

Untersuchungen zum Restgaspotenzial landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Dr. Gerd Reinhold und Dr. Katja Gödeke

VDI - 7. Fachtagung Biogas 2013
„Energieerträge der Zukunft“

Spezialtag „Emissionen aus Biogasanlagen“

11. Juni 2013

in Nürtingen

Impressum

Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Naumburger Str. 98, 07743 Jena
Tel.: 03641 683-0, Fax: 03641 683-390
Mail: pressestelle@tll.thueringen.de

Juni, 2013

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

Untersuchungen zum Restgaspotential landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Gerd Reinhold, Katja Gödeke

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, Naumburger Str. 98, 07743 Jena

1. Problemstellung

Die Einführung der Biogastechnologie in die Landwirtschaft Deutschlands wurde durch das EEG 2000 initiiert. Seit 2004 erfolgte bis zur EEG Novelle 2012 eine stürmische Entwicklung, die durch unterschiedliche Agrarstrukturen in den einzelnen Regionen, aber auch durch die Tätigkeiten der Firmen zu vielfältigen verfahrenstechnischen Lösungen zur Biogaserzeugung geführt hat. Nach verfahrenstechnischen „Irrwegen“ wie Monovergärung von Mais als Trockenfermentation, orientierte das EEG 2009 wieder verstärkt auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern und Reststoffen in den Biogasanlagen (BGA). Bestrebungen zur Intensivierung der Vergärung, mit dem Ziel Faulraum und damit Investitionskosten zu sparen, wurden aber durch das EEG 2012 mit der pauschalen Festlegung von 150 Tagen Verweilzeit gebremst.

Bei der verfahrenstechnischen Anlagenauslegung spielte eine hohe Ausnutzung des Gasbildungspotentials und mögliche Umweltgefahren durch Restgasemission bei der Lagerung oft nur eine untergeordnete Rolle. Aber besonders für BGA mit hohen Substratkosten, d.h. ohne Einsatz von kostenarmen Substraten wie Wirtschaftsdünger und Reststoffen, ist aber die Gasausbeute ($\text{m}^3/\text{kg oTS}$) der wesentliche, die Substratkosten bestimmende Faktor, der durch andere Effizienzreserven wie den BHKW-Wirkungsgrad und auch die Wärmenutzung nur unzureichend kompensiert werden kann. Umweltseitig führt eine gute Substratausnutzung, ausgedrückt in Form einer hohen Gasausbeute, automatisch zu einem geringen Restgaspotential und ist somit ökonomisch hoch relevant.

Die EEG-Novelle 2009 reagierte auf diese Entwicklung indem für alle nach BImSchV genehmigungspflichtigen Neuanlagen eine gasdichte Abdeckung der Gärrestlager gefordert wurde. Leider berücksichtigen die Forderung des EEG nicht die unterschiedlichen verfahrenstechnischen Konzepte zur Substratausnutzung. Aufgrund des pauschalen Herangehens ist diese Forderung aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht verhältnismäßig, da der Mehraufwand für eine vollständige Abdeckung der düngerechtlich geforderten 180 Tage Lagerraum durch das aufgefangene Restgas in keinsten Weise getragen werden. So war die Umsetzung in der Praxis schwierig. Oftmals bestand der einzige Lösungsweg für die Praxis in der Unterschreitung der BImSchV-Grenze.

Vielfältige Betriebsvarianten und verfahrenstechnische Konzepte zielten oft nur auf eine maximale Auslastung der Investitionen, meist nur gemessen an der Volllaststundenzahl ab. So erfolgt die verfahrenstechnische Auslegung einer BGA zum Teil nicht auf hohe Gasausbeuten, was bei NAWARO-Einsatz nötig wäre, sondern zu pauschal über die Verweilzeit mit dem vorrangigen Ziel geringer Investitionen bzw. der Vergütungsoptimie-

rung. Nur bei Einsatz von kostenfreien Wirtschaftsdüngern und Reststoffen kann die maximale Ausnutzung der Investitionen durch hohe Faulraumbelastung ein ökonomisch anzustrebender Weg sein.

Ziel der Untersuchungen war es, die wesentlichen verfahrenstechnischen Einflussfaktoren auf das Restgaspotential durch Gärversuche zu ermitteln. Schwerpunkt bildet auch der Einfluss des Fettsäuregehaltes und der Vergärungstemperatur auf das Restgaspotential. Im Einzelnen wurde untersucht, welche verfahrenstechnischen Parameter den größten Einfluss auf das Restgaspotential ausüben, welchen Einfluss die Futterzusammensetzung und insbesondere der Gülleanteil haben und inwieweit das unter standardisierten Laborbedingungen ermittelte Restgaspotential mit dem der Lagerung unter Sommerbedingungen und der Lagerung unter Winterbedingungen in Einklang steht. Auch sind Fragen inwieweit der Fettsäuregehalt im Gärrest das Restgaspotential kennzeichnet und welchen Einfluss eine mehrstufige Vergärung auf das Restgaspotential besitzt bearbeitet worden.

2. Versuchsdesign

Thüringen führt seit mehreren Jahren ein Monitoring der landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit dem Ziel der Erhebung von verfahrenstechnischen Daten sowie der Erfassung der Substrat- und Gärresteigenschaften durch. Die Betriebsdaten der Thüringer Praxisanlagen belegen, dass Verweilzeit und Belastung neben der Substratmischung die wesentlichen, die Gasausbeute und damit auch das Restgaspotential bestimmenden Faktoren sind. Die Auswertung des Anlagenbestandes in Thüringen zeigt bei Bezug auf den gesamten gasdicht abgedeckten Raum eine erhebliche Spannweite in der Verweilzeit (Mittelwert: 102 d, Spanne 25 ... 240 d) und der Belastung (Mittelwert: 2,15 kg/m³, Spanne 0,45 ... 6,15 kg/m³). Diese große Spannweite ist nur zum Teil verfahrenstechnisch begründbar. Zu beachten ist hierbei der im Vergleich zum Durchschnitt von Deutschland deutlich erhöhte Wirtschaftsdüngeranteil.

Im Rahmen des Thüringer Monitorings der BGA 2010 erfolgte die Auswahl von 17 BGA mit einer hohen verfahrenstechnischen Variabilität, um die möglichen Spannbreiten der in der Praxis vorkommenden Anlagen abzubilden. In diesen Anlagen erfolgte zusätzlich eine Probenahme der Gärreste zur Ermittlung des Restgaspotentials. Bei der Auswahl der zu untersuchenden landwirtschaftlichen BGA wurde zusätzlich auf unterschiedliche Fütterungen geachtet. Im Einzelnen variierte in den ausgewählten BGA der Wirtschaftsdüngeranteil im Bereich von 0 bis 100 %. Der NAWARO-Anteil ist durch unterschiedliche Mengenanteile von Mais-, Anwelk- und Ganzpflanzensilage sowie Getreidekorn gekennzeichnet. Mit steigendem NAWARO-Anteil findet in der Regel auch eine Erhöhung des TS-Gehaltes statt und notwendigerweise eine Verlängerung der Verweilzeit zur Begrenzung der Belastung (Abb. 1) Die kürzeren Verweilzeiten waren in den Anlagen mit einem hohen Gülleanteil und die längeren in NAWARO-Anlagen zu finden. Hinsichtlich der Anlagengröße kamen Anlagen von 1.600 bis 7.200 m³ Faulraum bzw. 200 bis 1.600 kW installierter Leistung in die Auswahl. Diese Anlagen besaßen eine Stufigkeit von 1 bis 4 Behältern und rezirkulieren bis zu 16 % des Volumens des 1. Fermenters.

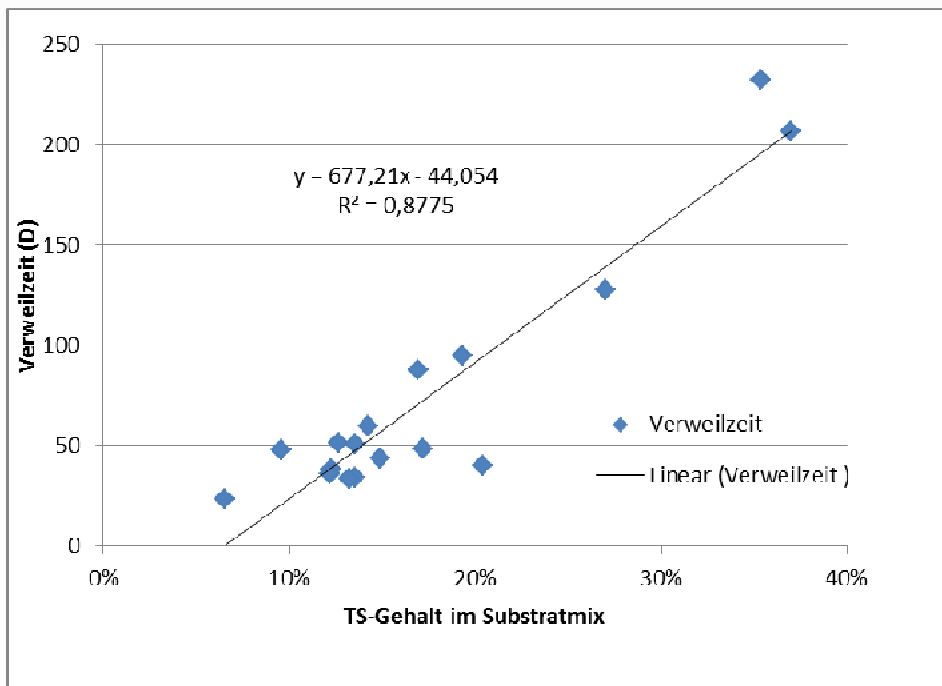


Abbildung 1: Beziehung zwischen TS- Gehalt im Substratmix und Verweilzeit in den ausgewählten Praxisanlagen

Die erforderlichen Gärrestproben wurden aus dem Ablauf der letzten gasdicht abgedeckten Stufe der BGA entnommen und einer nasschemischen Analyse vor der Restgaspotentialbestimmung mit dem Hohenheimer Biogasertagstest (HBT) unterzogen.

Die Vergärung im HBT erfolgte, über einen Zeitraum von 40 Tagen, in jeweils drei Wiederholungen. Zur Klärung des Temperatureinflusses erfolgten 3 parallele Ansätze. Die Temperaturstufe 37 °C wurde gewählt, um bei üblichen Labor-Vergärungstemperaturen das Restgaspotential zu ermitteln. Hieraus folgend können Entscheidungen über die Wirtschaftlichkeit einer Gärrestlagerabdeckung getroffen werden. 25 °C Gärtemperatur simulieren die Lager- und Emissionsbedingungen in der Sommerspitze. Diese beiden Ansätze wurden im HBT vergoren. Ein dritter Ansatz erfolgte unter vergleichbaren Bedingungen bei 10 °C im Kühlschrank, allerdings mit manuell Substratmischung. Damit werden die Lagerbedingungen im Winter simuliert.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Vergärungsbedingungen und Ergebnisberechnung

Im Gegensatz zur VDI 4630 erfolgte die Vergärung ohne Impfschlamm. Dadurch wird bei der zu erwartenden geringen Gasbildung den Einflussfaktor Impfschlamm ausgeschlossen. Weiter werden die anlagentypischen Milieubedingungen erhalten und die Ergebnisse sind somit repräsentativer. Üblicherweise wird die im HBT gemessene Gasbildung,

nach Abzug der Gasbildung aus dem Impfschlamm, auf Normbedingungen umgerechnet und auf die Substratmenge (I_N/kg) bzw. auf die oTS ($I_N/\text{kg oTS}$) bezogen. Bei der durchgeführten Analyse des Restgaspotentials erfolgte aber schon eine Vergärung in der BGA. Somit liefert der Bezug auf die im HBT eingesetzte organische Trockenmasse ($I_N/\text{kg oTS}$) keine mit den üblichen Richtwerten für Gasausbeuten vergleichbaren Werte. Somit ist es notwendig die eingesetzten oTS-Mengen zu erfassen. Im vorliegenden Fall erfolgte dies durch Erhebung mittels Fragebogen als Monatsmittelwerte. Die Berechnung der TS- und oTS Gehalte im Eingangssubstrat erfolgte stöchiometrisch über die in den Biogasanlagen erfassten Gas- und Stromerträge.

Zur Ermittlung des Restgaspotentials pro Stunde nach VDI 3475 ist es notwendig vom Batch-Ansatz auf eine kontinuierliche Vergärung umzurechnen. In der Laborpraxis sind hier vielfältige fehlerhafte Ansätze zu finden. So wird z.B. aus dem Batch-Versuch eine stündliche Gasbildung durch Division durch die Versuchslaufzeit ermittelt und diese ins Verhältnis zur stündlichen Gasproduktion der Biogasanlage gesetzt. Auch ist es fehlerhaft, wenn versucht wird die Gasbildung der BGA zu ermitteln, indem die stündliche Gasbildung auf das Substratvolumen des Fermenters und des gasdichten Gärrestlagers bezogen wird.

Aus fachlicher Sicht ist der Bezug auf die Masse der einzige denkbare Weg zur Ermittlung der „... Restmethanbildung pro Stunde ...“ um nachzuweisen, dass dies „... kleiner als 1,5 % der in der Biogasanlage pro Stunde gebildeten Methanmenge ist“ (VDI-Richtlinie 3475). Als erster Schritt ist die im Labor im Batch-Ansatz bei 20 °C über 60 Tage gemessene Methanmenge auf die eingewogene Substratmenge zu beziehen und als $\text{l CH}_4/\text{kg Gärrest}$ auszuweisen. Die in der BGA pro Stunde gebildete Methanmenge ist auf die mittlere stündliche Fütterung zu beziehen und als $\text{l CH}_4/\text{kg Substrat}$ anzugeben. Die prozentuale Restmethanbildung ergibt sich dann aus der Division dieser beiden Zahlen.

Die Vergärungstemperatur in der mittleren Temperaturstufe wurde im Gegensatz zur VDI 3475 mit 25 °C gewählt, da sonst zur Heizung zusätzlich eine Kühlung erforderlich gewesen wäre. Auch wurden die Versuche nicht über 60 Tage sondern nur über 40 Tage geführt.

3.2 Beziehung zwischen Gülleanteil im Substrat und verfahrenstechnischen Anlagenparameter

Zwischen Gülleanteil und Verweilzeit ist, aufgrund des geringeren TS-Gehalts der Gülle, eine deutliche Beziehung festzustellen. Mit steigendem Gülleanteil sind in den BGA kürzere Verweilzeiten gewählt worden (Abb. 2). Ursache hierfür ist, dass mit steigendem TS-Gehalt der Substratmischung (geringere Gülleanteile), die Verweilzeit in den BGA proportional steigt um die Belastung im optimalen Bereich zu halten.

Da die Auslegung von Anlagen in der Praxis vorrangig pauschal erfolgte und Gülle einen wesentlich geringeren TS-Gehalt besitzt, zeigt sich eine lineare Abhängigkeit zwischen

Gülleanteil und mittlerer hydraulischer Verweilzeit. Weiter war festzustellen, dass die Gülleanlagen mit oft höherer Belastung als NAWARO-Anlagen – ggf. auch aufgrund der besseren Pufferkapazität der Gülle - gefahren werden. Insgesamt spiegeln die ausgewählten Anlagen die Tatsache wider, dass in der Praxis, aufgrund ökonomischer Erwägungen, mit steigendem Gülleanteil kürzere Verweilzeiten gewählt werden. Auch müssen NAWARO-Anlagen schon aus Sicht der Raumbelastung mit längerer Verweilzeit betrieben werden.

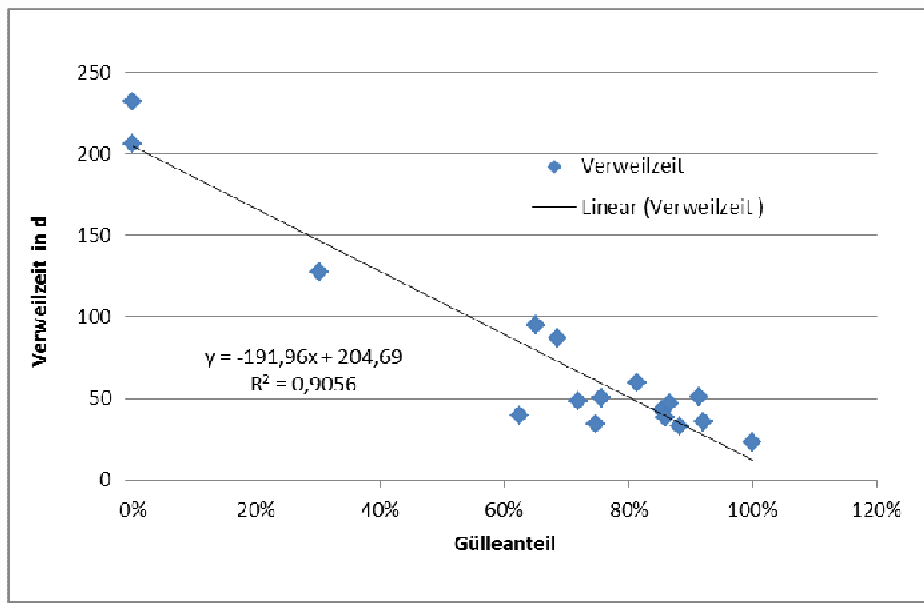


Abbildung 2: Verhältnis zwischen Gülleanteil und der gewählten Verweilzeit in den BGA

Hinsichtlich der Fütterung der einzelnen BGA wurde geprüft, ob bedingt durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Einzelsubstrate (Gasertrag, Abbaufähigkeit, ...) Unterschiede im Restgaspotential erkennbar werden. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) an der TS variiert von 40 – 70 % und an der oTS von 30 – 50 % (Abb. 3). Trotz deutlicher Unterschiede in der Fütterung der einzelnen Anlagen, sowie im TS-, oTS- und C_{org} -Gehalt der jeweiligen Substratmischung, konnte aber keine Beziehung zwischen Fütterungsart und Restgaspotential nachgewiesen werden.

Bei der Analyse der Daten zeigte sich eine tendenzielle Abhängigkeit des Restgaspotentials von dem Gülleanteil im Substratmix. Durch Gegenüberstellung des Gülleanteils an der Frischmasse, des Gasbildungsanteils aus der Gülle, der Verweilzeit und der Raumbelastung zeigte sich, dass trotz deutlich sinkender Verweilzeit mit steigendem Gülleanteil, ab 50 % Gülleanteil die Belastung der Anlage mit im Mittel $3 \text{ kg/m}^3 \text{ d}$ konstant bleibt (Tab. 1).

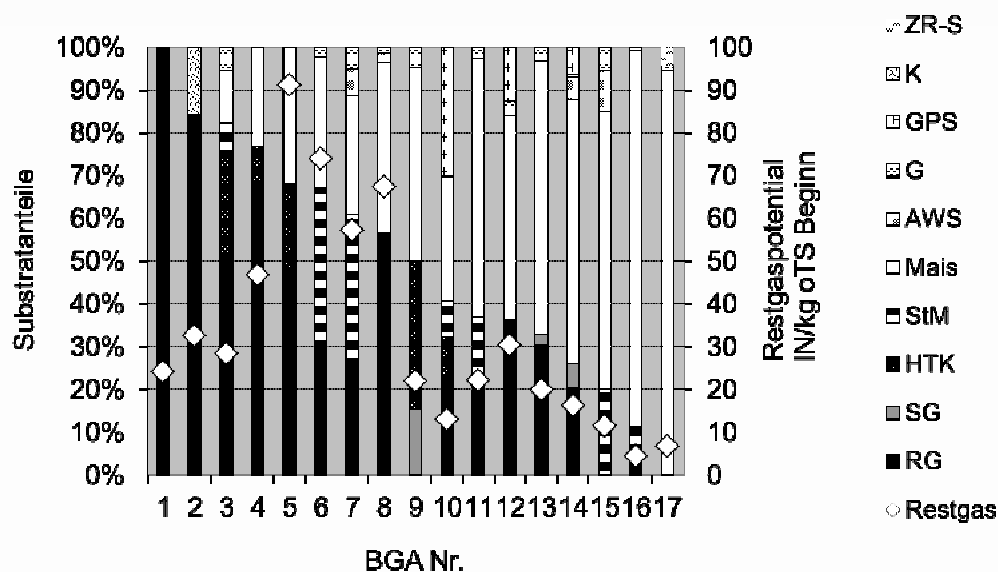


Abbildung 3: Restgaspotential und Substratanteil an der Methanbildung (Gasausbeute entsprechend KTBL-Richtwerten), absteigend sortiert nach Methanbildungsanteilen aus Wirtschaftsdünger
Legende: RG - Rindergülle, SG - Schweinegülle, HTK - Geflügelkot, StM - Stallmist, AWS - Anwelksilage, G - Getreidekorn, GPS - Ganzpflanzensilage, K - Kartoffeln, ZR-S - Zuckerrübenschnitzel

Tabelle 1: Verweilzeit und Belastung in Abhängigkeit vom Gülleanteil im Substratmix

Gülle-Anteil	Gasbildung aus Gülle	Mittlere Verweilzeit	Mittlere Belastung
im Substrat	im Mittel	d	kg/m ³ d
0 - 50%	2%	188	1,81
50 - 75 %	23%	61	3,19
75 - 90 %	42%	45	2,95
> 90 %	84%	37	2,89

Es zeigt sich auf Grundlage der Bezugsbasis IN/kg oTS_{Einsatz} eine Beziehung zwischen Verweilzeit und Restgaspotential (Abb. 4). Auffällig ist die sehr große Streuung der Werte im Bereich kurzer Verweilzeiten (unter 50 Tagen), die eventuell auf Unterschiede in den Vergärungsbedingungen im HBT (37 °C) und den Bedingungen in den einzelnen BGA zurückzuführen wären. Bei Verweilzeiten ab 100 Tagen ist nur noch ein sehr geringes Restgaspotential erkennbar. Die Stufigkeit der Anlage hat hier nur einen untergeordneten Einfluss.

Ein ähnlicher Zusammenhang zeigt sich bei der Analyse des Restgaspotentials in Abhängigkeit von der Belastung, so dass geschlussfolgert werden kann, dass Belastungen unter 1,5 kg zu einem ähnlich geringen Restgaspotential führen wie Verweilzeiten > 100 d (Abb. 5). Diese Ergebnisse wurden auch von HÖLKER (2009) bestätigt, der bei der Analyse von 913 untersuchten NAWARO-Biogasanlagen herausfand, dass mit sin-

kender Verweilzeit eine Verschlechterung der Ausnutzung des Gaspotentials - gemessen an den KTBL-Richtwerten - in Praxisanlagen festzustellen war.

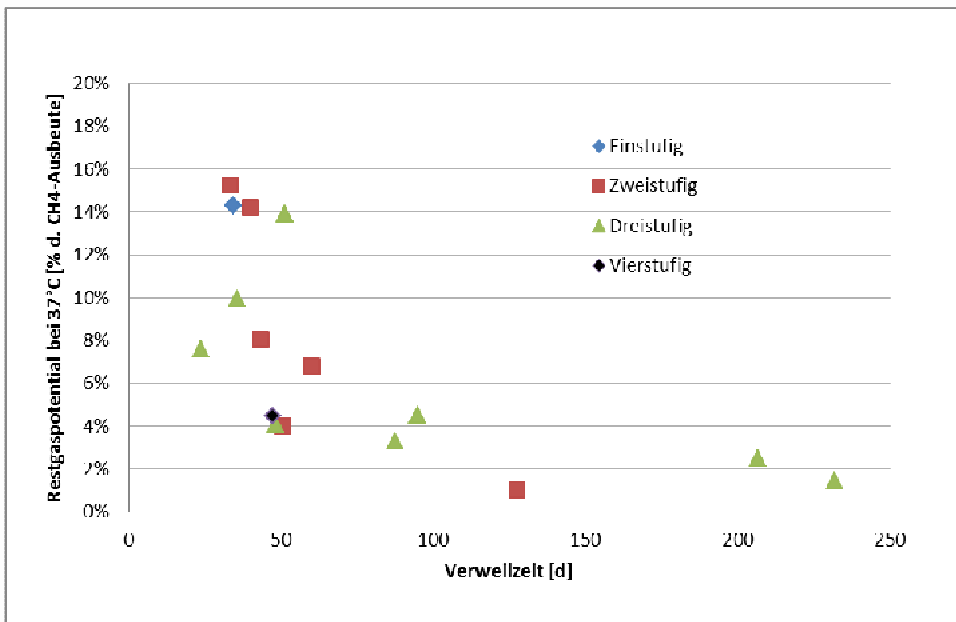


Abbildung 4: Einfluss der Verweilzeit (d) auf das Restgaspotential

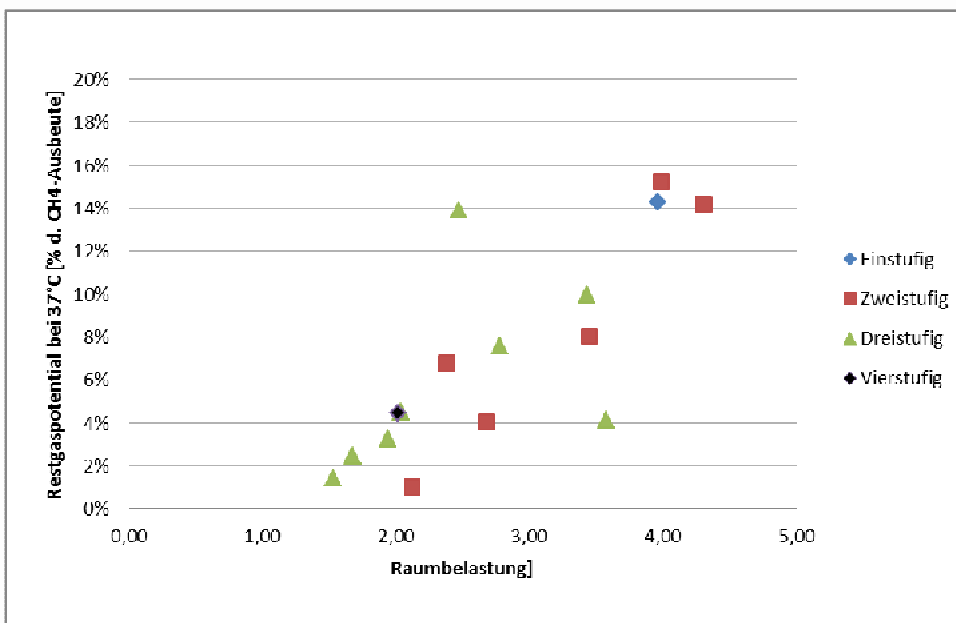


Abbildung 5: Einfluss der Belastung auf das Restgaspotential (IN/kg oTS Einsatz)

3.3 Einfluss der Vergärungstemperatur

Das Restgaspotential wurde bei 37 °C, d. h. bei der in der Praxis üblichen Vergärungstemperatur ermittelt und zeigt, welche Gasbildung unter optimalen Vergärungsbedingungen noch möglich wäre. Dieses ermittelte Restgaspotential ist, bezüglich der tatsächlich in der Praxis zu erwartenden Methanemission aus Gärrestlagern nur begrenzt aussagefähig, da hier wesentlich geringere Temperaturen auftreten. In älteren Untersuchungen wurde ermittelt, dass in Güllelagerungen unter Sommerbedingungen Temperaturen von ca. 20 °C und unter Winterbedingungen von unter 10 °C festzustellen sind. Die ermittelten Lagerungstemperaturen korrespondieren deutlich mit den Erdtemperaturen in 1 m Tiefe. Aus diesem Grund erfolgte eine zusätzliche Vergärung der Gärrestproben bei 25 °C (Sommerlagerung) und bei 10 °C (Winterlagerung). Im Ergebnis der Untersuchungen zeigt sich, dass eine enge Beziehung zwischen dem Restgaspotential bei 37 °C und der Restgasmenge bei 25 °C besteht, jedoch nicht zu denen bei 10 °C (Abb. 6).

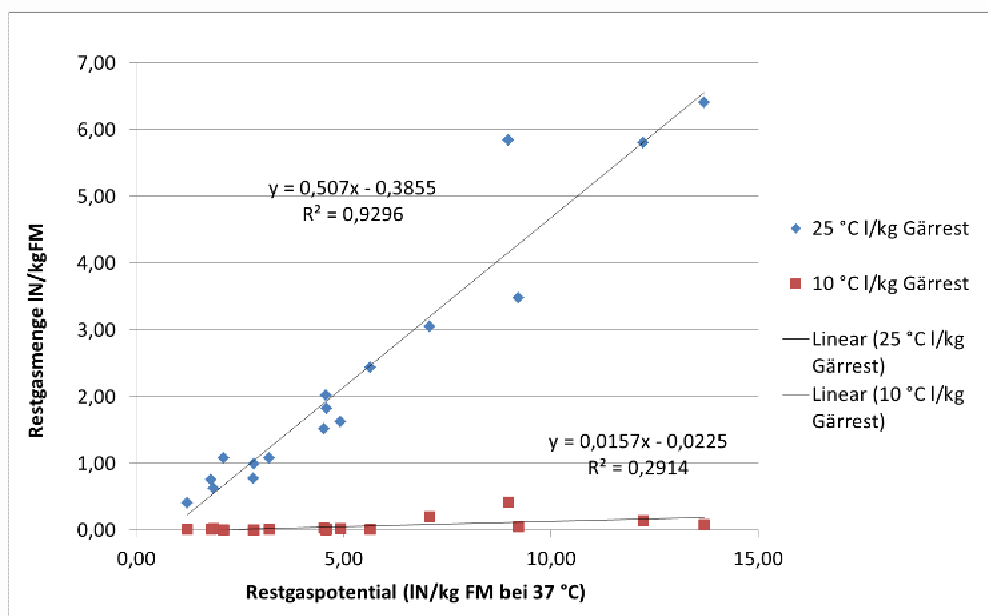


Abbildung 6: Beziehung zwischen Restgaspotential (IN/kg FM bei 37 °C) und Restgasmenge bei 25 °C (Sommerlagerung) und 10 °C (Winterlagerung) Vergärungstemperatur

Es zeigt sich, dass bei 25 °C eine deutlich geringere Restgasemission gemessen wurde, die entsprechend dem Koeffizienten der Regressionsfunktion bei nur ca. 50 % der Messwerte bei 37 °C liegt. Inwieweit die niedrigere Vergärungstemperatur nur auf die Höhe der Restgasbildung oder nur auf die Geschwindigkeit der je Zeiteinheit freigesetzten Gasmenge einen Einfluss hat, konnte nicht geprüft werden, da die Versuche nach 40 Tagen beendet wurden. Dagegen ist bei 10 °C Vergärungstemperatur keine enge Beziehung zum Restgaspotential (37 °C) erkennbar. Die biologischen Vorgänge kommen hier wahrscheinlich fast vollständig zum Erliegen (Abb. 7).

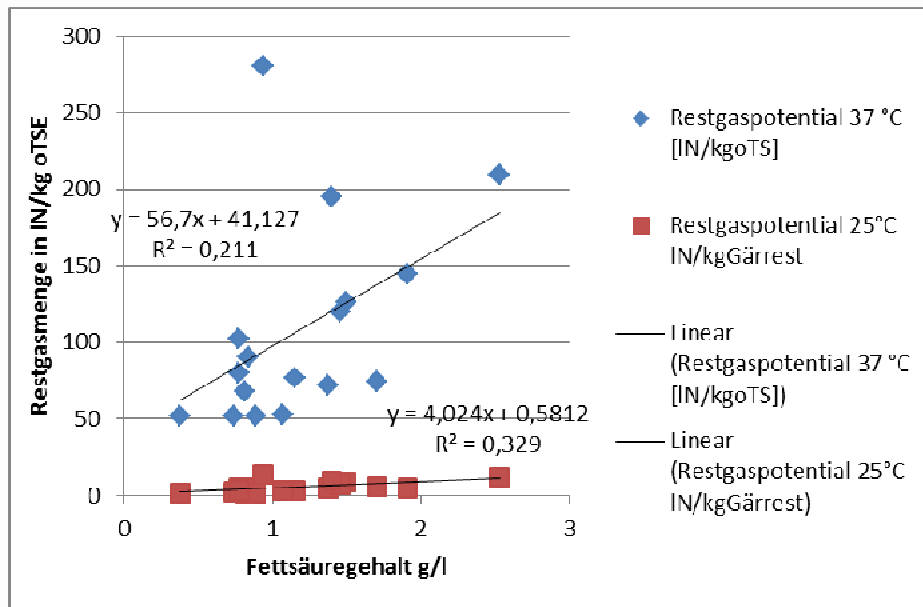


Abbildung 7: Anteil der Restgasmenge bei Sommerlagerung (25 °C) und Winterlagerung (10 °C) in Beziehung zum Restgaspotential (IN/kg FM) bei 37 °C

Ungeachtet der großen Schwankungsbreite des Restgaspotentiales zwischen den einzelnen Anlagen zeigt sich, dass im Durch-

schnitt bei 25 °C Vergärungstemperatur (Sommerlagerung) nur ca. 50 % des Restgaspotentiales als Gasemission aktiviert wird. Bei 10 °C (Winterlagerung) wurden unter 2 % des Restgaspotentiales von 37 °C aktiviert. Entsprechend der vorliegenden Ergebnisse ist davon auszugehen, dass bei Winterlagerung (10 °C) keine wesentliche Emission stattfindet.

3.4 Einfluss des Fettsäuregehaltes im Gärrest auf das Restgaspotential

Im Rahmen der nasschemischen Untersuchungen erfolgte neben der Nährstoffanalyse eine Ermittlung des Fettsäuregehaltes aller in den BGA entnommenen Gärrestproben. Die Ergebnisauswertung zeigt, dass zwischen Fettsäuregehalt und Restgaspotential nur ein schwacher statistischer Zusammenhang besteht (Abb. 8). Insgesamt ist somit der Fettsäuregehalt nur begrenzt für die Abschätzung einer möglichen Gasbildung nach Verlassen der Biogasanlage geeignet. Es ist auch zu beachten, dass im Rahmen der Lagerung des Gärrestes nach der Vergärung eine weitere Fettsäurebildung aus dem Abbau von organischer Trockensubstanz erfolgen kann.

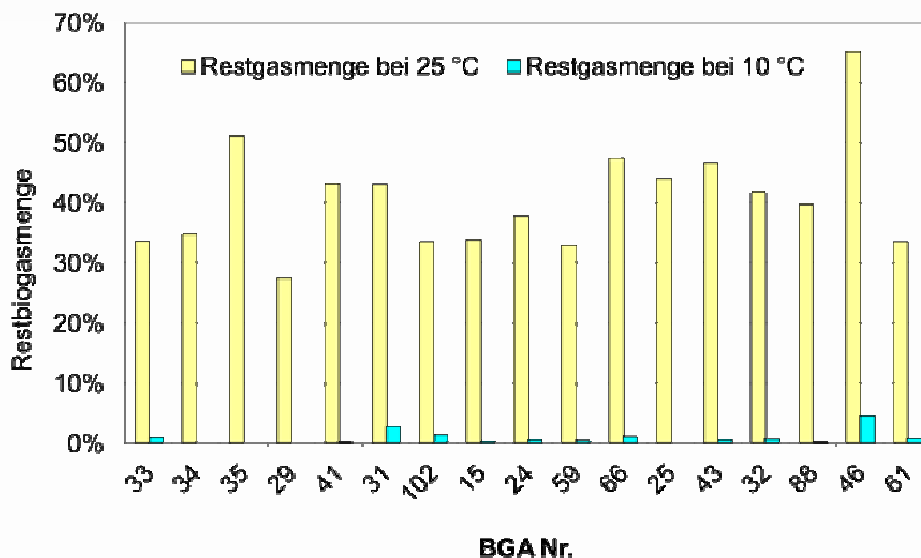


Abbildung 8: Abhängigkeit des Restgaspotentials (in lN/kg FM) vom Gehalt an Flüchtigen Fettsäuren (in g/l)

4. Zusammenfassung

Für die Ermittlung des Restgaspotentials ist eine Vergärung ohne Impfschlamm angeraten. Die Ergebnisse der Gärversuche mit 37 °C korrelieren gut mit den bei 25 °C gemessenen Werten. Die VDI 3475 sollte um die Methodik der Restgasermittlung erweitert werden, wobei besonders der Bezug der Ergebnisse auf die eingesetzte organische Substanz wichtig ist. Die in der VDI 3475 geforderte Temperatur von 20 °C erfordert längere Versuchszeiten und birgt höhere Unsicherheiten im Ergebnis, da wesentlich von der optimalen, in der Praxis üblichen Vergärungstemperatur abgewichen wird. Zusätzlich ist in den Laboren für die batch-Ansätze zusätzlich zur Heizung eine Kühlung vorzusehen, da sonst keine Temperaturkonstanz gesichert werden kann.

Die Untersuchung zum Restgaspotential von 17 landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens haben belegt, dass eine starke Abhängigkeit zu den verfahrenstechnischen Parametern besteht. Verweilzeiten über 100 Tagen im gasdicht abgedeckten Raum und Belastungen unter 1,5 kg oTS/m³ d (Bezug: gesamter, gasdicht abgedeckter Raum) führen zu deutlich verminderten Restgaspotentialmengen.

Die in der Praxis auftretende Restgasemission ist stark abhängig von der Lagerungstemperatur. Bei einer provozierten Sommerlagerung von 25 °C konnte noch eine Restgasemission von ca. 50 % im Vergleich zum Restgaspotential ermittelt werden. Bei Winterlagerung (10 °C Vergärungstemperatur) ist davon auszu gehen, dass eine nur unwesentliche Methanemission auftritt.

Die Abhängigkeit des Restgaspotentials vom Fettsäuregehalt der Gärreste ist nur gering nachweisbar. Somit ist dieser Parameter nur begrenzt geeignet das Restgaspotential zu charakterisieren.

Die gasdichte Abdeckung für die Dauer von 100 Tagen in Fermenter, Nachgärer und Gärrestlager zusammen bzw. eine Gesamtbelastung auf den gesamten gasdicht abgedeckten Raum von unter 1,5 kg/m³ d sind Maßnahmen, die die Methanemissionen auf ein verhältnismäßig geringes Niveau begrenzen könnten.

Dr.-Ing. Gerd Reinhold, Dr. sc. agr. Katja Gödeke

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Naumburger Str. 98
07743 Jena
Telefon: 03641 683 167
Fax: 03641 683 239
E-Mail: g.reinhold@jena.tll.de

Untersuchungen zum Restgaspotential landwirtschaftlicher Biogasanlagen

VDI - 7. Fachtagung Biogas 2013
„Energieerträge der Zukunft“
Spezialtag „Emissionen aus Biogasanlagen“
11. Juni 2013 in Nürtingen

G. Reinhold und K. Gödeke
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft,
Naumburger Str. 98, 07743 Jena
gerd.reinhold@tll.thueringen.de

www.thueringen.de/de/tll



Veranlassung für die Arbeiten zur Restgasanalyse

Vergütungsvoraussetzung **EEG 2009:**

- **Gärrestlager gasdicht abgedeckt**
- ab 1.1.2009, wenn BISchV-pflichtig
**aber keine Regelungen zur Größe,
des Gärrestlagers im EEG**

Sowie:

Forderung VDI 37475

Bestandanlagen:

- **> 110 Tage Verweilzeit in Fermentersystem**
 - kein Nachweis Restmethanbildung nötig
- **bei < 110 Tage → Aufrüstung auf 150 Tage**
 - oder Restmethanbildung < 1,5 % bei 20 °C; 60 d

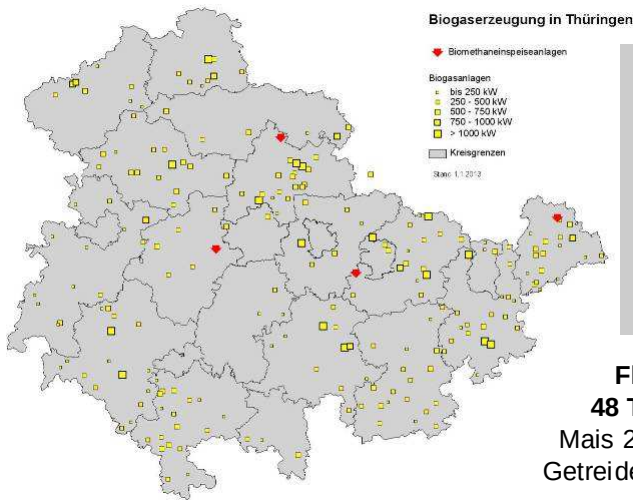
Neuanlagen (Verweilzeit > 150 Tage)

- oder Restmethanbildung < 1,0 % bei 20 °C; 60 Tage

Ausnahme reine Gülleanlage



Stand Biogas in Thüringen



**238 BGA nach EEG
+ 4 BGEA
an 215 Standorten
450 kW/BGA**
Vor Ort Verstromung:
109 MW_{installiert}
Biomethaneinspeisung:
+ 5,6 MW_{äqu}

Flächenverbrauch:
48 Tha (ca. 6 % der LF)
Mais 24,5 Tha, AWS 6,6 Tha,
Getreide 13,2 Tha, GPS 3,5 Tha

Nutzung Wirtschaftsdünger:

73 % der RG, 42 % der SG, 120 % des HTK (Importe), 24 % des Stallmistes,

TLL Reinhold, 2013

www.thueringen.de/de/ll



Untersuchungsziele

- **Methode der Ermittlung Restgaspotential**
 - Vergärungsbedingungen
 - Auswertung
- **Verfahrenstechnische Ursachen für Restgaspotential**
 - Fütterung
 - Verweilzeit / Belastung
 - Fettsäuregehalt
- **Höhe des Restgaspotentials und der -emissionen**
 - Verhältnis Restgaspotential (37 °C) und mögliche Restgasemission bei:
 - Sommerlagerung 25 °C
 - Winterlagerung 10 °C

TLL Reinhold, 2013

www.thueringen.de/de/ll



Auswahl von 17 Thüringer BGA zur Ermittlung der Restgasmengen

- Variabilität
 - in **Fütterung** (WD von 0 .. 100 %)
 - in **Größe** 1600 m³ bis 8000 m³
 - in der **Leistung** (200 ... 1600 kW)
 - in der **Stufigkeit** (1 ... 4 Behälter)
 - **Rezierkulation** (0 ... 16 %) Bezug Fermenter 1
 - in **Verweilzeit** und **Belastung**
- Dokumentationsqualität

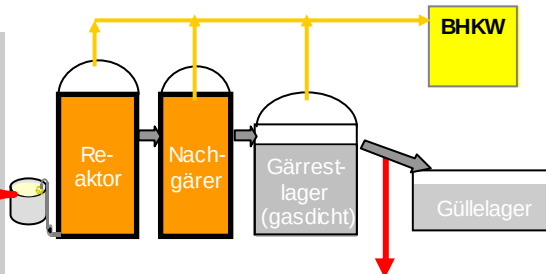


Probenahme für Restgaspotential

Input

TS Gehalte:
Gülle 5-10 %
Mist 25 %
HTK 40-70 %
Silage 35 %
Getreide 86 %

Mittel 17 % TS
(7...37 % TS)

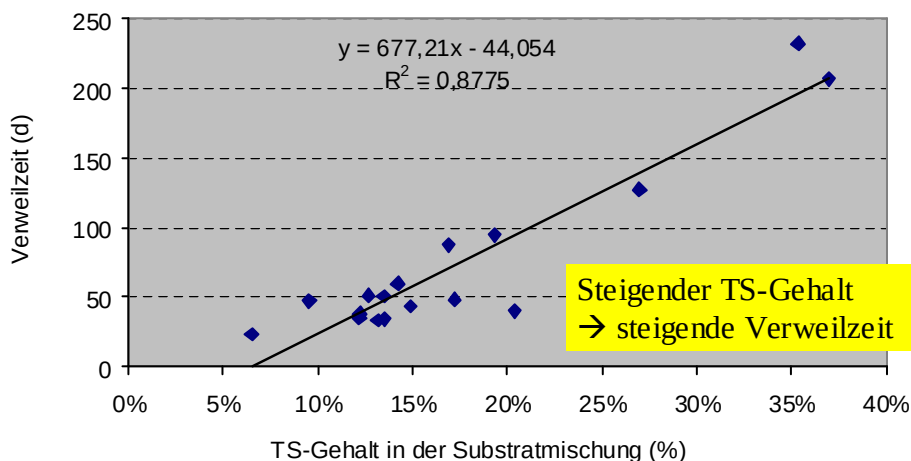


Probenahme (Output):

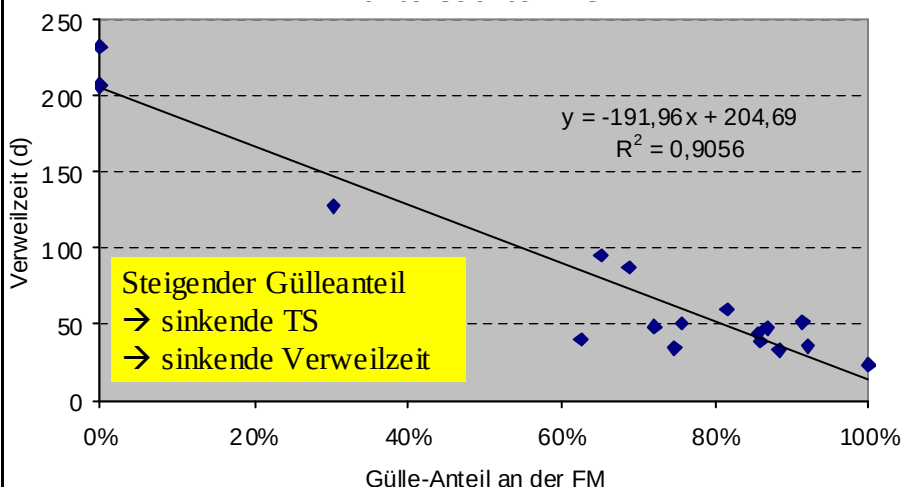
TS = 6,5 % (3,4 ... 11,2)
 N_t = 0,47 % (0,27...5,9)
oTS = 72,9 % d. TS (67,9...78,3)
 C_{org} = 42 % d. TS (33...46)



Einfluss von TS-Gehalt auf die Verweilzeit



Einfluss Gülleanteil auf Verweilzeit



Methode Restgasermittlung

VDI 3475 - Pkt. 4.3.3.2

Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen aus dem Gärrestlager

- 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 dieses Werts ist von Nm^3 auszugehen, die Restmethanbildung ist bei 20 °C und über einen Zeitraum von 60 Tagen zu ermitteln.

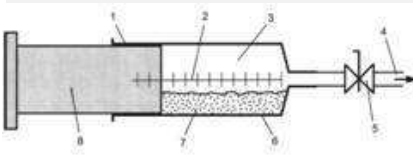
Bezug zur BGA
(kontinuierliches
Verfahren)

Prüfmethode
batch-Ansatz



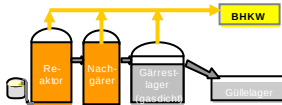
Restgaspotentialbestimmung

- Nasschemische Analyse**
- Betriebsdatenerfassung** in der BGA
- Restgasermittlung** im HBT
 - ohne Impfgülle (entgegen VDI 4630), da sonst andere Biologie
 - 37 °C /40 d Verweilzeit
 - Normgasumrechnung
 - Methanbestimmung

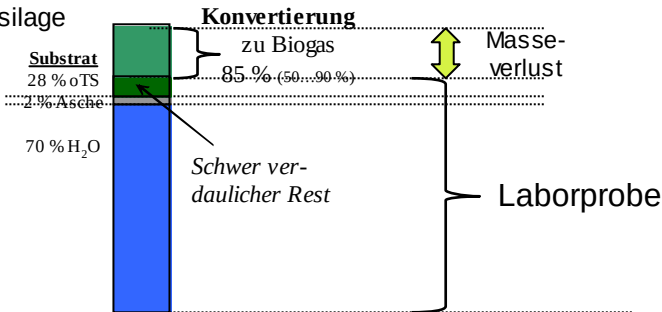


Praxis

kontinuierliches Verfahren



Maissilage



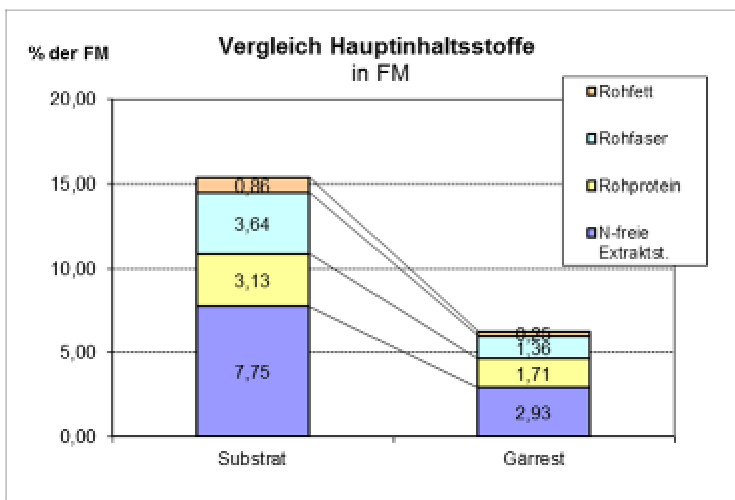
TLL Reinhold, 2013

www.thueringen.de/de/ll



Veränderung der Hauptinhaltsstoffe

(Quelle: Monitoring Thüringer 2012, n=46)



Abbau auf 60 ... 40 %

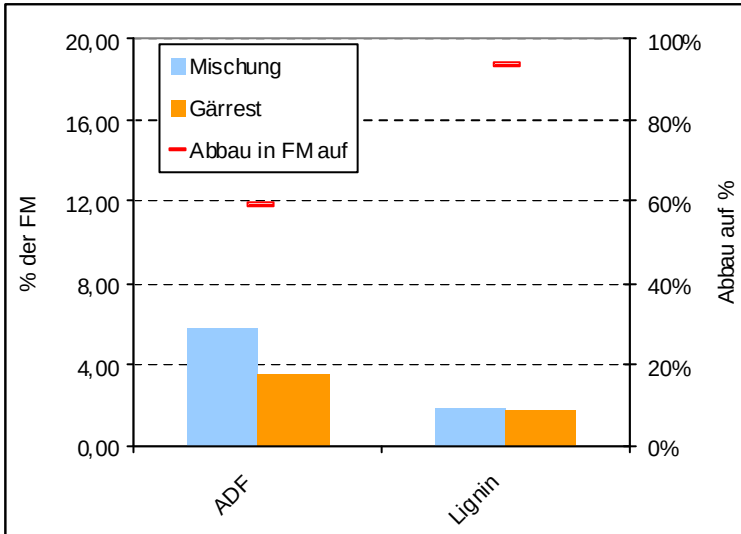
TLL Reinhold, 2013

www.thueringen.de/de/ll



Humuswirksame Inhaltsstoffe

(Quelle: Monitoring Thüringer BGA 2012)



TLL Reinhold, 2013

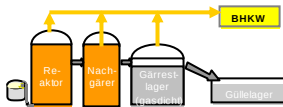
www.thueringen.de/de/ll



Bilanzierung der Vergärung

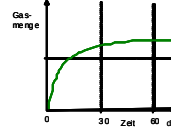
Praxis

kontinuierliches Verfahren



Labor

batch Ansatz



Maissilage

Substrat
28 % oTS
2 % Asche

70 % H₂O

Konvertierung

zu Biogas
80 % (50...90 %)

Masseverlust

20 %

↕

Gärprodukt

7.2 % oTS
2.6 % Asche

90.2 % H₂O

Schwer verdaulicher Rest

Restgas

(ml/Kolben)

m³/l FM

aber bis 30 %
Masseabbau

m³/kg oTS

aber bis 90 %
oTS-Abbau

TLL Reinhold, 2013

www.thueringen.de/de/ll



Massebezug (Zielbezug: I_N Restgas/kg Substrat):

- Masseabbau vernachlässigen ???
 - Benachteiligt NAWARO-Anlagen
- Masseabbau aus Substratmix berechnen über: Gaserträge
 - KTBL- kaum TS-Werte in Praxis, ungenaue Verwiegung
 - Biomasseverordnung kein TS Bezug, ungenaue Werte
- Berechnung über Gasertrag (Abfrage in der BGA)
 - Zeitbezug unklar (VDI „... pro Stunde gebildete ...“ ???)
 - meist keine exakte Gas-Messung vorhanden
 - Keine Normgasumrechnung



- Berechnung über Stromertrag (Abfrage in der BGA)
 - Exakte Messung vorhanden
 - Wirkungsgrad ist zu unterstellen oder Herstellerangabe
 - Fackelverluste und Füllstandsänderung Gasspeicher beachten
 - Beispiel:
$$\frac{\text{Bemessungsleistung (300 kW)} \cdot \text{Biogasgewicht (1,34 kg/m}^3\text{)}}{\text{Wirkungsgrad (38 \%)} \cdot 50 \% \text{ CH}_4\text{-Gehalt} \cdot 10 \text{ kWh/m}^3} = \text{Gasmasse (211 kg/h)}$$

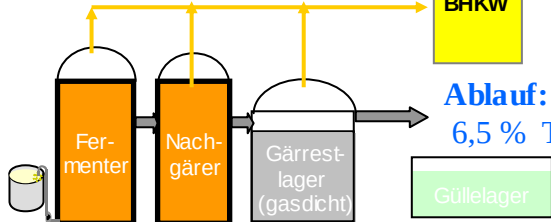
= oTS Abbau
- Masseabbau in % berechenbar = Fugatfaktoren
- Substrat oTS- Gehalt berechenbar
- über Analyse der Laborprobe und Masseabbau (Konvertierung zu Gas) berechnen
- Erfassungszeit je nach Fragestellung festlegen



Auswertung der Ergebnisse

(Messung: ml/Glaskolben → IN/kg Einwaage)

Input:
17 % TS



Bezug auf die **Frischmasse** nötig
→ % der **Restgasbildung**
(Masseverlustkorrektur)
und
Bezug auf die **eingesetzte oTS**
Substrat in Verbindung mit
Laboranalyse und Massekorrektur
→ **I_N /kg oTS Einsatz**

Restgasermittlung:

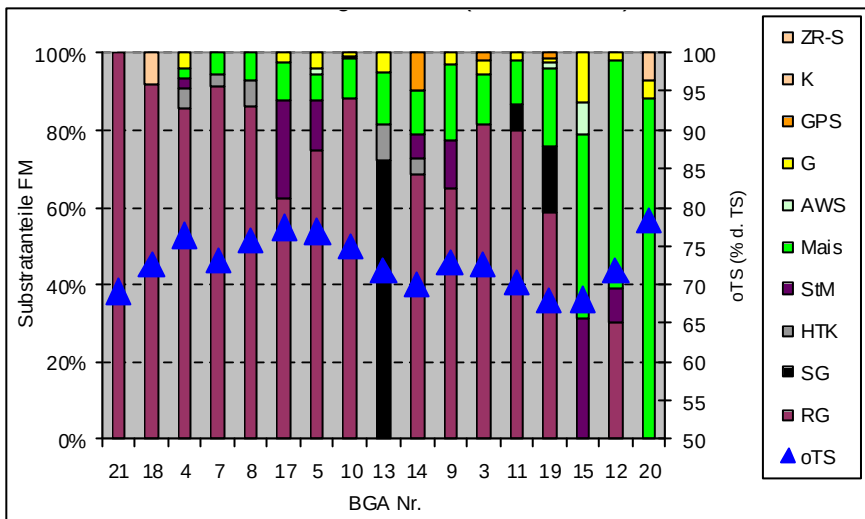
$-I_N$ /kg Einwaage = Frischmassebezug

→ keine oTS-Bezug als I_N /kg oTS,
verwenden da dieser nicht ver-
gleichbar mit den Richtwerten für
Gasertrag ist

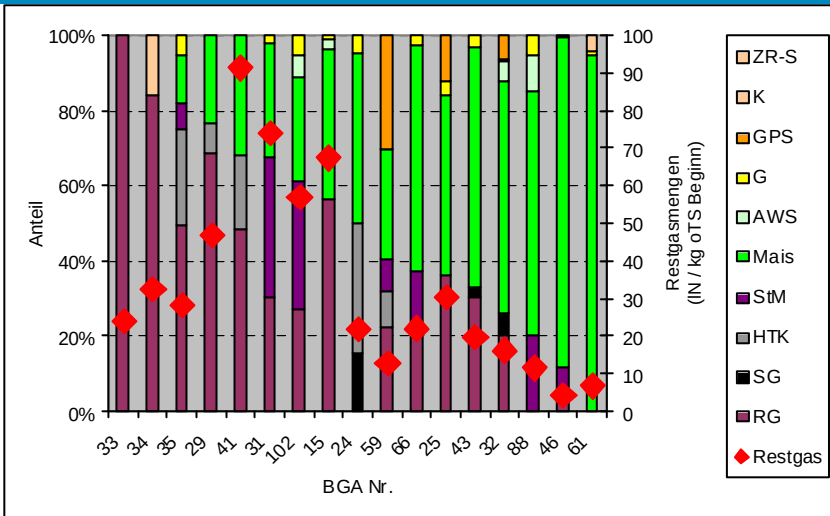


Ergebnisse:

Fütterungsunterschiede in den BGA



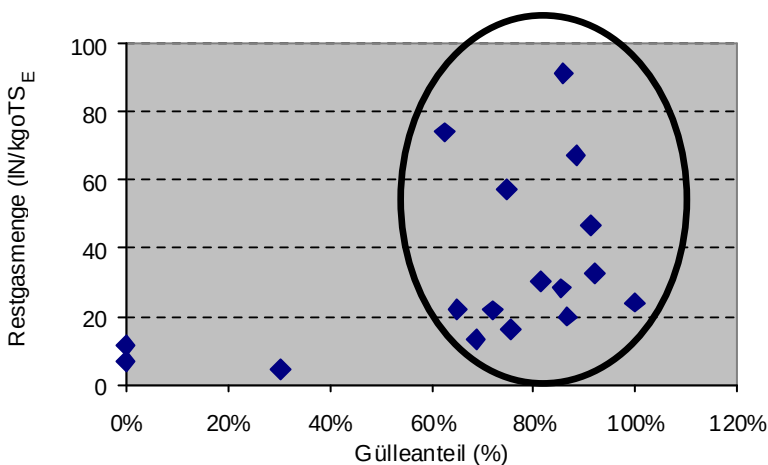
1. Einfluss der Fütterung (Sortierung: Anteil an CH₄-Bildung)



→ Kein Einfluss der Summe der Fütterung erkennbar



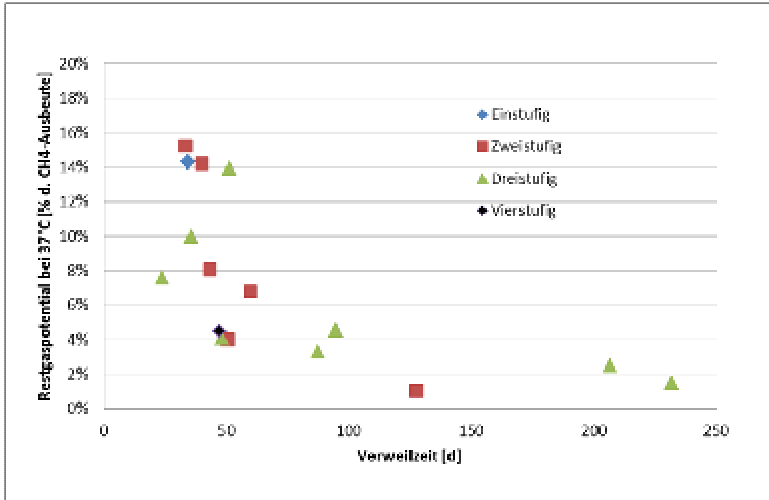
Einfluss des Gülleanteils auf das Restgaspotential



→ Kein direkter Einfluss des Gülleanteils auf das
Restgaspotential nachweisbar



2. Einfluss der Verweilzeit auf das Restgaspotential

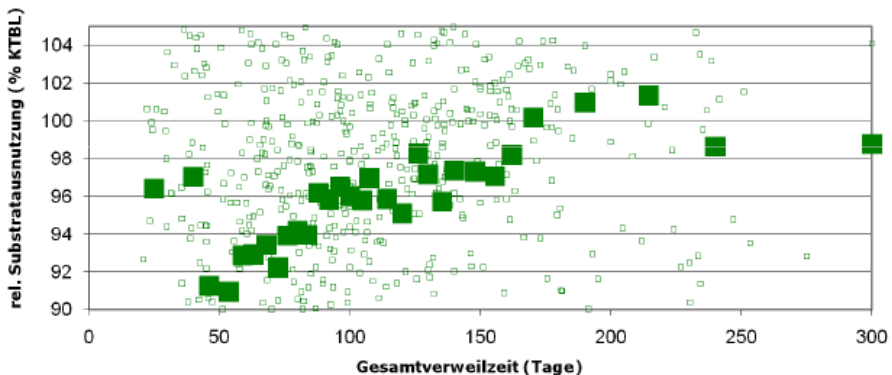


bioreact

„Relative Substratausnutzung“ in Nawaro-Biogasanlagen

Abhängig von der hydraulischen Verweilzeit im beheizten Fermentationsvolumen

Einzelanlagen (kleine grüne Quadrate)
Klassenmittel (große grüne Quadrate)



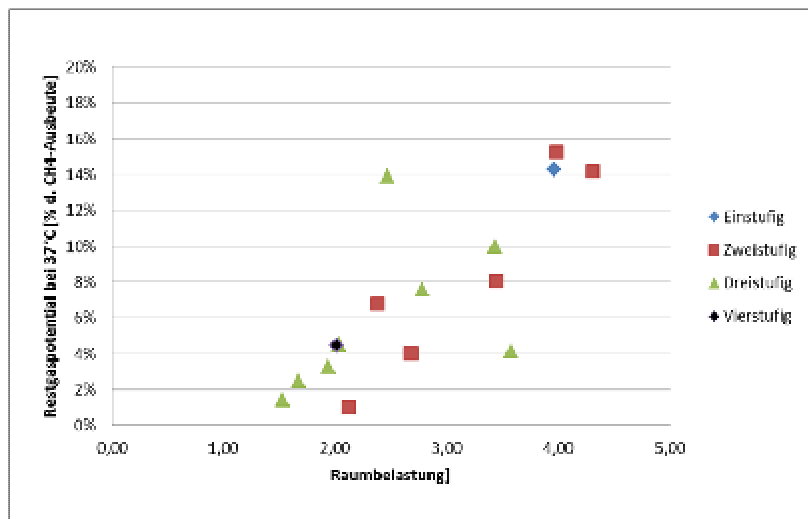
Beziehung Gülleanteil und Verfahrensparameter

Gülle-Anteil	Gasbildung aus Gülle	Verweilzeit ¹⁾	Belastung ¹⁾
% d. FM	%	d	kg/m ³ d
0-50%	2 %	188	1,81
50-75 %	23 %	61	3,19
75-90 %	42 %	45	2,95
> 90%	84 %	37	2,89

1) Bezug gesamter gasdicht abgedeckter Raum

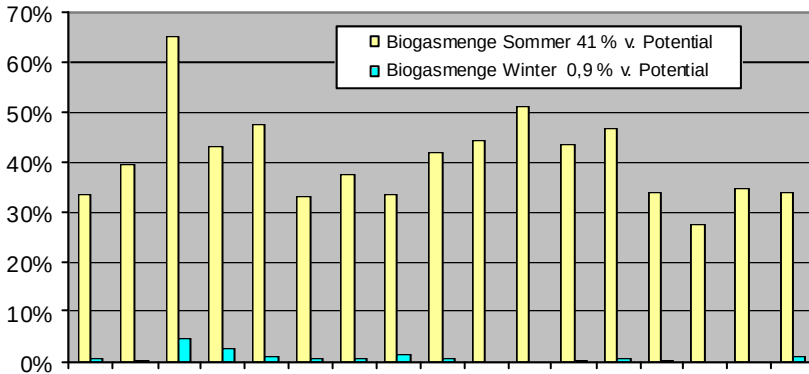


3. Einfluss der Belastung auf das Restgaspotential





Verhältnis Restgaspotential (37 °C) und Restgasmenge bei 25 und 10 °C



→ Restgasemission

bei 25 °C (Sommer) = 40 ... 50 % vom Potential

bei 10 °C (Winter) = vernachlässigbar



Verhältnis von: Restgaspotenzial und Restgasemission

Maximal mögliche Ausgasung unter optimalen Bedingungen

- Temperatur 35...40 °C
- Verweilzeit zur Ausgasung (30 ... 40 d)
- Optimale Biologie
- Grundlage für Entscheidung über Abdeckung

im Labor bestimmbar

Gasbildung unter konkreten Bedingungen in der Praxis

reduzierbar durch:

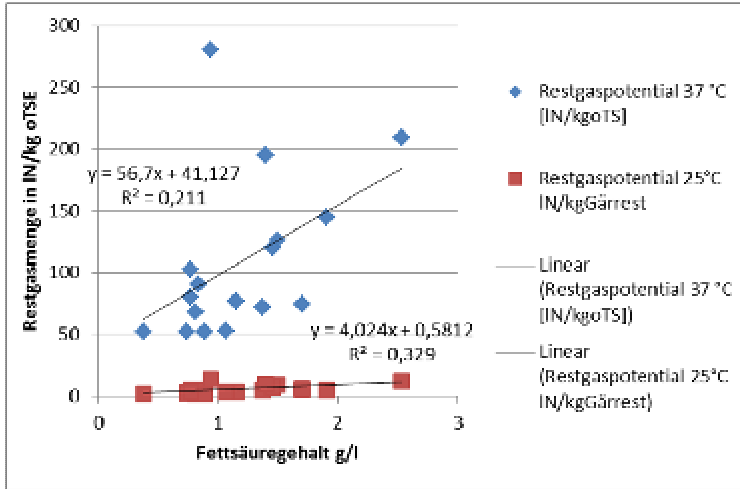
- Temperaturabsenkung
- Verlängerung der Verweilzeit

in Praxis zu messen oder aus Gärversuch abschätzen (Temperatur)

Restgaspotenzial >> Restgasemission



5. Einfluss des Gehaltes an flüchtigen Fettsäuren



Zusammenfassende Schlussfolgerungen

- Die Vergärungstemperatur im Labor hat dominanten Einfluss auf die gemessene Restgasmenge
- Zur Vereinheitlichung der Ergebnisse ist für die Restgasermittlung (z.B. durch VDL oder VDI)
 - eine Temperatur entsprechend der Vergärungsbedingungen (z.B. 37°C) und
 - die Arbeit ohne Influenz festzulegen
- Verfahrenstechnische Parameter (Verweilzeit und Belastung) beeinflussen das Restgaspotential
- Der Fettsäuregehalt im Gärrest beschreibt das Restgaspotential ungenügend
- Vom Restgaspotential werden
 - bei Sommerlagerung (25 °C) ca. 40 ... 50 % und
 - bei Winterlagerung (10 °C) ca. 1 -2 % emission swirksam

Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!

