteilen. Es wird eine Vielzahl an Enzymtypen mit zum Teil sehr individueller Wirkungsweise verwendet, so dass eine Verallgemeinerung nicht sinnvoll und möglich ist, auch wenn in der Diskussion der Praktiker meist sehr pauschale Urteile gefällt werden.

Der größte Teil der publizierten Untersuchungen bezieht sich auf den vergleichenden Einsatz von Enzymen unter Labor- und Technikumsbedingungen. Die Ergebnisse sind hinsichtlich der Übertragbarkeit auf den Praxismaßstab in vielfacher Art und Weise angreifbar – auch wenn klar sein muss, dass eine wirklich systematische und wissenschaftlich korrekte Analyse im Bereich der Biogasgewinnung aus praxisrelevanten Substraten Mehrfachansätze und parallele Versuchsführungen mit Null- und Vergleichsversuchen erfordert. Damit kann nur ein Kompromiss zwischen wissenschaftlicher Gründlichkeit und sicher in die Praxis übertragbaren Forschungsergebnissen gefunden werden.

Auf der anderen Seite schwören einige Praktiker auf die Wirkung eines Enzymeinsatzes in ihrer Biogas-

anlage, ohne einen klaren Beweis der Wirkung nachweisen zu können und zu wollen. Andere Betreiber sind sich sicher, dass die von den Enzymanbietern versprochenen Effekte nicht eintreten oder die mit dem Enzymeinsatz verbundenen Kosten durch die Effekte nicht amortisiert werden können. Die Enzymanbieter selbst geben nur sehr begrenzt Garantien für die Enzymwirkung, da diese massiv von der individuellen Betriebsweise der Biogasanlage und der

Kenndaten der Biogasanlage der kaim agrar-energie GmbH & Co.KG (Biogasanlage mit Blockheizkraftwerk)

Anlagengröße		
Vorgrube (am Stall)	m ³	375
Fermenter	m ³	2.386
Nachgärer	m ³	2.386
Gärrestlager (gasdicht)	m ³	2.386
Einsatzstoffe (2022)		
Rindergülle	t/a	3.331
Rindermist	t/a	2.732
Maissilage	t/a	2.637
Futterroggensilage (GPS)	t/a	1.389
Grassilage	t/a	3.087
KWK-Anlage		
Inst. elektr. Leistung	kW	910
Therm. Leistung	kW	946

Abbildung 2: Für die Biogasproduktion genutzter Rindfestmist



SONDERDRUCK
Vom Original
Seite 106-115

Applikationsweise des Zusatzstoffes abhängt (zum Beispiel Temperaturführung, Substratzusammensetzung, Wechsel der Qualität und der Art der Einsatzsubstrate, Verweilzeit, Zeitpunkt und Ort der Dosierung etc.). Gerade diese Situation hat die Autoren zu folgenden Schlüssen kommen lassen:

- ▶ Im Labor als vielversprechend identifizierte Enzyme müssen ihre Wirkung zwingend unter Praxisbedingungen zeigen, um die Wirkung sowohl für den Enzymanbieter als auch für Biogasanlagenbetreiber plausibel nachweisen zu können.
- ▶ Ein Praxisversuch muss möglichst gut dokumentiert in einer Biogasanlage durchgeführt werden, die einen praxisrelevanten und zukunftsgerichteten Substratmix einsetzt.
- ▶ Es muss eine messtechnische Begleitung und Dokumentation in einem engen Zeitraster erfolgen, um sicher zwischen Einflüssen aus den leider so typischen Veränderungen der Betriebsparameter einer Biogasanlage und Einflüssen des Enzympräparateinsatzes unterscheiden zu können.
- ▶ Der Praxisversuch muss über eine ausreichend lange Zeit erfolgen, damit ein Referenzzeitraum ohne Enzympräparateinsatz mit einem Zeitraum mit Enzympräparateinsatz verglichen werden kann. Da üblicherweise keine zwei identischen Biogasanlagen nebeneinander betrieben werden können, müssen Referenzzeitraum und Enzympräparateinsatzzeitraum nacheinander liegen.

Vor diesem Hintergrund wurde in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit einem relativ hohen Festmistanteil ein Referenzzeitraum ohne Enzympräparateinsatz sowie ein Zeitraum mit Enzympräparateinsatz messtechnisch und analytisch begleitet.

Beschreibung der untersuchten Praxisanlage

Als Versuchsanlage wurde die Biogasanlage der kaim agrar-energie GmbH & Co.KG ausgewählt (siehe Abbildung 1). Diese Anlage ist an einen Betrieb mit Milchviehhaltung angeschlossen (Havellandhof Ribbeck Peter Kaim) und dient der Gewinnung von Strom und Wärme. Eine Kurzbeschreibung der Biogasanlage enthält die dargestellte Tabelle.

Bei den Einsatzstoffen handelt es sich um eine Mischung aus etwa 50 Prozent Wirtschaftsdünger (Rindergülle und Rindermist) und zirka 50 Prozent NaWaRo (Maissilage, Futterroggen/GPS und Grassilage). Die angestrebte Prozesstemperatur im Fermenter beträgt 48 Grad Celsius (°C). Im Versuchszeitraum lag sie mit 40 °C jedoch im mesophilen Bereich.

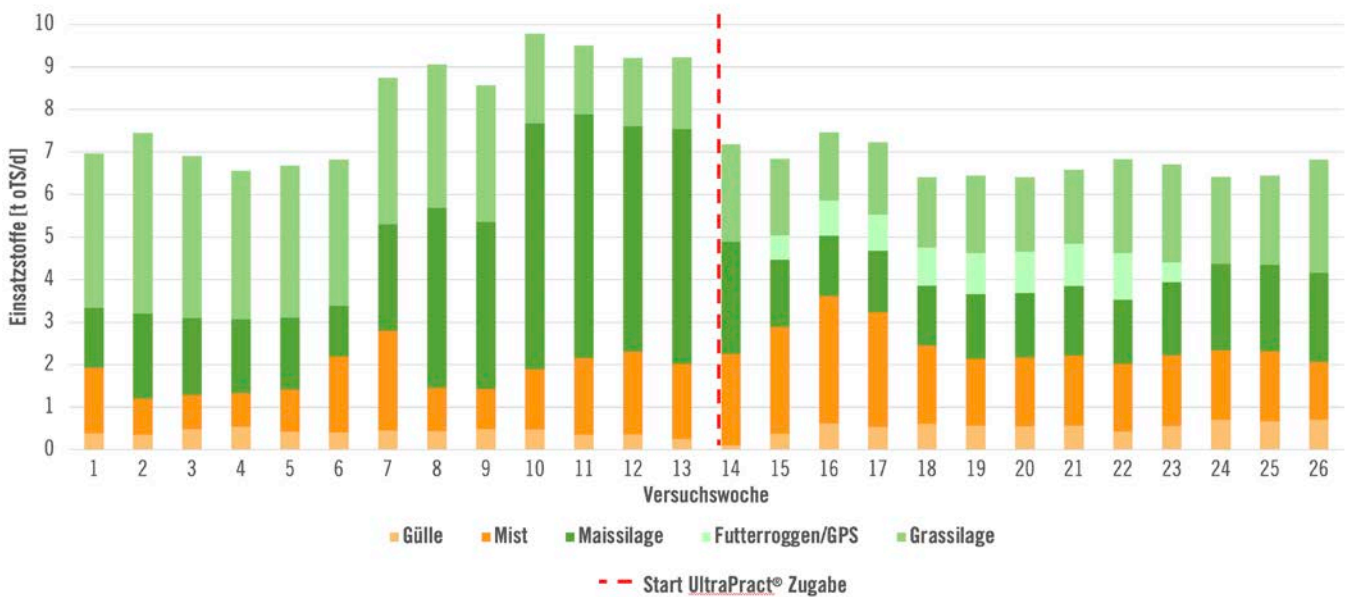
Die Biogasanlage wurde über einen Versuchszeitraum von sechs Monaten möglichst konstant betrieben und durch ein hoch aufgelöstes Monitoring begleitet. Die aktuelle Beschickung im Versuchszeitraum, das durchgeführte Monitoring und Herausforderungen im Praxisbetrieb werden im Abschnitt „Durchführung des Enzympräparateinsatzes und wissenschaftliche Begleitung“ beschrieben.

Durchführung des Enzympräparateinsatzes und wissenschaftliche Begleitung

Versuchskonzept

Der Versuchszeitraum war in zwei aufeinanderfolgende Versuchsphasen – eine Referenz- und eine Applikationsperiode – mit einer Laufzeit von jeweils drei Monaten unterteilt. Alle Betriebsparameter der Anlage wurden während des Versuchszeitraums so weit wie möglich konstant gehalten. Die Referenzperiode diente zur detaillierten Charakterisierung der

Abbildung 3: Art und Menge der Einsatzstoffe, Wochenmittel



Anlagenleistung bei üblicher Betriebsweise. In der Applikationsperiode erfolgte der ergänzende Einsatz von Enzympräparaten der Biopract ABT GmbH, UltraPract® PG und ViscoPract® CP mit dem Ziel, die Prozessleistung der Anlage zu erhöhen.

Monitoring

Über den gesamten Versuchszeitraum wurde die Biogasanlage kontinuierlich hinsichtlich der Leistung und der Stabilität des biologischen Prozesses überwacht. In Anlehnung an die Empfehlungen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR, 2016) wurde das im Folgenden beschriebene Messprogramm durchgeführt. Alle Einsatzstoffe wurden wöchentlich, die Gärrückstände aus Fermenter und Nachgärer im Zyklus von zwei Wochen chemisch-analytisch untersucht.

Ermittelt wurden dabei die Gehalte an Trockensubstanz und organischer Trockensubstanz sowie die Konzentration an Ammonium-Stickstoff und die Gesamtstickstoffkonzentration. Ergänzend dazu erfolgte monatlich eine Bestimmung der organischen Säuren (Essig-/Butter-/Propion-/Valerian-/Milchsäure) in den Fermentern sowie zum Versuchsbeginn und zum Ende der beiden Versuchsphasen eine erweiterte Weender Analyse nach van Soest. Als wichtigste Betriebsparameter der Anlage wurden die Inputmenge, die Zusammensetzung des Inputs, die Prozesstemperatur, die elektrische Leistung der Blockheizkraftwerke (BHKW) und der elektrische Bezug (Eigenenergiebedarf) täglich erfasst.

Zur Beurteilung der Enzymwirkung wurde für jede Versuchswoche ein Mittelwert der realen Anlagen-

leistung berechnet und dieser mit der theoretischen Leistung in Bezug auf Literaturwerte für die Methanerträge der Inputstoffe nach Amon et al. (2015) verglichen. Die Auswertung wurde durch das IASP vorgenommen und vom Institut für Biogas, Kreislaufwirtschaft & Energie geprüft.

Einsatzstoffe

Die Zusammensetzung der im Versuchszeitraum eingesetzten Einsatzstoff-Mischung ist in Abbildung 3 dargestellt. Bedingt durch Vorgaben der Betriebsführung und saisonale Entwicklungen kam es dabei zu Schwankungen, die im praxisüblichen Rahmen liegen.

Zur Bewertung der Enzymwirkung ist auf die nicht von den Autoren beabsichtigte Erhöhung des Anteils faserhaltiger Substrate (Rinderfestmist und Futterroggen/GPS) bei gleichzeitiger Reduzierung des Maissilage-Anteils ab Beginn der Applikationsperiode hinzuweisen.

Enzymeinsatz

Enzyme arbeiten substratspezifisch. Das heißt, sie katalysieren nur biochemische Reaktionen mit exakt zu ihnen passenden Reaktionspartnern. Die Auswahl der passenden Enzymaktivitäten für einen Anwendungsfall in einer Biogasanlage setzt somit ein fundiertes Wissen sowohl über die Substrate als auch die Enzyme voraus. Es wurden zwei Enzymprodukte der Biopract ABT GmbH eingesetzt:

- ▶ UltraPract® PG: Patentiertes Produkt zum verbesserten Aufschluss von Wirtschaftsdüngern, ▶

Abbildung 4: Pumpe zur Dosierung der Enzympräparate



zesstemperatur demzufolge im Mittel bei 40 °C. In Versuchswoche 15 kam es zu einer stetigen Verschlechterung der Durchmischung des Fermenterinhalts und der Ausbildung einer Schwimmschicht. Diese Entwicklung ist höchstwahrscheinlich auf die Erhöhung des Anteils faserhaltiger Substrate (Rinderfestmist und Futterroggen/GPS) zurückzuführen. Um eine Überlastung von Rührwerken zu vermeiden, wurden einmalig 60 kg des Enzympräparates ViscoPract® CP in den Fermenter gegeben. Dadurch wurden innerhalb der folgenden sieben Tage eine deutliche Reduzierung des zur Durchmischung notwendigen elektrischen Bezugs und eine Auflösung der Schwimmschicht erreicht. Aufgrund einer beginnenden erneuten Schwimmschichtbildung wurden in Versuchswoche 23 nochmals 40 kg ViscoPract® CP eingesetzt.

SONDERDRUCK
Vom Original
Seite 106-115

wie Rindermist und -gülle in Verbindung mit hemicellulosereichen Substraten, wie Getreide-Ganzpflanzensilage. Ermöglicht wird dies durch eine innovative Kombination von ausgewählten Enzymaktivitäten.

- ▶ ViscoPract® CP: Produkt mit hoher Enzymaktivität auf Feststoffen. Damit eignet sich das Produkt hervorragend zur Beseitigung von Schwimm- und Sinkschichten sowie akuter Viskositätsprobleme.

Die Zugabe des Enzympräparates UltraPract® PG erfolgte ab Versuchswoche 14 (Beginn der Applikationsperiode) bis zum Versuchsende mithilfe einer nachgerüsteten Pumpe, siehe Abbildung 4, über das Feststoffeintragssystem der Biogasanlage. Die Zugabe erfolgte kontinuierlich mit einer Konzentration in Höhe von 1,4 Kilogramm pro Tag (kg/d), zur Aufkonzentrierung lag die Dosis in den ersten 14 Tagen bei 4,1 kg/d.

Herausforderungen im Praxisbetrieb

In den Versuchswochen 7 (in der Referenzperiode) und 25 (in der Applikationsperiode) musste der Fermenter geöffnet werden, um defekte Rührwerke auszutauschen. Bei der ersten Öffnung kam es zu einer Abkühlung. Aufgrund der bevorstehenden Winterperiode konnte die Temperatur nicht wieder auf den ursprünglichen Wert in Höhe von durchschnittlich 46 °C gebracht werden. Im weiteren Verlauf lag die Pro-

Ergebnisse des Enzymeinsatzes

Charakterisierung der Inputstoffe

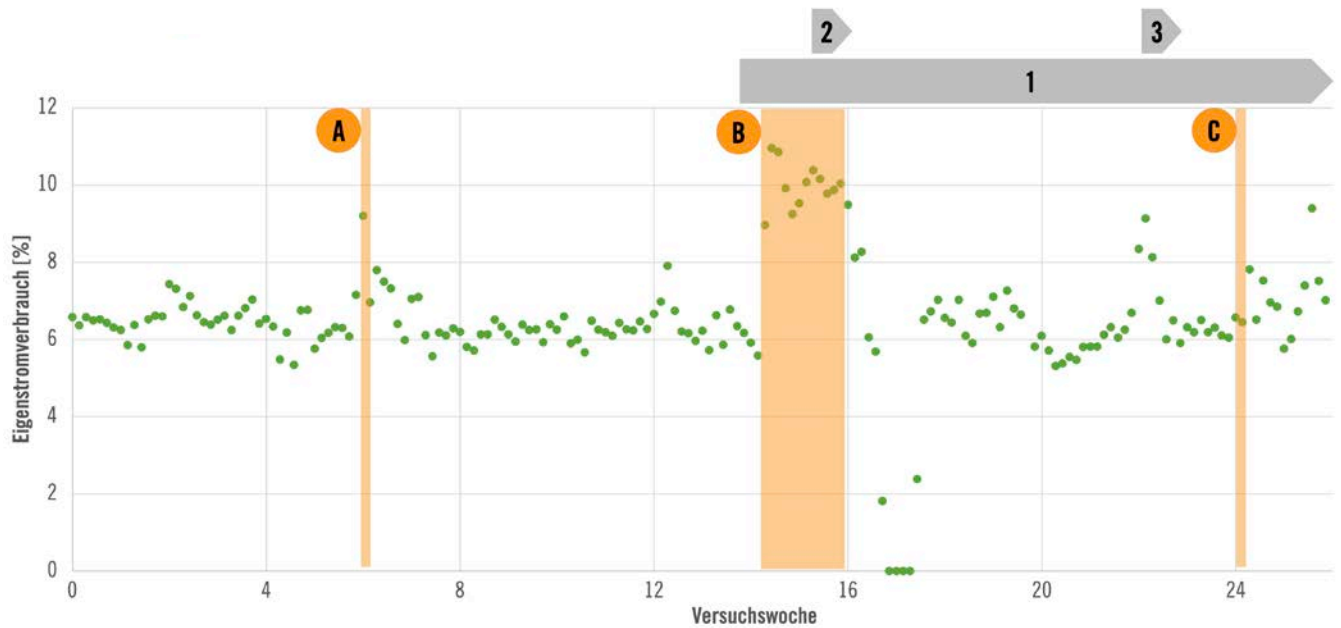
Die wöchentliche Beprobung und Analyse aller Einsatzstoffe erlaubte es, Schwankungen in den Substratqualitäten zu erfassen. Hinsichtlich der Trockenmasse bildeten die ermittelten Werte nach Einschätzung des Anlagenbetreibers die Realität gut ab und konnten demzufolge wochengenau in der Datenauswertung berücksichtigt werden.

Schwerer ist es, Aussagen zu Veränderungen in den Substratzusammensetzungen aus Protein, Fett und Fasern abzuleiten. Die Schwankungen lagen teilweise bei über 40 Prozent. Weniger stark variierten hingegen die daraus ermittelten theoretischen Gasausbeuten, die annähernd den KTBL-Richtwerten (Amon et al., 2015) entsprachen.

Prozessstabilität

Über den gesamten Versuchszeitraum war die Biogasanlage biologisch stabil. Die Konzentrationen an organischen Säuren im Fermenter waren sehr gering und lagen weit unterhalb den von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als kritisch angegebenen Grenzwerten (FNR, 2016). Die Konzentrationen an Gesamt- und Ammonium-(NH₄-N)-Stickstoff im Fermenter waren sehr konstant. Gemittelt über den Versuchszeitraum lagen die Konzentrationen bei 4,55 ± 0,24 Gramm pro Kilogramm (g/kg) (Nges) beziehungsweise 2,52 ± 0,01 g/kg (NH₄-N). Das Niveau

Abbildung 5: Eigenstromverbrauch über den gesamten Versuch. Markiert sind technische Zwischenfälle (A, B, C) und Zeitpunkte der Enzymzugaben [UltraPract® PG (1), ViscoPract® CP (2, 3)]



des Ammonium-Stickstoff war relativ hoch, die FNR gibt 3,5 Gramm pro Liter (g/L) als Grenzwert an (FNR, 2016). Aufgrund der Gleichmäßigkeit der Messwerte ist aber von einer guten Adaption der mikrobiellen Biozönose auszugehen.

Die Enzymapplikation hatte keinen nachweisbaren Effekt auf die Faserzusammensetzung in Fermenter und Nachgärer. Die Variationen in Rohfett, Rohprotein und Rohfaser sowie den Faserfraktionen im Versuchszeitraum lagen bei bis zu 40 Prozent. Dies verhindert, dass die Einflüsse des geänderten Substratmixes und des Enzymeffektes auf die Faserzusammensetzung objektiv voneinander getrennt werden können.

Rührenergie

Im Versuchszeitraum konnte ein weitgehend störungsfreier Betrieb realisiert werden, bis auf drei Ausnahmen (siehe Abbildung 5):

- ▶ Jeweils ein Rührwerkstausch in Referenz- (Ereignis A) und Applikationsperiode (Ereignis C).
- ▶ Schwimmschichtbildung aufgrund unzureichendem Faserabbau in der Referenzperiode (Ereignis B).

Diese Ereignisse hatten direkte Auswirkungen auf den Rührenergieverbrauch und machten einen kombinierten Einsatz von zwei komplementären Enzymprodukten notwendig (siehe Abbildung 5):

- ▶ (1): Start der Zugabe von UltraPract® PG.

- ▶ (2 und 3): Zugaben von ViscoPract® CP, um die Schwimmschicht zügig aufzulösen beziehungsweise die verbleibenden Rührwerke bis zum Rührwerkstausch zu unterstützen. Durch die Zugabe von ViscoPract® CP (2) konnte die beobachtete Schwimmschicht innerhalb weniger Tage abgebaut werden. Laut Betreiber resultierte die Schwimmschicht aus einer erhöhten Zugabe an Grassilage vor Beginn dieses Versuches.

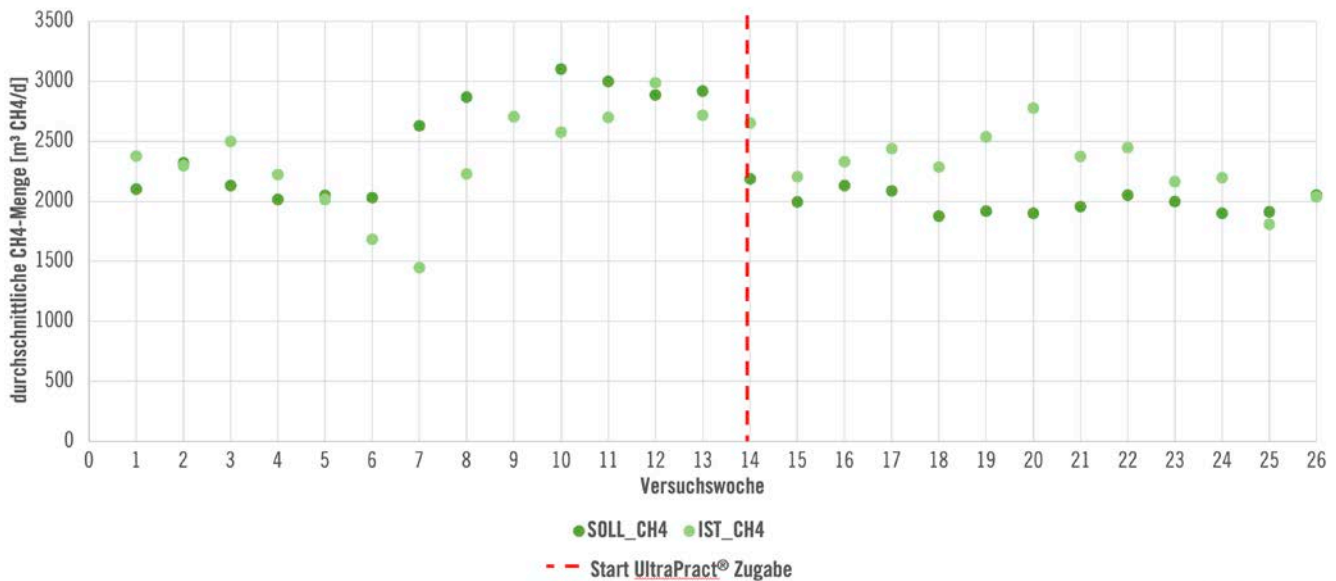
Die zweite Zugabe von ViscoPract® CP (3) unterstützte die verbleibenden Rührwerke im Fermenter nach dem Ausfall eines Rührwerkes. Dieses wurde nicht sofort ausgetauscht, da dazu die Fermenterhaube geöffnet werden muss, was aufgrund der zu diesem Zeitpunkt niedrigen Umgebungstemperaturen vermieden werden sollte.

Der Eigenstromverbrauch stieg während des Versuchs nicht substantiell an. Dies ist beachtlich, da die Fütterung in der zweiten Versuchshälfte deutlich mehr schwervergärbare Substrate, wie Rindermist, enthält.

Gasproduktion/Performance

Durch die tägliche Zugabe von UltraPract® PG konnte die Biogasproduktion aus dem Substratmix signifikant gesteigert werden. Eine Knappheit an Maissilage erforderte es, die Einsatzmengen an Rindermist in der zweiten Versuchsphase (Applikationsperiode) deutlich zu erhöhen. Umso geeigneter und auch notwendiger war die Zugabe des Enzymproduktes, ▶

Abbildung 6: Vergleich der SOLL- und IST-Methanproduktion in beiden Versuchsphasen



um die Rührfähigkeit des Mediums zu bewahren und den Prozess stabil zu halten.

Zur Bestimmung der Anlagenperformance wurde für jeden Tag eine SOLL-Methanproduktion aus der erfolgten Substratzufuhr berechnet und eine IST-Methanproduktion aus den Verbrauchsdaten des BHKW ermittelt. Das Verhältnis beider Werte gibt Aufschluss über die Effizienz des biologischen Prozesses, siehe Abbildung 6.

Für eine korrekte Abschätzung der SOLL-Methanproduktion ist eine umfangreiche Charakterisierung der Einsatzstoffe sehr wichtig. Durch die engmaschige Beprobung und Analyse der Einsatzstoffe war eine Korrektur des Einflusses schwankender Substratqualitäten und -zusammensetzungen über die Versuchslaufzeit möglich. Die theoretischen Gaserträge der Substrate wurden KTBL-Referenztabellen entnommen.

Die Anlagenperformance war im Durchschnitt in der Applikationsperiode um 22 Prozent höher als in der Referenzperiode. Der Energieertrag in Kilowattstunden pro Tonne organische Trockensubstanz (kWh/t oTS), siehe Abbildung 7 auf Seite 108, stieg in der Applikationsperiode im Schnitt um 18 Prozent, obwohl der Substratmix im Vergleich zur Referenzperiode einen größeren Anteil energieärmerer Bestandteile enthielt.

Ökonomischer Vorteil

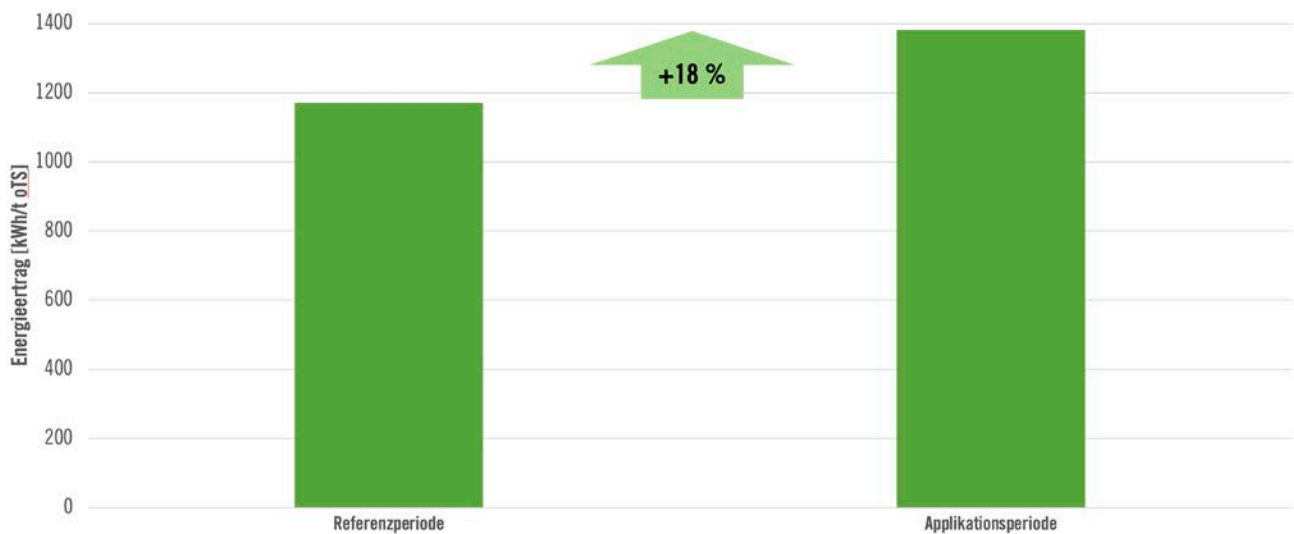
Ökonomische Vorteile können unter drei Aspekten erreicht werden: Substrateinsatz, Stromproduktion und Erzielung einer besseren Treibhausgasemissionsquote. Beziehen wir den gesteigerten Energieertrag auf den Input an Mais in der untersuchten Biogasanlage [durchschnittliche elektrische Leistung 390 Kilowatt (kW), oTS Mais = 29 Prozent der Frischmasse

(FM)], ergibt sich eine theoretisch mögliche tägliche Einsparung in Höhe von 3,6 Tonnen (t) Mais. Stellen wir die Kosten des Enzymeinsatzes der Maiseinsparung mit gängigen Maispreisen gegenüber, liegt der tägliche Mehrerlös für den Betreiber in diesem Fall bei etwa 115 Euro.

Beziehen wir bei der untersuchten Biogasanlage (Input 6,73 t oTS/d) den gesteigerten Energieertrag auf den Gesamt-Input an oTS in der Applikationsperiode, ergibt sich eine tägliche Mehrproduktion von 1.180 Kilowattstunden (kWh). Die Wirtschaftlichkeit des Enzymeinsatzes ist an dieser Stelle noch deutlich stärker ausgeprägt. Der zusätzliche Deckungsbeitrag für den Anlagenbetreiber liegt bei etwa 200 Euro am Tag.

Die Treibhausgasemissionsminderungsquote ist bei der Vermarktung von Biogas als Biomethan im Kraftstoffsektor von entscheidender Bedeutung. Ein großer Teil des Ertrages aus dem Verkauf von Biomethan resultiert aus der mit der Nutzung des Kraftstoffs erzielten Minderung von Treibhausgasemissionen gegenüber der fossilen Alternative. Beim Einsatz von Mist und Gülle für die Biomethanherzeugung wird kalkulatorisch nach den Regeln der Renewable Energy Directive II (RED II) ein Emissionswert von etwa -100 Gramm CO₂-Äquivalent pro Megajoule (g_{CO₂Aq}/MJ) erreicht.

Biomethan aus den meisten Reststoffen erreichen dagegen etwa +6 g_{CO₂Aq}/MJ und fossile Kraftstoffe +94 g_{CO₂Aq}/MJ. Aus der Differenz zwischen fossilem Kraftstoff und erneuerbarem Biomethan lässt sich die mit einer bestimmten Kraftstoffmenge eingesparte CO₂-Emission ermitteln. Da die Inverkehrbringer von Kraftstoffen (zum Beispiel Tankstellenbetreiber) zu einer Reduktion von CO₂-Emissionen aus der Nut-

Abbildung 7: Vergleich des Energieertrages zwischen den beiden Versuchsphasen


zung der verkauften Kraftstoffe um 25 Prozent bis zum Jahr 2030 verpflichtet sind und für die Nichterfüllung eine Pönale in Höhe von 600 Euro/t CO₂ zu zahlen ist, hat sich ein Markt für die aus dem Verkauf erneuerbarer Kraftstoffe resultierenden Emissionsreduktionen herausgebildet (sogenannte THG-Quote). Diese Marktentwicklung hat zu sehr hohen Preisen für Biomethan aus Gülle und Mist geführt. Sofern nun in einer Biomethananlage mehr Biomethan aus weniger Substrat erzeugt werden kann oder auch nachweislich mehr Biomethan aus Mist erzeugt werden kann, steigt die Menge an hochpreisigem Biomethan aus der Anlage, die (relative) Menge an Biomethan aus nachwachsenden Rohstoffen sinkt demgegenüber (zum Beispiel durch den Mindereinsatz von nachwachsenden Rohstoffen). Damit lässt sich für die Gesamtmenge an Biomethan ein zum Teil deutlich höherer Preis erzielen, wenn entweder der Gesamtertrag an Biogas aus einer Biogasanlage mit Mistanteil oder auch nur die spezifische Biogasproduktion aus Mist erhöht werden kann.

Fazit: Das Forschungsvorhaben hat anhand einer Praxisanlage sehr klar gezeigt, dass durch den Einsatz spezifischer Enzyme der Biogasertrag über einen Zeitraum von zwölf Wochen (Applikationsperiode) gegenüber einem Vergleichszeitraum von 14 Wochen ohne Enzymeinsatz (Referenzperiode) deutlich gesteigert wurde. Auch wenn im gesamten Versuchszeitraum die für praktische Biogasanlagen üblichen Vorkommnisse wie Rührwerkshavarien und Schwimmschichtbildungen aufgetreten sind, die zu einem vorübergehend diskontinuierlichen Anlagenbetrieb geführt haben, zeigen die Daten eine konstante Steigerung der Ausbeute. Die Ertragssteigerung bezogen auf die spezifische Methanausbeute pro Tonne oTS wurde in

der konkreten Anlage mit etwa 18 Prozent ermittelt. Darüber hinaus hat die Biogasanlage trotz Erhöhung des Anteils von Mist einen konstanten Eigenstrombedarf aufgewiesen, was eine Reduzierung der Viskosität vermuten lässt. Da die Biogasanlage eine sehr typische Konfiguration für deutsche landwirtschaftliche Biogasanlagen aufweist (typische landwirtschaftliche Substrate, etwa 135 Tage hydraulische Verweilzeit im beheizten gasdichten System zuzüglich gasdichtes Gärdüngerlager), ist davon auszugehen, dass mindestens für vergleichbare Anlagen ähnliche Effekte erreicht werden können. ◀

Danksagung: Das Vorhaben wurde dankenswerterweise durch die Investitionsbank Berlin im Rahmen des Programms „Transfer BONUS“ gefördert (FKZ TB3079/2022).

Ein besonderer Dank soll an dieser Stelle an das Team des chemisch-analytischen Labors des IASP, an Herrn Kenan Gohlke vom IASP und an den Betreiber der als Versuchsanlage genutzten Biogasanlage Peter Kaim gerichtet werden, die uns bei diesem Vorhaben großartig mit Rat und Tat unterstützt haben.

Autoren

Dr.-Ing. Patrice Ramm¹

Dr.-Ing. Frank Scholwin²

Philipp Liebsch³

¹ Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP), Berlin

² Institut für Biogas, Kreislaufwirtschaft & Energie, Weimar

³ Biopract ABT GmbH, Berlin

Mist statt Mais **ULTRAPRACT**

Unsere patentierten Enzymformulierungen, entwickelt für die Vergärung landwirtschaftlicher Reststoffe

- ⊕ Flexibilität beim Substrateinsatz
- ⊕ Beschleunigung beim Abbau
- ⊕ Reduktion der Gärrestmenge
- ⊕ Substrateinsparung
- ⊕ erhöhter Gasertrag

= gesteigerte Wirtschaftlichkeit

Nutzen Sie unseren Service:

Wir erarbeiten
gemeinsam mit Ihnen die
individuelle Anwendungsempfehlung für Ihre
Biogasanlage!



BIOGAS Convention
& Trade Fair

**Besuchen Sie uns in Halle 09 Stand E55
vom 12. bis zum 14. Dezember 2023 in
Nürnberg**

BIOPRACT

Biopract ABT GmbH

Alexander-Meißner-Straße 54
D-12526 Berlin
+49 (0)30 - 6670 - 2056

www.biopract-abt.de

