

Gerd Reinhold, Katja Gödeke

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, Naumburgerstr. 98,
07743 Jena

Restgaspotential in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

1. Problemstellung

In den letzten Jahren erfolgte, verursacht durch die unterschiedlichen Novellen des EEG, eine stürmische Entwicklung bei der Einführung der Biogastechnologie in die Landwirtschaft Deutschlands. In den einzelnen Regionen entwickelten sich durch unterschiedliche Agrarstrukturen und aber auch Tätigkeiten der Firmen, vielfältige verfahrenstechnische Lösungen zur Biogaserzeugung.

Neben der Monovergärung von Mais als Trockenfermentation (EEG 2004), den Bestrebungen der Getreidemonovergärung und den durch das EEG 2009 wieder verstärkt zum Einsatz kommenden Wirtschaftsdüngern und Reststoffen, sind Bestrebungen zur Intensivierung der Vergärung mit dem Ziel Faulraum und damit Investitionskosten zu sparen, festzustellen.

Als wesentliche Kenngrößen zielten die vielfältigen verfahrenstechnischen Konzepte oft auf eine maximale Auslastung der Investitionen, meist gemessen an der Volllaststundenzahl, ab. So erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis die verfahrenstechnische Auslegung einer BGA oft nicht auf hohe Gasausbeuten, was bei NAWARO-Einsatz nötig wäre, sondern zu pauschal über die Verweilzeit mit dem vorrangigen Ziel geringer Investitionen bzw. der Vergütungsoptimierung.

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

Leider wurde bisher die Ausnutzung des Gasbildungspotentials und mögliche Umweltgefahren durch Restgasemission bei der Lagerung zu wenig in der verfahrenstechnischen Anlagenauslegung beachtet. Für BGA mit hohen Substratkosten ist aber die Gasausbeute ($\text{m}^3/\text{kg oTS}$) ein wesentlicher, die Anlageneffizienz bestimmender, Faktor. Eine gute Substratausnutzung, ausgedrückt in Form einer hohen Gasausbeute, führt automatisch zu einem geringen Restgaspotential und ist somit ökonomisch sowie ökologisch hoch relevant.

Vom Gesetzgeber wurde mit der EEG-Novelle 2009 auf diese Entwicklung reagiert und für alle nach BImSchV genehmigungspflichtigen Neuanlagen eine gasdichte Abdeckung der Gärrestlager gefordert. In der Umsetzung ist dies schwierig, da in der Praxis keine klare Abtrennung zwischen Fermenter, Nachgärer und Gärrestlager vorhanden ist. Leider berücksichtigen die Forderungen des EEG nicht die unterschiedlichen verfahrenstechnischen Konzepte zur Substratausnutzung und sind aufgrund der pauschalen Herangehensweise oft nicht verhältnismäßig.

Ziel der Untersuchungen war es, die wesentlichen verfahrenstechnischen Einflussfaktoren auf das Restgaspotential durch Gärversuche zu ermitteln.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Naumburger Str. 98, 07743 Jena

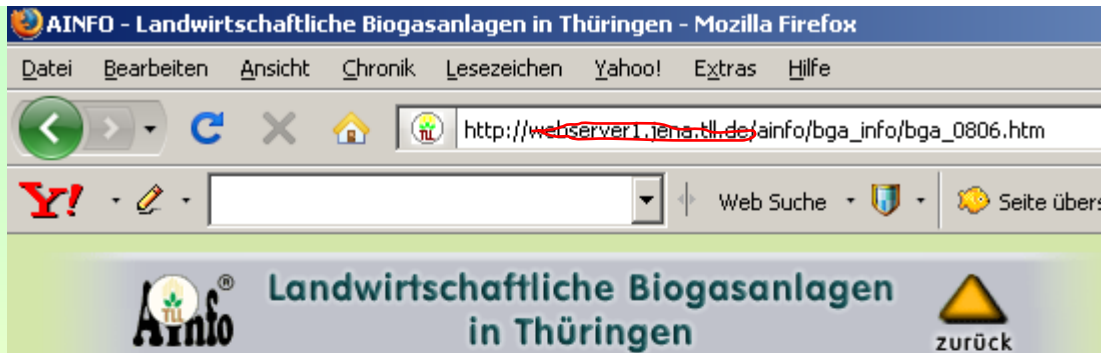
G. Reinhold und K. Gödeke

Restgaspotential in landwirtschaftlichen Biogasanlagen



20. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas

11.- 13. Januar 2011



Quelle:
www.tll.de/ainfo

angepasste **Mehrreaktoranlagen** (20 kW bis 2.500 kW),
BGA vorrangig im lw. Betrieben (geringer Tierbesatz)

(mit sehr hohen Pachtflächenanteil 0,45 GV/ha)

→ **kaum Substrathandel u. keine Wirkung auf Pacht**

kaum **NAWARO/Trockenvergärungsanlagen**

> **75 % Wirtschaftsdünger am Substratmix**

Nutzung von: 47 % der Rindergülle (D = 12,6 %)

31 % der Schweinegülle (D = 9,3 %)

10 % des Stallmistes (D = 2,6 %)

vorrangig **GOM**, zunehmende Wärmenutzung



Veranlassung: Forderungen des EEG 2009

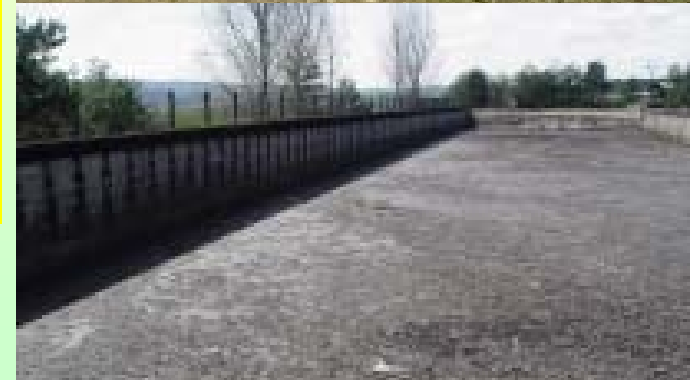
Vergütungsvoraussetzungen EEG 2009:

- **Gärrestlager gasdicht abgedeckt**
- ab 1.1.2009, wenn BImSchV-pflichtig
- Gasverbrauchseinrichtung für Störfall bzw. Überproduktion

*aber keine Regelungen zur Größe
des Gärrestlagers im EEG*

Konsequenzen für BGA

- *kaum Bau von BImSchV-BGA*
- *keine Nutzung bestehender Güllelager möglich*
- *weniger Nutzung der Wirtschaftsdünger*
- *vorrangig Bau von BGA nach Baurecht*



Untersuchungsziele

- **Verfahrenstechnische Ursachen für Restgaspotential**
 - Fütterung
 - Verweilzeit / Belastung
 - Fettsäuregehalt
- **Verhältnis Restgaspotentials und der -emissionen**
 - Verhältnis Restgaspotential und Restgasemission
 - Sommerlagerung 25 °C
 - Winterlagerung 10 °C

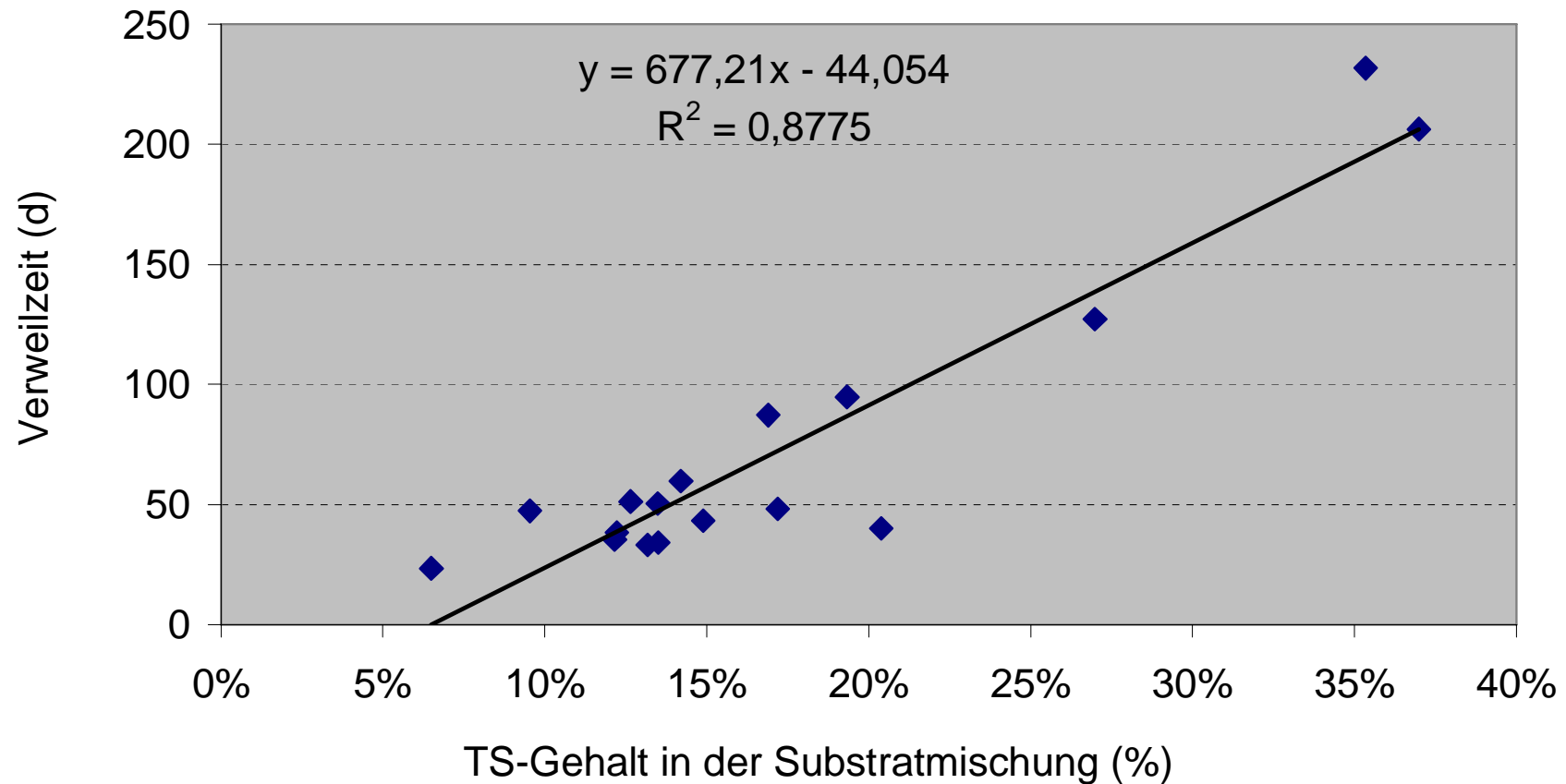


Auswahl von 17 unterschiedlichen BGA zur Ermittlung der Restgasmenge

- **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)
 - **Rezirkulation** (0 ... 16 % [Bezug auf Fermenter 1])
 - in **Verweilzeit** und Belastung
- **Dokumentationsqualität**



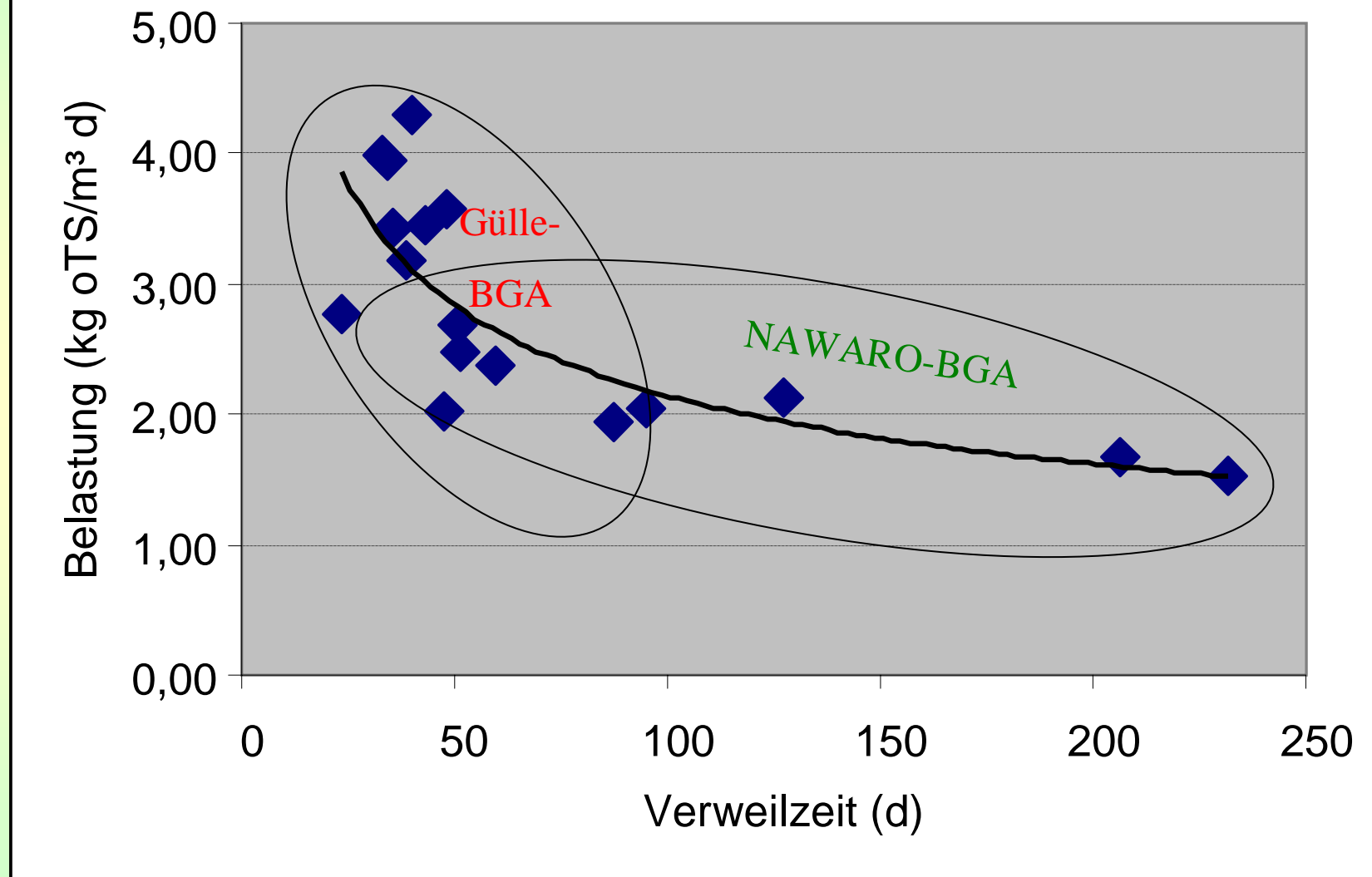
Einfluss TS-Gehalt in der Substratmischung auf die Verweilzeit



Steigender TS-Gehalt
→ steigende Verweilzeit

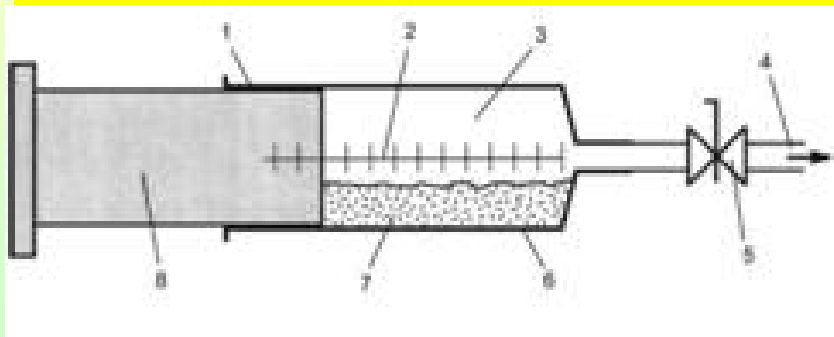


Verhältnis Verweilzeit und Belastung



Restgaspotentialbestimmung

- **Betriebsdatenerfassung** in der BGA
- **Nasschemische Analyse** vor und nach der Vergärung
- **Restgasermittlung** im HBT
 - ohne Impfgülle
 - 37 °C /40 d Verweilzeit
 - Normgasumrechnung

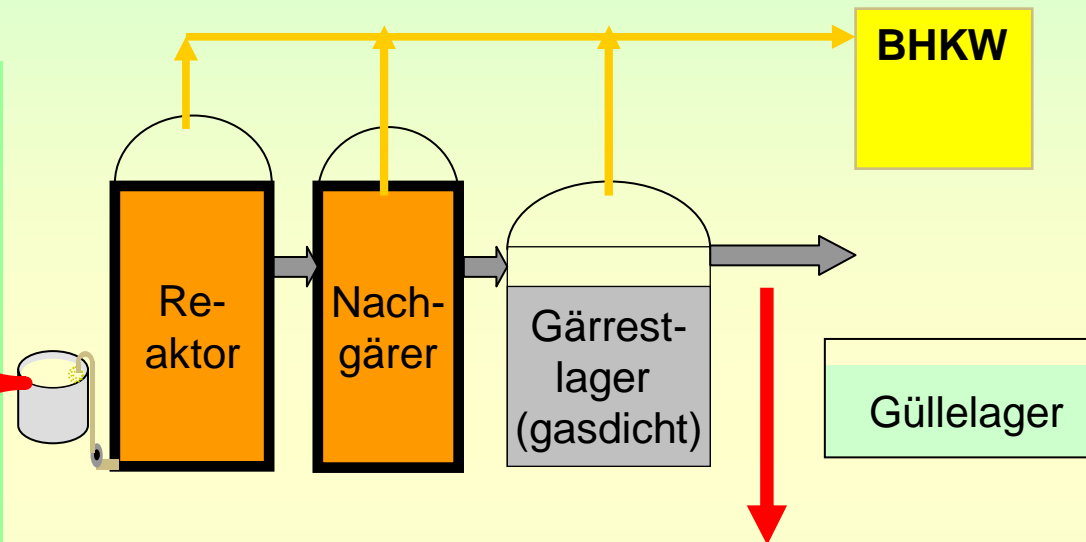


Probenahme für Restgaspotential

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)

Nt = 0,47 % (0,27...5,9)

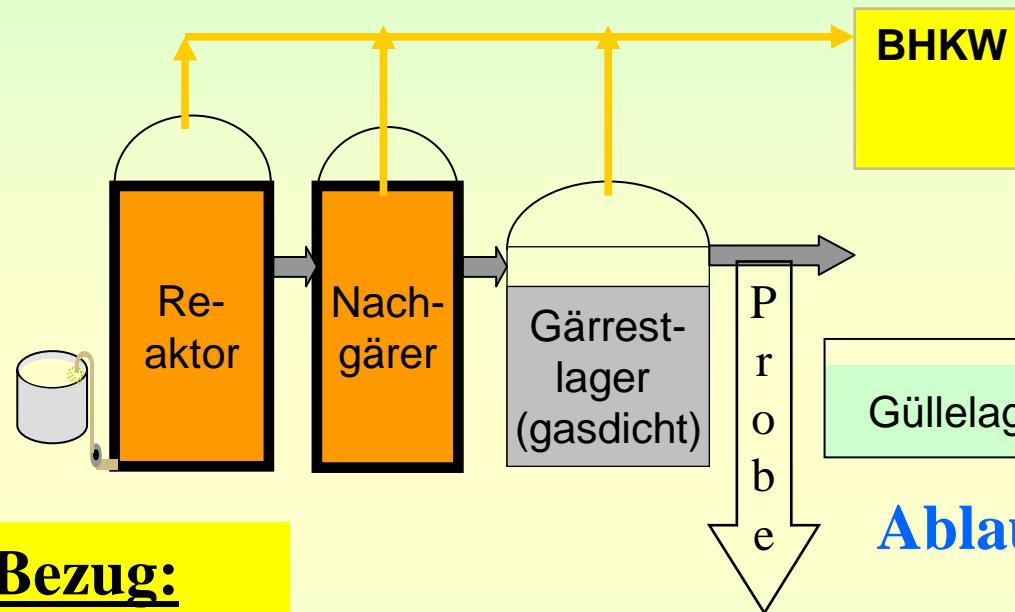
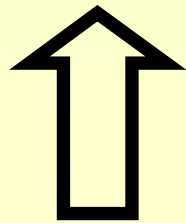
oTS = 72,9 % d. TS (67,9...78,3)

Corg = 42 % d. TS (33...46)

Auswertung der Ergebnisse des HBT

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

Input:
17 % TS



Restgas HBT Bezug:

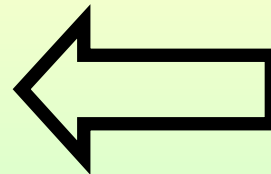
-IN / kg oTS Beginn
(Bezug: Substrat oTS)

- % der Gasbildung
(Bezug Vergärung)

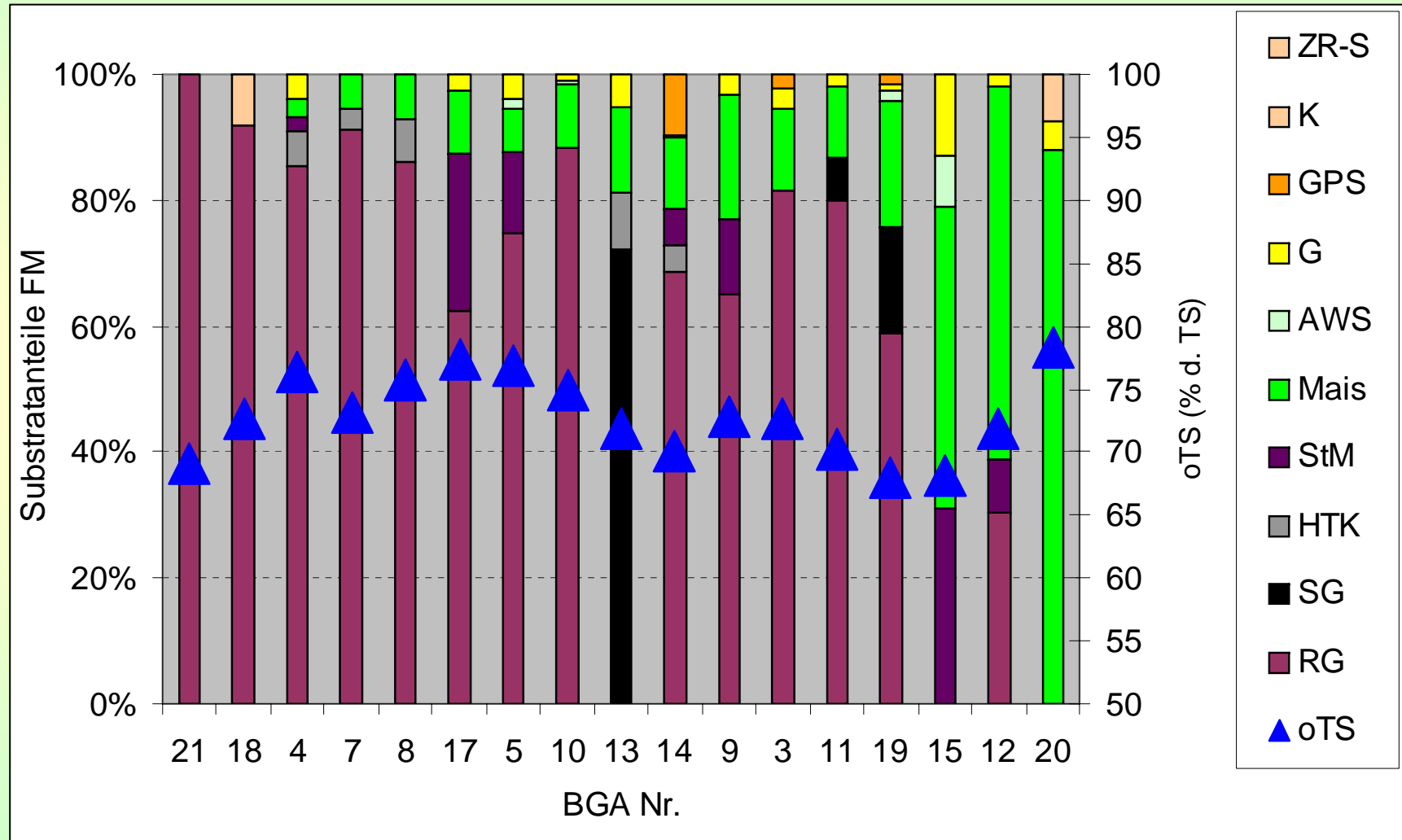
Restgas-Bezug:

-IN / kg Einwaage = Frischmassebezug
→ aber Substrat wird um Abbau verringert

- IN / kg oTS
→ nicht vergleichbar, da deutlicher oTS-Abbau stattfindet

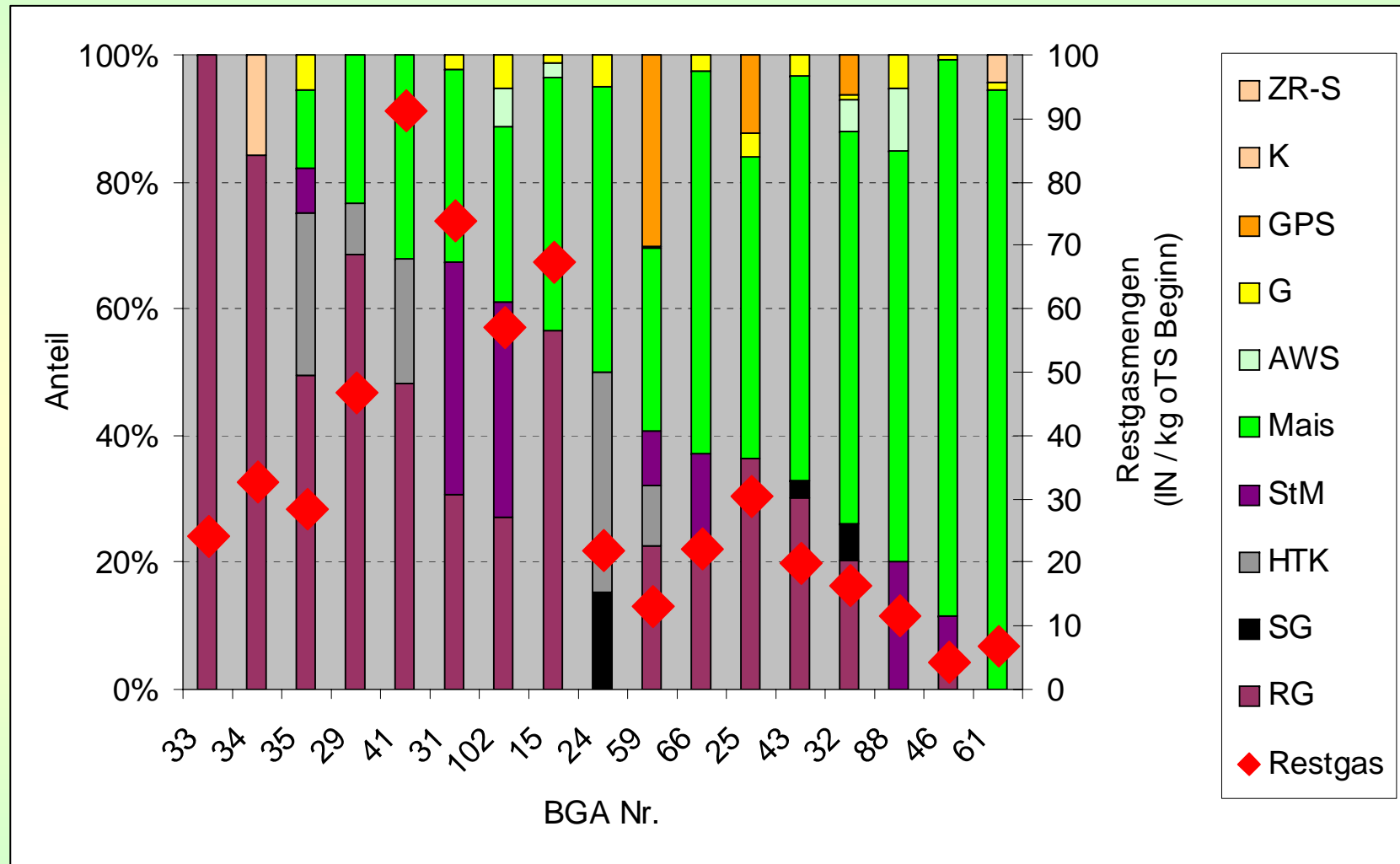


Fütterungsunterschiede



Einfluss der Fütterung

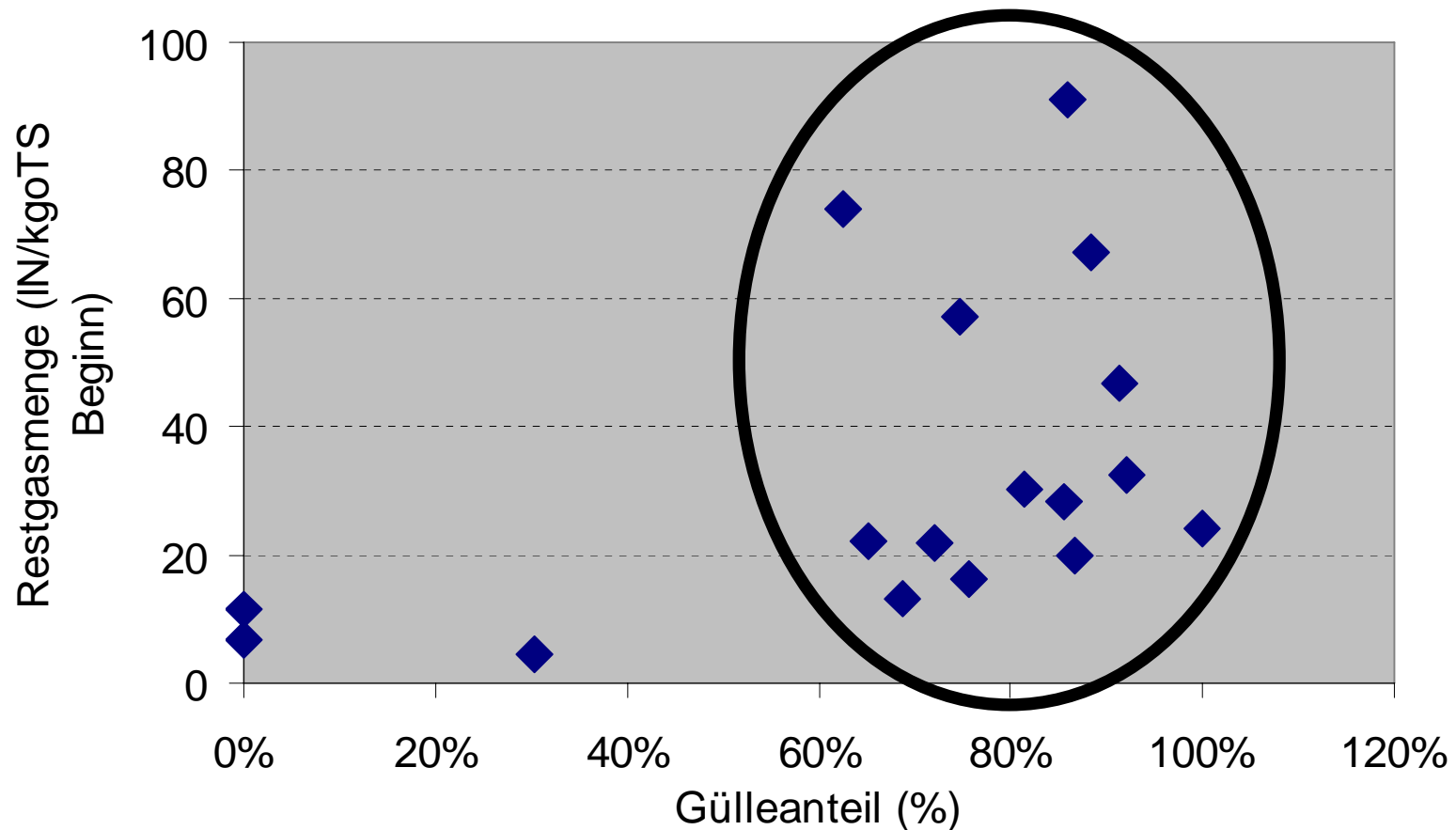
(Sortierung: Anteil an CH₄-Bildung)



→ Kein Einfluss der Fütterung erkennbar



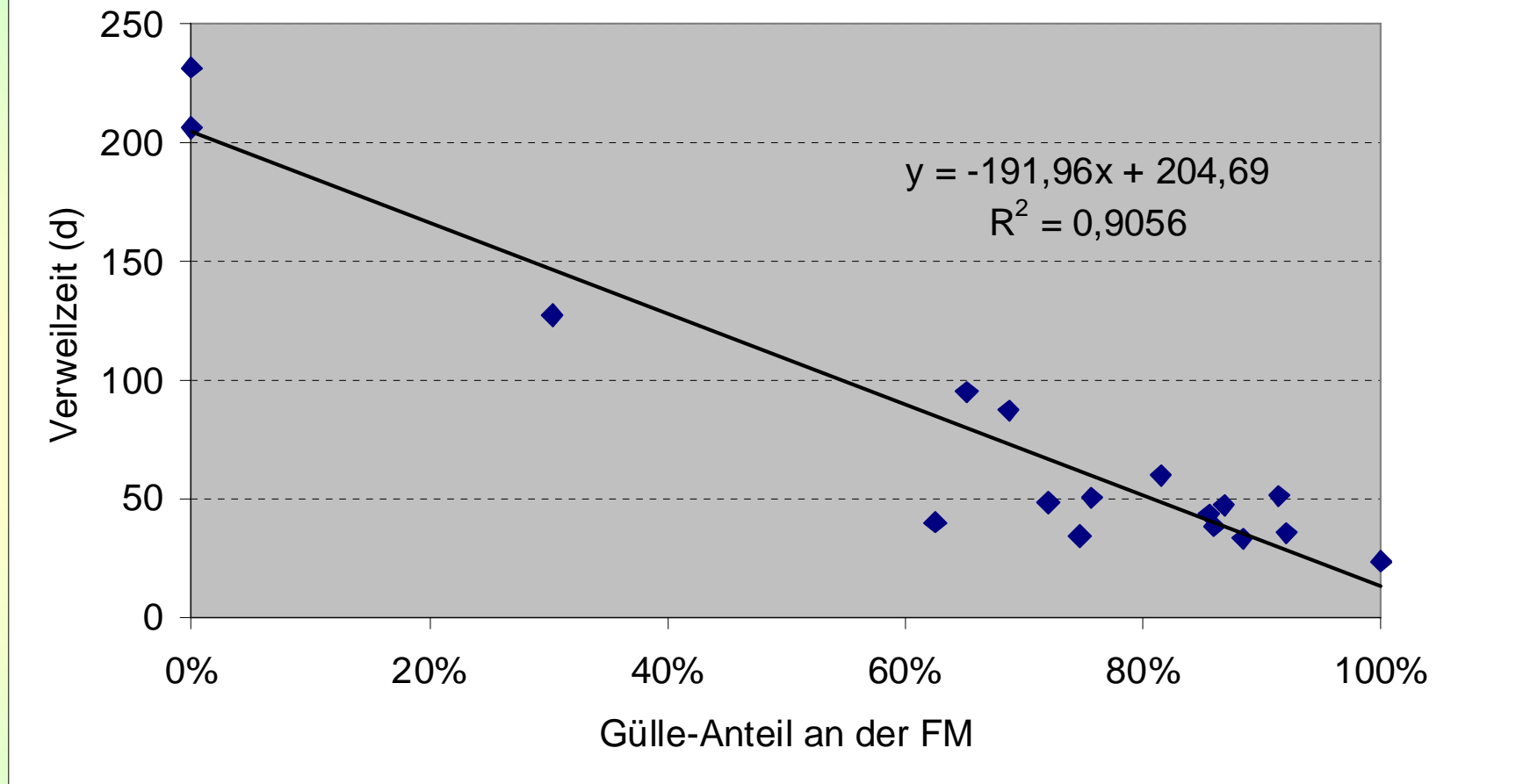
Einfluss der Gülleanteil auf das Restgaspotential (%)



→ Kein direkter Einfluss des Gülleanteils auf das Restgaspotential nachweisbar



Beziehung zwischen Gülle-Anteil und Verweilzeit der untersuchten BGA



Steigender Gülleanteil

→ sinkende TS

→ sinkende Verweilzeit



Beziehung Gülleanteil und Verfahrensparameter

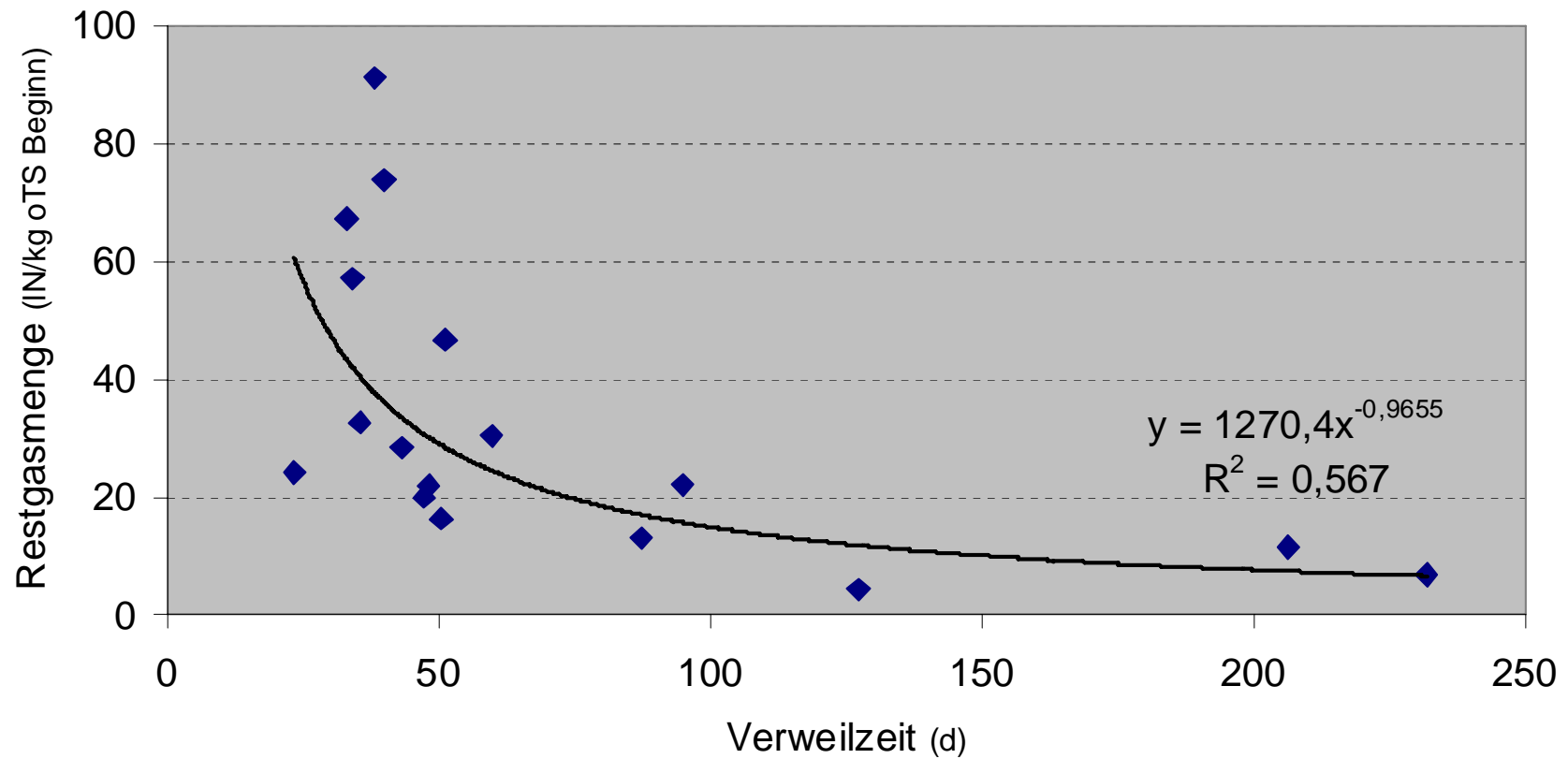
Gülle- Anteil	Gasbildung aus Gülle	Verweil- zeit ¹⁾	Belastung ¹⁾
% d. FM	%	d	kg/m ³ d
0-50%	2 %	188	1,81
50-75 %	23 %	61	3,19
75-90 %	42 %	45	2,95
> 90%	84 %	37	2,89

1) Bezug gesamter gasdicht abgedeckter Raum

TLL Jena 2010, Reinhold



Einfluss der Verweilzeit auf das Restgaspotential [IN / kg oTS Beginn]



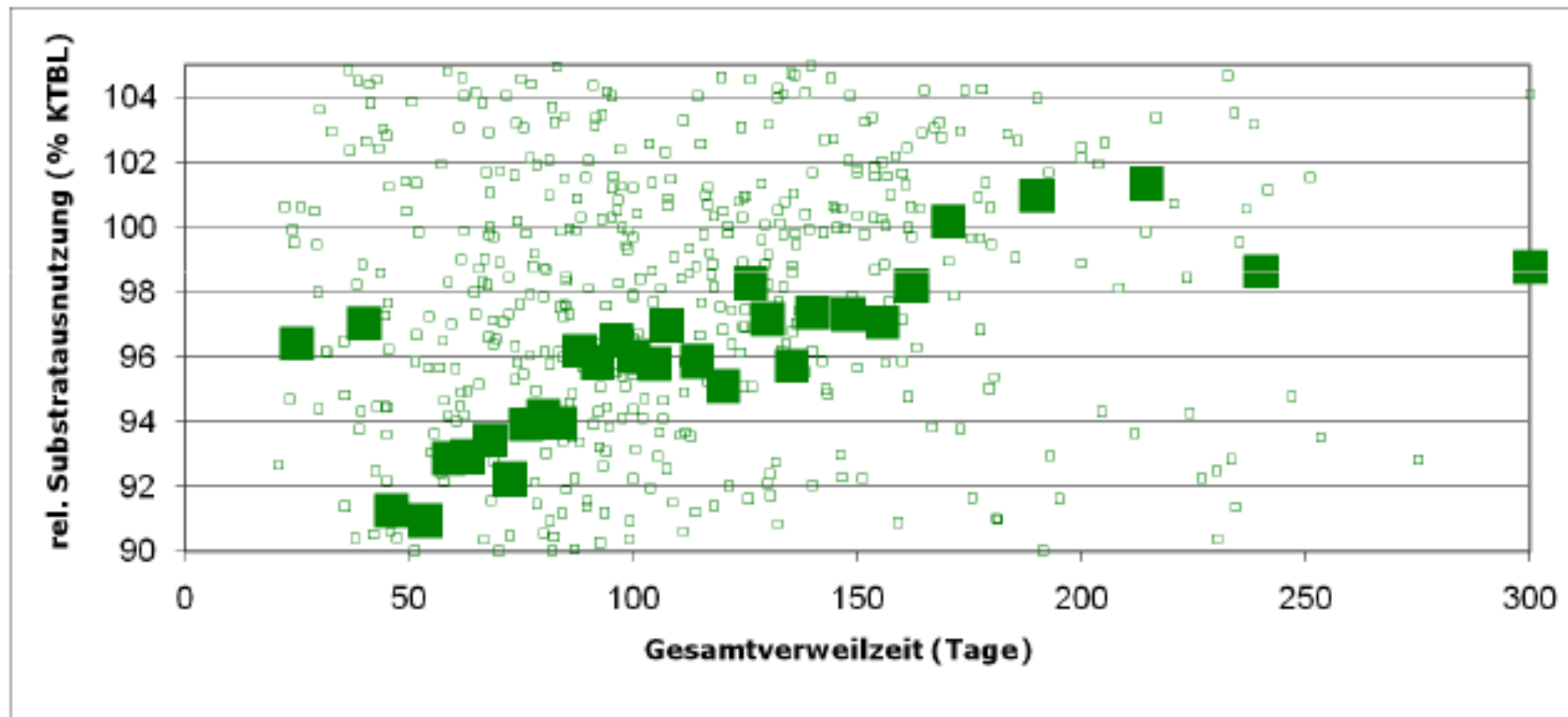
**→ Spürbare Restgaspotentialminderung erst ab
100 d Verweilzeit**



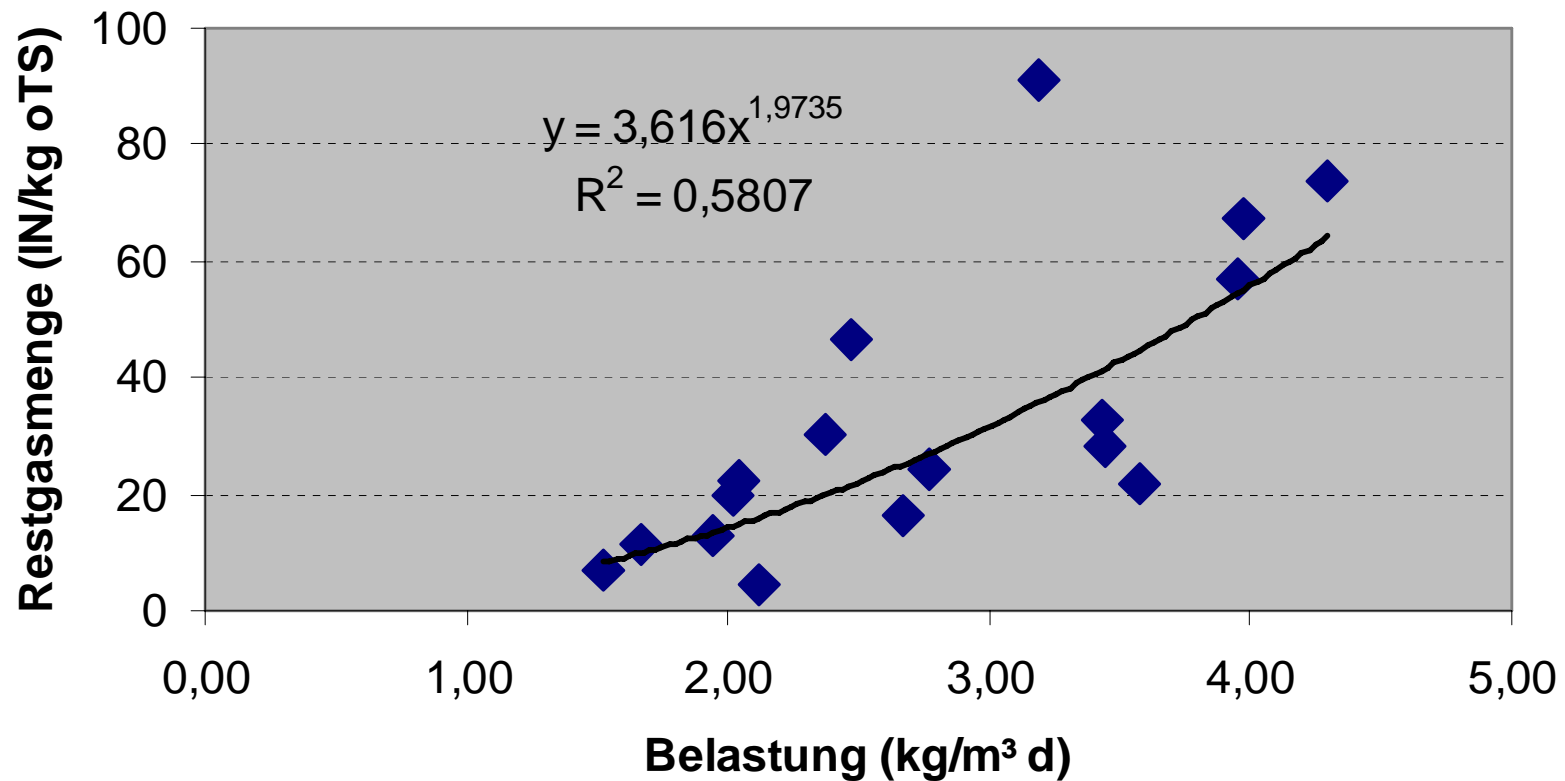
„Relative Substratausnutzung“ in Nawaro-Biogasanlagen

Abhängig von der hydraulischen Verweilzeit im beheizten Fermentationsvolumen

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



Einfluss der Belastung auf das Restgaspotential [IN / kg oTS Beginn]

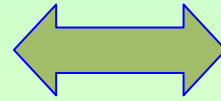


**→ Deutliche Restgaspotentialsteigerung ab
1,5 kg/m³ d Belastung**



Restgaspotential

Vergärungstemp. 37 °C



Restgasemission

Lagertemperatur

Maximal mögliche Ausgasung unter optimalen Bedingungen,

- Temperatur 35...45 °C
- lange Verweilzeit zu Ausgasung
- Optimale Biologie (Bakterienzusammensetzung)

im Labor bestimmbar

Gasbildung unter den konkreten Bedingungen (in der Praxis)

reduzierbar durch:

- Temperaturabsenkung
- Verlängerung der Verweilzeit

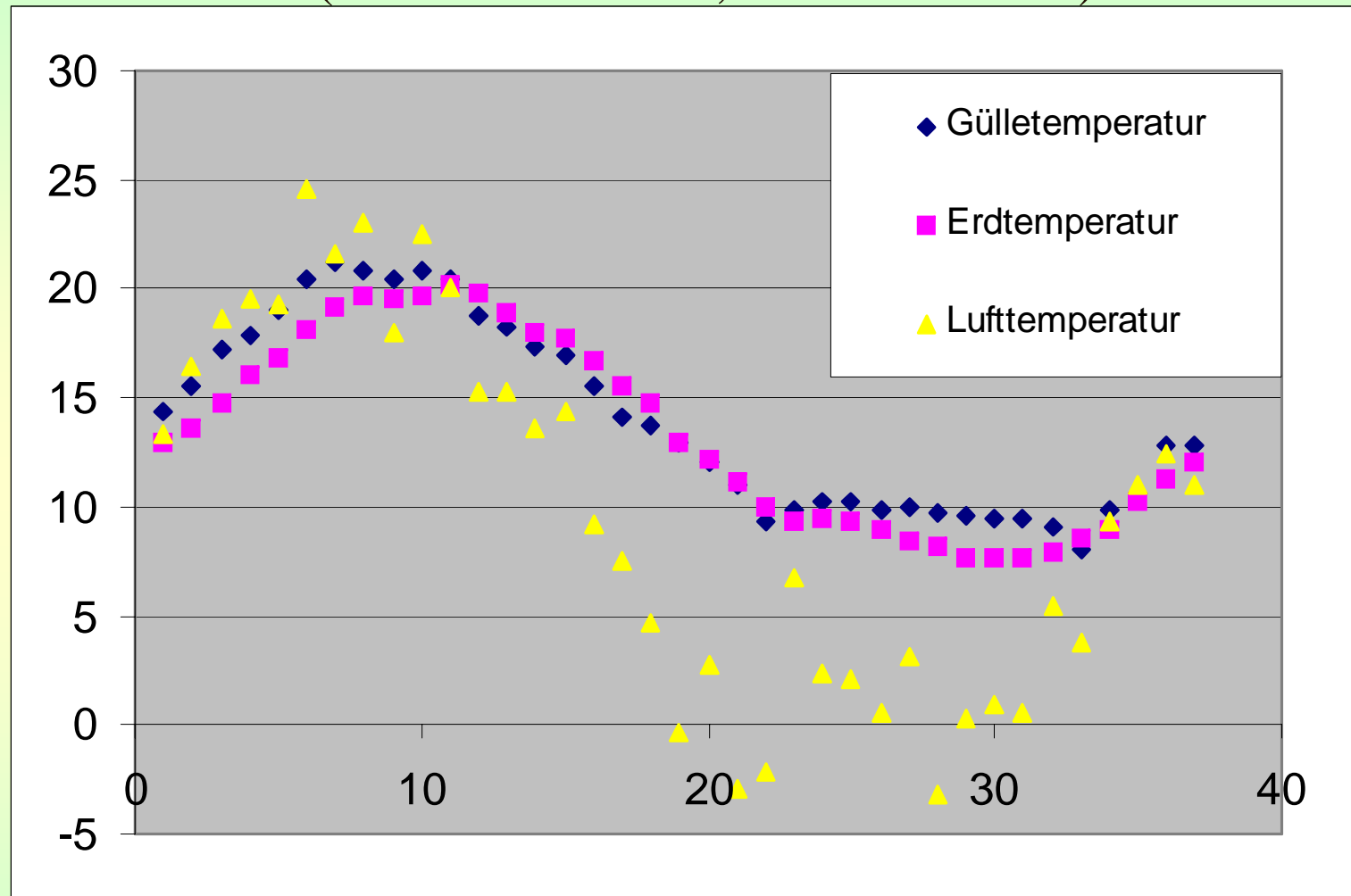
in Praxis zu messen oder Temperatur einstellen

Restgaspotential >> Restgasemission



Gülle-, Erd- und Lufttemperaturen

(10 d Mittelwerte, Berlstedt 1984)

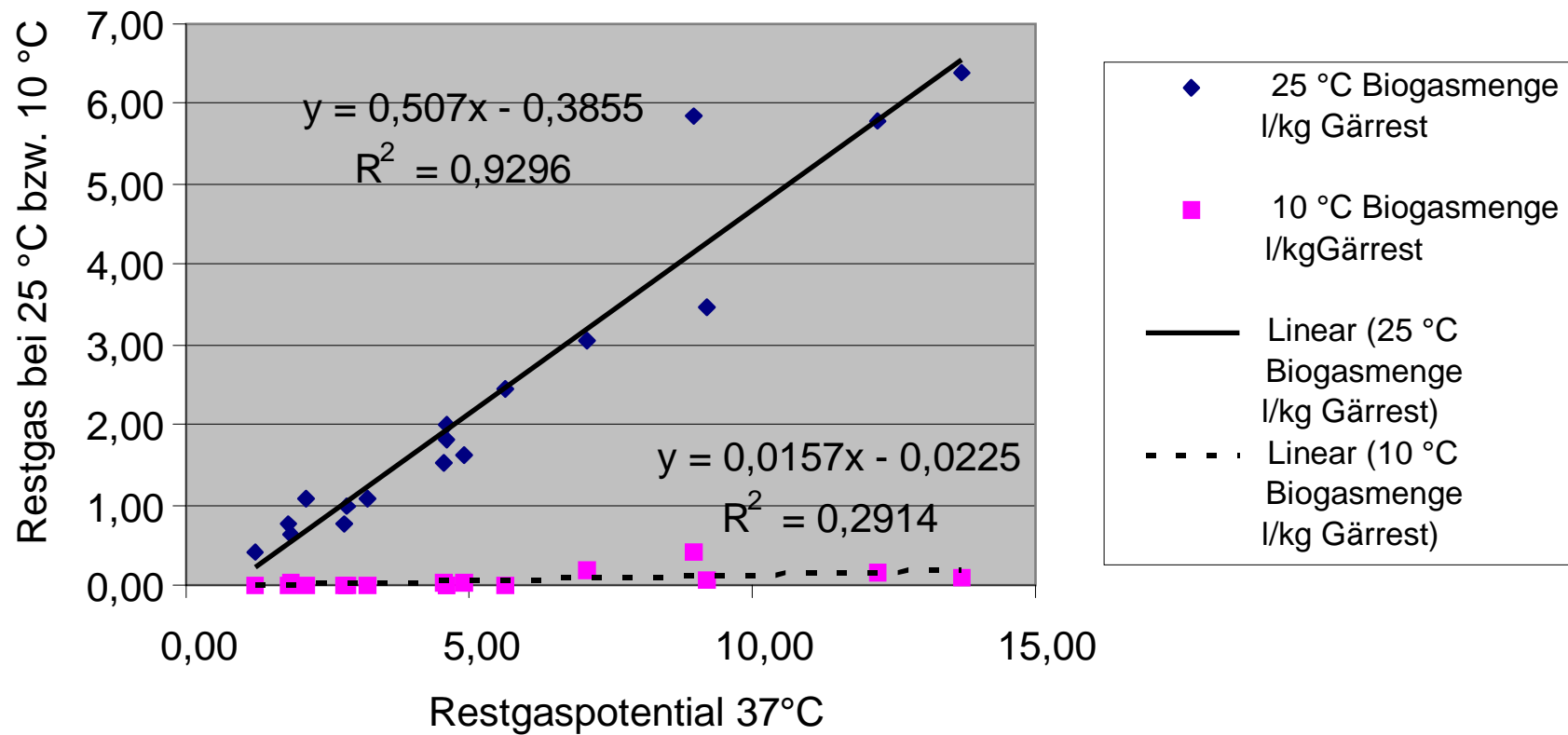


Erdtemperatur korreliert eng mit der Gülletemperatur

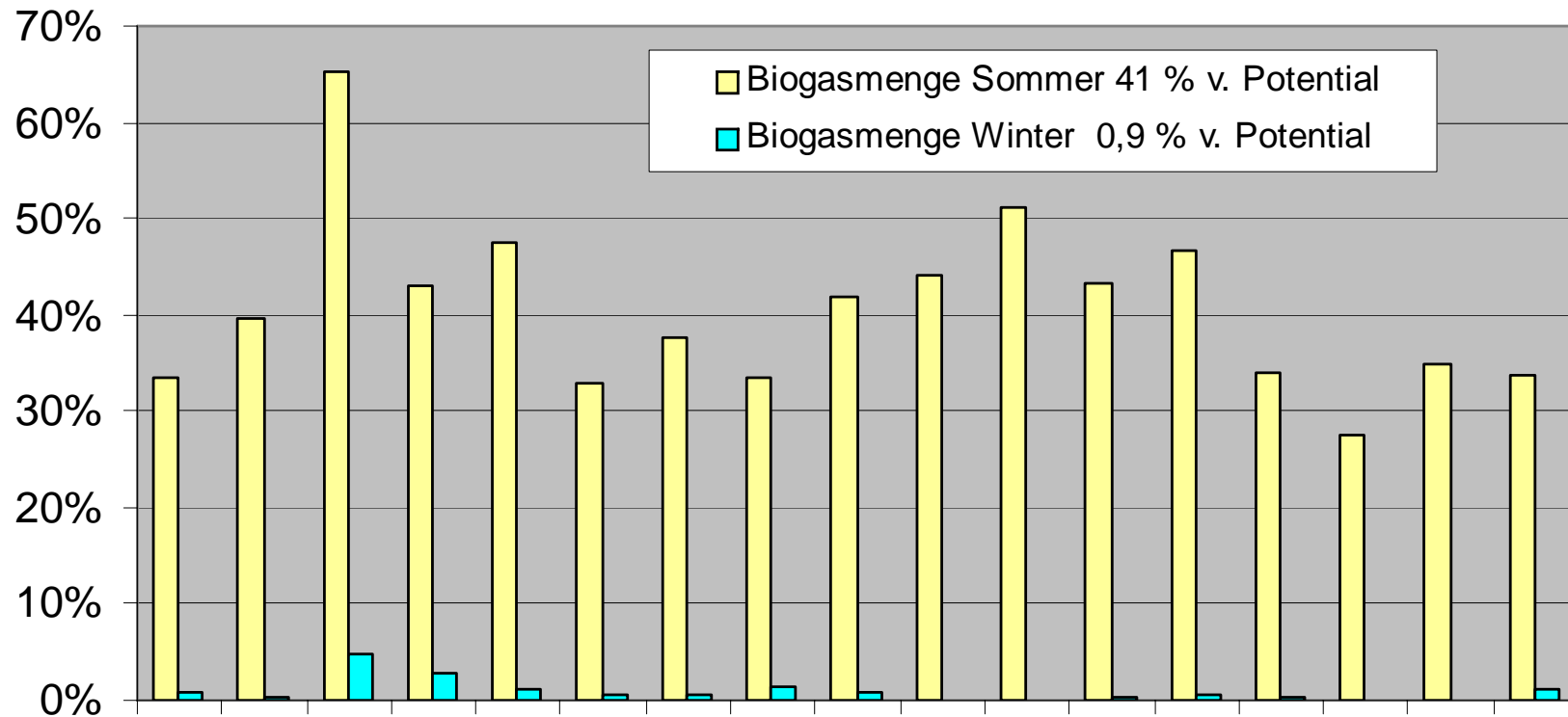


Ermittlung der Restgasemission

Beziehung zwischen Restgaspotential (37 °C) und Restgasmenge bei 25 °C und 10 °C (IN/kg FM)



Verhältniss Restgaspotential zu Restgasmenge (Sommer- (25 °C) und Winterlagerung (10 °C))



→ Restgasemission

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

bei 10 °C (Winter) = vernachlässigbar

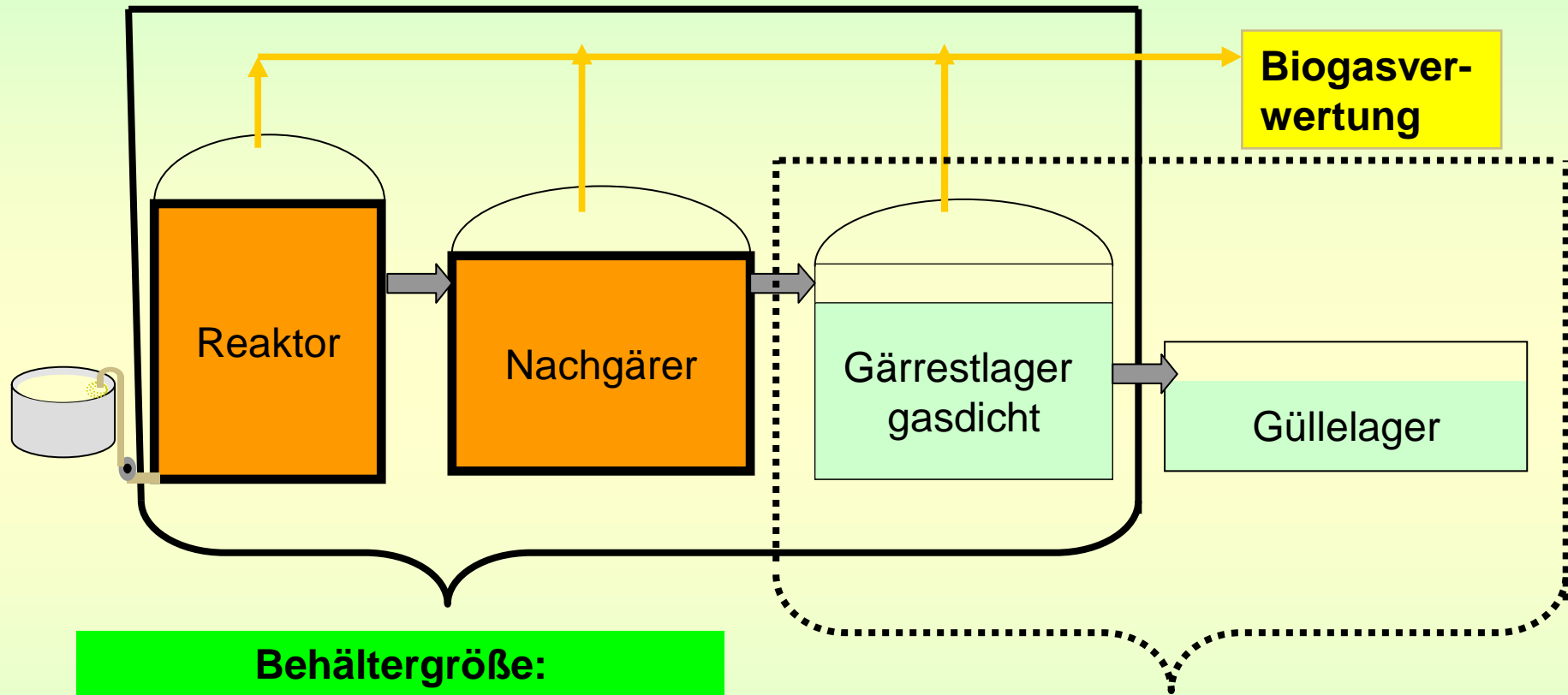


VDI 3475 Bl. 4 Forderung

- für **bestehende BGA** nach einer hydraulischen Verweilzeit (Verweildauer im gasdicht abgedeckten Bereich, d.h. Fermenter, Nachgärbehälter und Lager) von **mindestens 110 Tagen**. Danach kann auf eine weitere gasdichte Abdeckung des Gärrestlagers verzichtet werden. Auch kann verzichtet werden, wenn nachgewiesen wird, dass die **Restmethanbildung (bei 20 °C) pro Stunde kleiner als 1,5 %** der in der Biogasanlage gebildeten Methanmenge ist.
- für **Neubau von BGA** sind neu zu errichtende Gärrestlagerbehälter am Standort der BGA gasdicht auszuführen (**mindestens 150 d, um Restmethanbildung unter 1 % einzuhalten**).



Forderung VDI 3475



Behältergröße:

Mindestverweilzeit (110 / 150 d)
max. Restgas (20 °C, 60 d)
<1,5 % bzw. 1 %

Ziel: CH₄ - Vermeidung

Güllelagerkapazität:

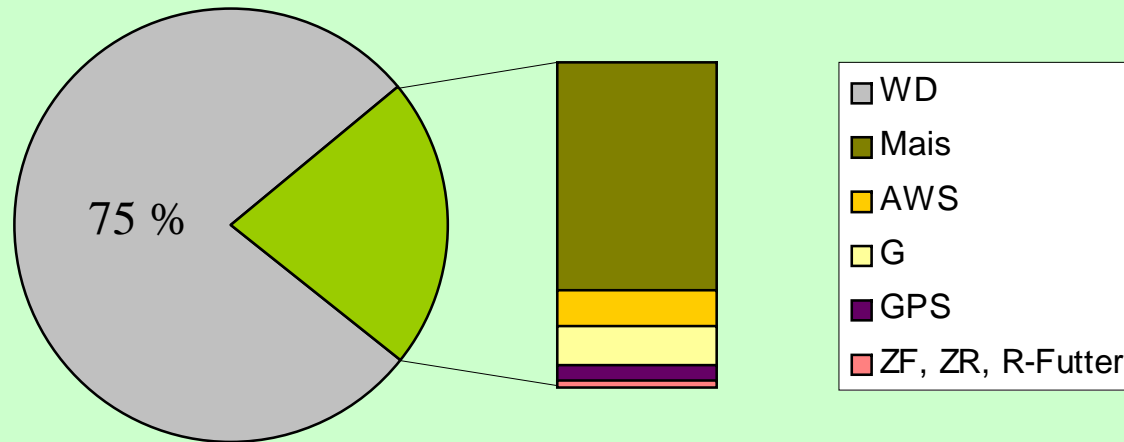
Mindestgröße 180 d DVO

Ziel: NH₄ Vermeidung



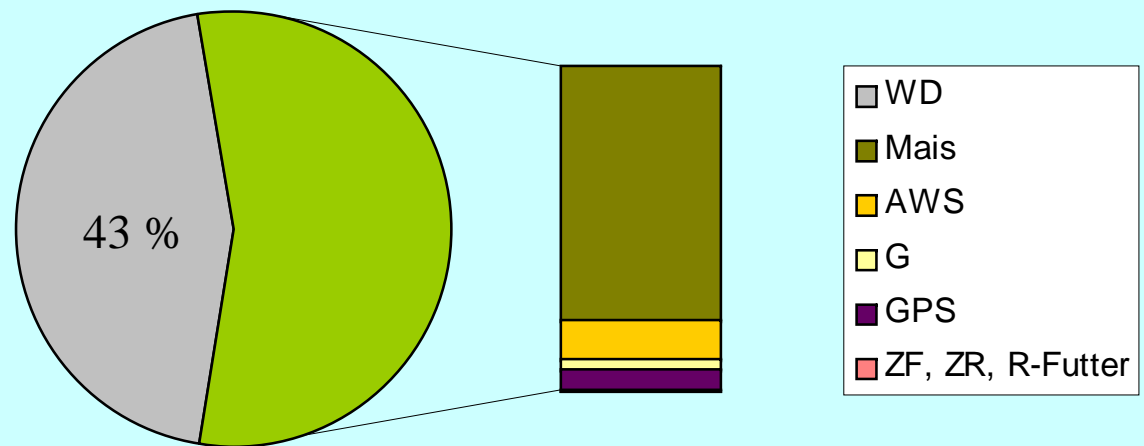
Substrat- einsatz in der „mittleren BGA“

Thüringen (n=140, 500 kW) WD = 78 %

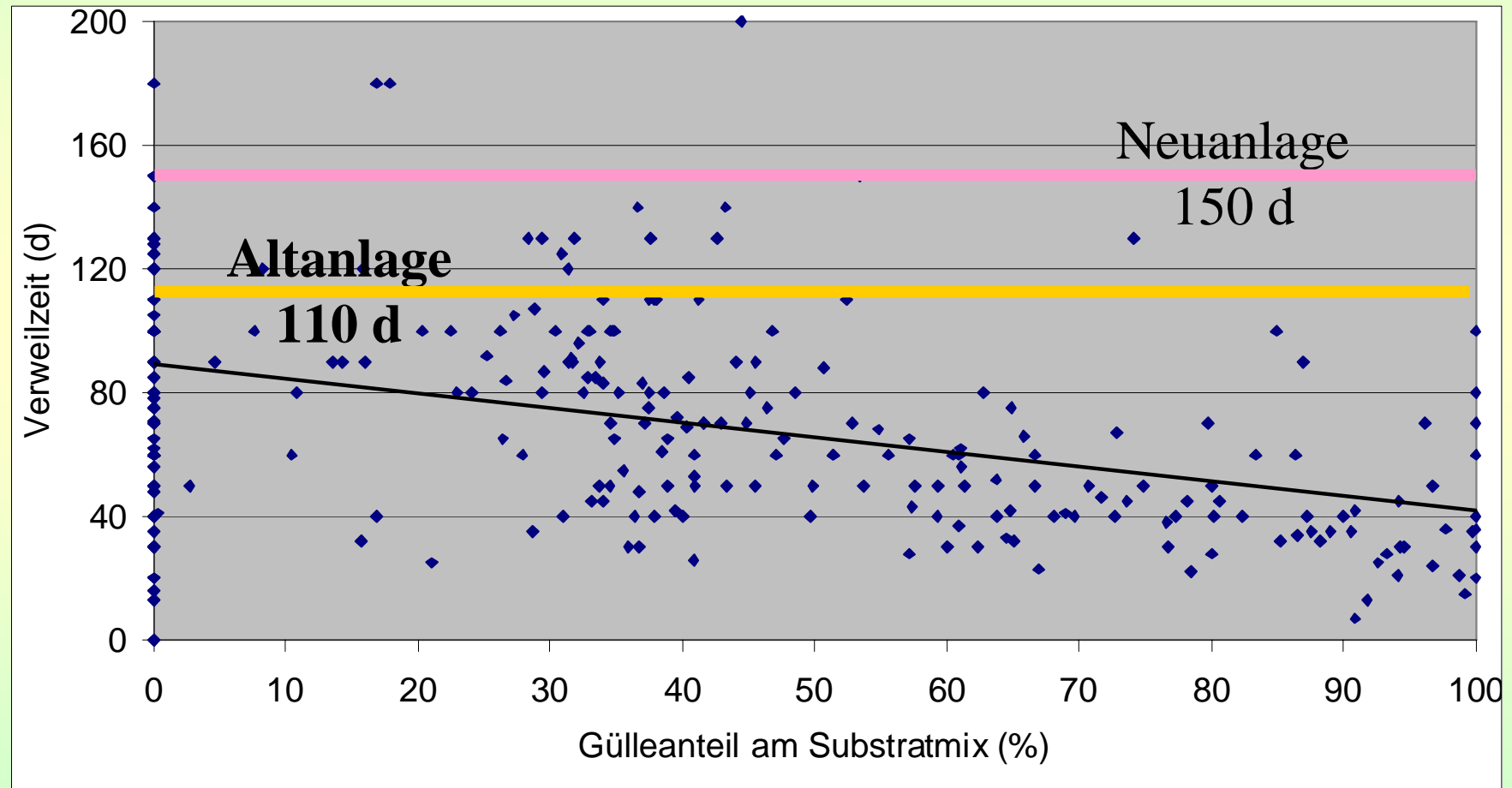


Deutschland (n=1000, 401 kW) WD = 45 %

Quelle: Hölker 2009

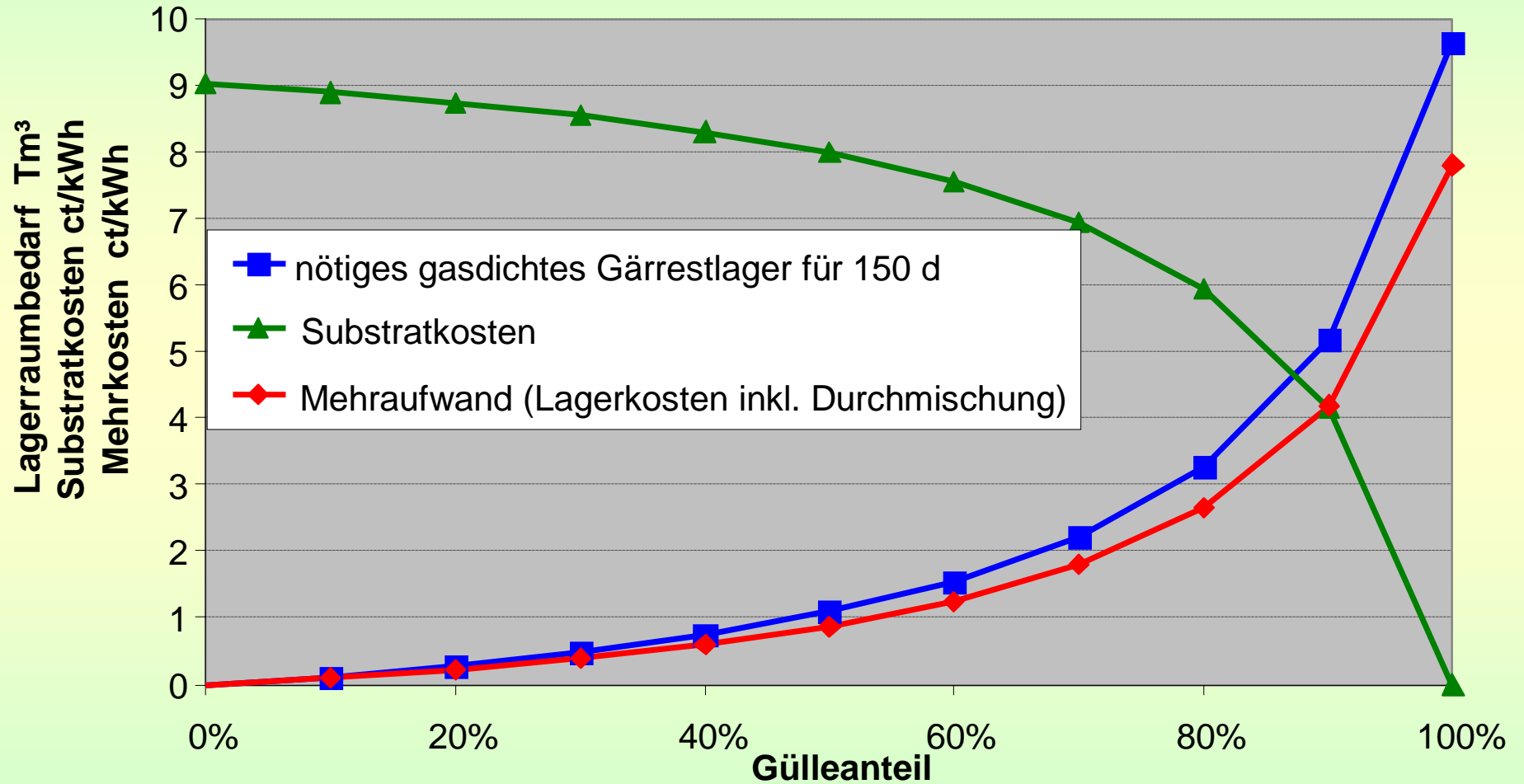


Notwendiger Gärrestlagerzubau nach VDI 3475 (Datenquelle EEG Monitoring n = 258)

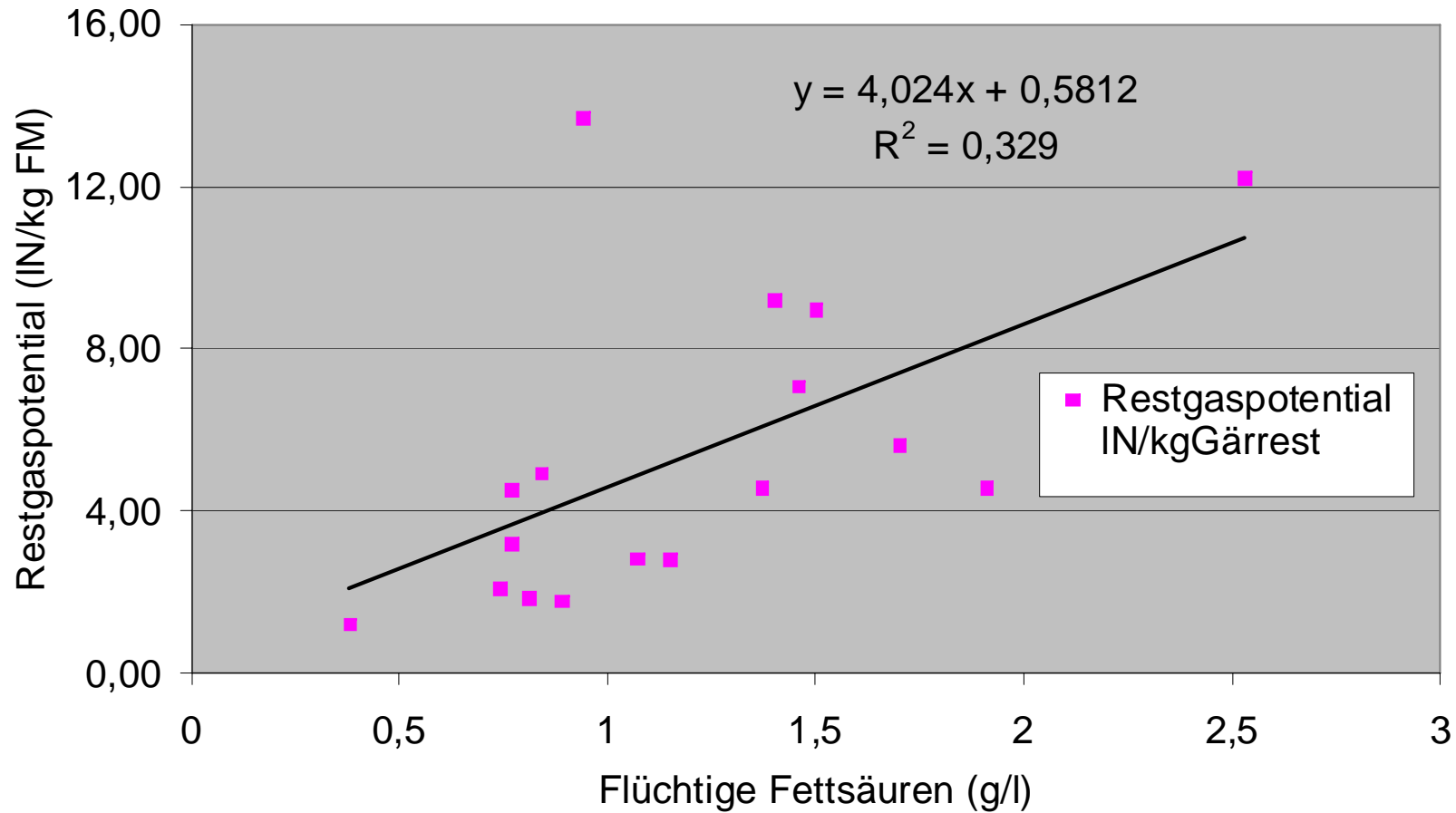


Wirkung des Gülleanteils

(200 kW BGA mit RG 8 % TS + Maissilage 32 % TS; Belastung 2,0 kg /m³ d;
80 €/m³ Investition f. Lager)



Restgaspotential in Abhängigkeit vom Fettsäuregehalt



→ Summe der flüchtigen Fettsäuren hat nur begrenzte Aussagekraft für Restgaspotential



Schlussfolgerungen

- Verfahrenstechnische Parameter (**Verweilzeit und Belastung**) beeinflussen das Restgaspotential deutlich
- **Verweilzeit > 100 d** und **Belastung < 1,5 kg** sind Voraussetzungen für geringes Restgaspotential
- **Fettsäuregehalte** im Gärrest korrelieren nur wenig mit dem Restgaspotential
- Gärrestabkühlung führt zur deutlichen Minderung der Emissionen
- Vom Restgaspotential werden emissionswirksam bei
 - **Sommerlagerung** (25 °C) ca. 40 ... 50 % und bei
 - **Winterlagerung** (10 °C) ca. 1 % des Potenciales



Handlungsbedarf für BGA

- Beim Neubau von Gärrestlager Möglichkeit zur gasdichten Abdeckung vorsehen (Statik, Fundament Mittelstütze, Ringnut, ...)
- Verweilzeit und Belastung in BGA prüfen,
 - wenn $> 110/ 150$ d \rightarrow wenig Handlungsbedarf
 - \rightarrow Entscheidung über gasdichtes Gärrestlager
- Restgasanalyse im Labor (VDI 20 °C, 60 d)
 - Erscheint geeignet, die Emissionsspitze im Sommer widerzuspiegeln
 - Prüfung bei 37 °C zeigt, ob gasdichtes Gärrestlager ökonomische Vorteile bringt
- Anlagenneubau \rightarrow 150 d einhalten



weitere Infos

www.tll.de/ainfo



Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!



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 ausübt,
- inwieweit das unter standardisierten Laborbedingungen ermittelte Restgaspotential mit dem der Lagerung unter Sommerbedingungen und der Lagerung unter Winterbedingungen in Einklang steht,
- ob der Fettsäuregehalt im Gärrest das Restgaspotential kennzeichnet und
- inwieweit der Einfluss von mehrstufigen Vergärungen auf das Restgaspotential nachweisbar ist?

Des Weiteren ist es ein Ziel, ausgehend von den Untersuchungsergebnissen, Vorschläge zur tatsächlich erforderlichen Dauer der gasdichten Lagerzeit abzuleiten.

2. Material und Methoden

Die Betriebsdaten der Thüringer Praxisanlagen belegen, dass Verweilzeit und Belastung wesentliche, die Gasausbeute und damit auch das Restgaspotential bestimmende Faktoren sind. Die Auswertung 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 Spannweite ist nur zum Teil verfahrenstechnisch begründbar.

Ziel des Versuchskonzeptes war die Auswahl von 17 BGA mit einer hohen verfahrenstechnische Variabilität, um die möglichen Spannbreiten der in der Praxis vorkommenden Anlagen abzubilden. Im Einzelnen variierte der Wirtschaftsdüngeranteil im Bereich von 0 bis 100 %. Der NAWARO-Anteil ist durch unterschiedliche Mengenanteile von Mais-, Anwelk- und Ganzpflanzensilage sowie Getreidekorn gekennzeichnet. 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.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden landwirtschaftlichen BGA wurde zusätzlich auf unterschiedliche Fütterungen geachtet. Die kürzeren Verweilzeiten waren in den Anlagen mit einem hohen Gülleanteil und die längeren in NAWARO-Anlagen zu finden.

Mittels Fragebogen erfolgte die Erfassung der aktuellen Betriebsdaten der einzelnen Biogasanlagen zur Ermittlung des Substrateinsatzes, Verweilzeit und Belastung sowie der Gaserzeugung als Monatsmittelwerte. Durch die Erhebung der Gas- und Stromerträge in den Biogasanlagen konnte entsprechend der Kohlenstoffbilanz eine Rückrechnung auf die TS-Gehalte im Eingangssubstrat und die realisierte Gasausbeute errechnet werden (Kohlhase 2010).

Die Gärrestproben wurden aus dem Ablauf der letzten gasdicht abgedeckten Stufe der BGA entnommen und einer nasschemischen Analyse vor und nach der

Restgaspotentialbestimmung mit dem Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) unterzogen.

Die Vergärung im HBT erfolgte ohne Impfschlamm, über einen Zeitraum von 40 Tagen, in jeweils drei Wiederholungen. Zusätzlich wurden hinsichtlich der Vergärungstemperatur parallele Ansätze in den Temperaturstufen 37 °C (Vergärungstemperatur = Restgaspotential) und 25 °C (Lagerbedingungen Sommer) im HBT durchgeführt. Ein dritter Ansatz erfolgte unter vergleichbaren Bedingungen bei 10 °C (Lagerbedingung Winter) im Kühlschrank, allerdings mit manueller Substratmischung.

3. Ergebnisse

3.1 Verweilzeit, Belastung und Gasausbeute in den BGA

Zwischen Gülleanteil und Verweilzeit ist, aufgrund des geringeren Trockensubstanzgehalts der Gülle, eine deutliche Beziehung festzustellen. Mit steigendem Gülleanteil sind in den BGA kürzere Verweilzeiten gewählt worden. Zu erkennen ist dies daran, dass mit steigendem TS-Gehalt der Substratmischung (geringere Gülleanteile), die Verweilzeit in den BGA proportional steigt (Bild 1).

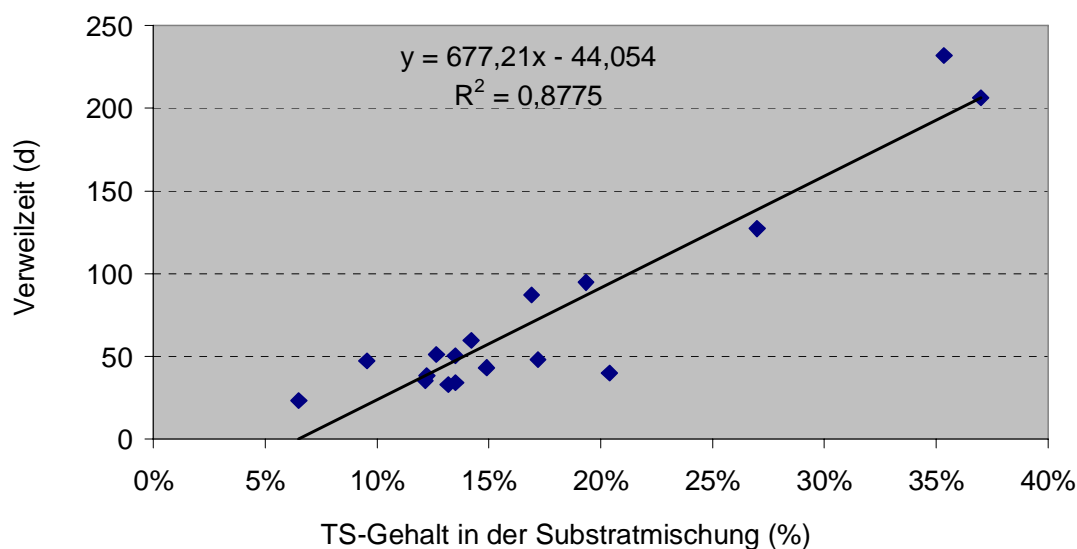


Bild 1: Verhältnis zwischen TS-Gehalt der Substratmischung und der gewählten Verweilzeit in den BGA

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 (Bild 2). 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, Gülleanlagen mit kürzerer Verweilzeit und NAWARO-Anlagen mit längerer Verweilzeit betrieben werden.

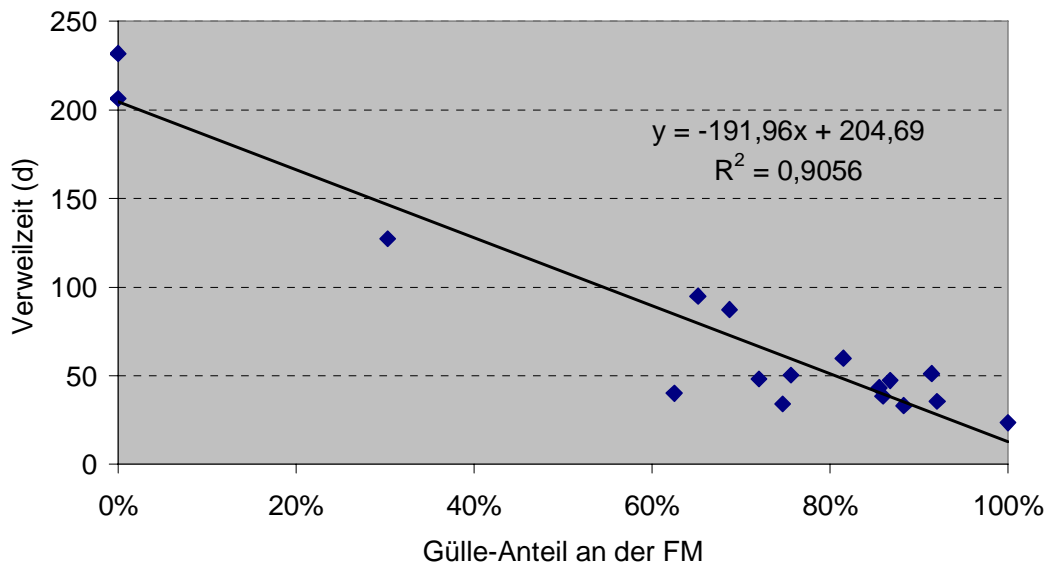


Bild 2: Beziehung zwischen Gülle-Anteil und Verweilzeit in den ausgewählten Praxisanlagen

3.2 Verfahrenstechnische Einflussfaktoren auf das Restgaspotential

Mit Bezug auf die 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 % (Bild 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 der Fütterungsart und dem Restgaspotential nachgewiesen werden (Bild 4).

Bei der Analyse der Daten zeigte sich eine scheinbare Abhängigkeit des Restgaspotentials von dem Gülleanteil im Substratmix. Auffällig war jedoch, dass parallel mit dem steigenden Gülleanteil eine Abnahme der Verweilzeit (bei gleichbleibender Belastung) festzustellen war.

Durch Gegenüberstellung des Gülleanteils an der Frischmasse, des Gasbildungsanteils aus der Gülle, der Verweilzeit und der Belastung zeigte sich, dass trotz deutlich sinkender Verweilzeit, bei erhöhtem Gülleanteil die Belastung der Anlage mit im Mittel $3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ konstant bleibt (Tab. 1). Eine scheinbare Abhängigkeit ergibt sich z. T. durch die geringere Verweilzeit bei verstärktem Gülleinsatz.

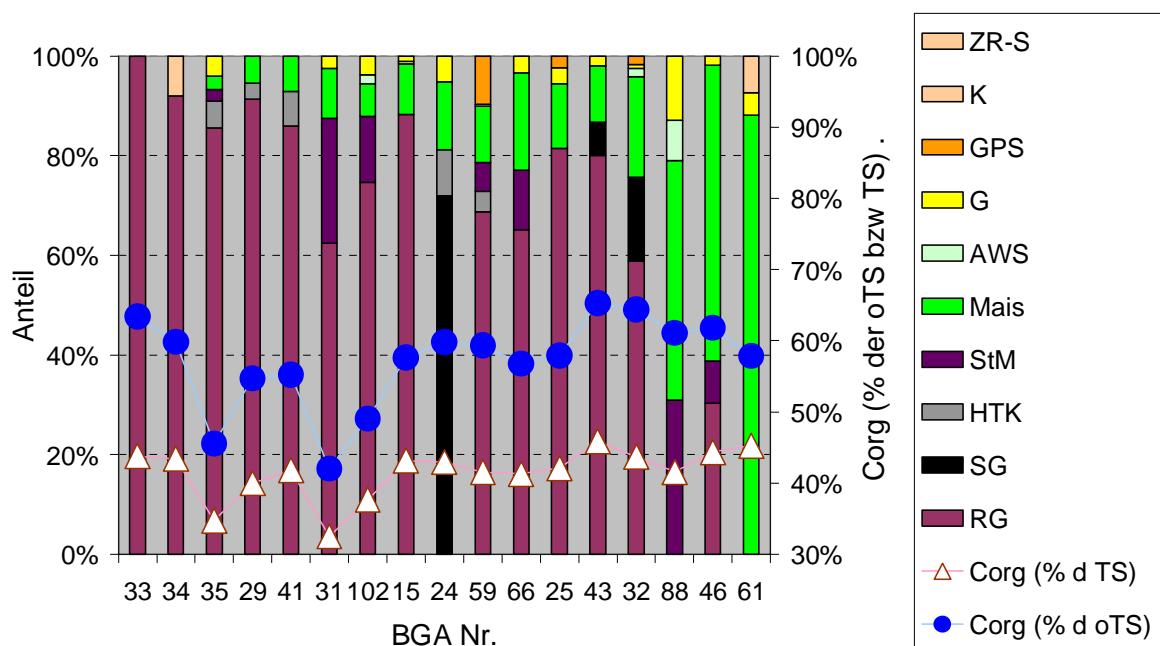


Bild 3: Zusammensetzung der Fütterung der BGA und Unterschiede im TS und C_{org} -Gehalt der Substratmischung

(RG - Rindergülle, SG - Schweinegülle, HTK - Geflügelkot, StM - Stallmist, AWS - Anwelksilage, G - Getreidekorn, GPS - Ganzpflanzensilage, K - Kartoffeln, ZR-S - Zuckerrübenschnitzel)

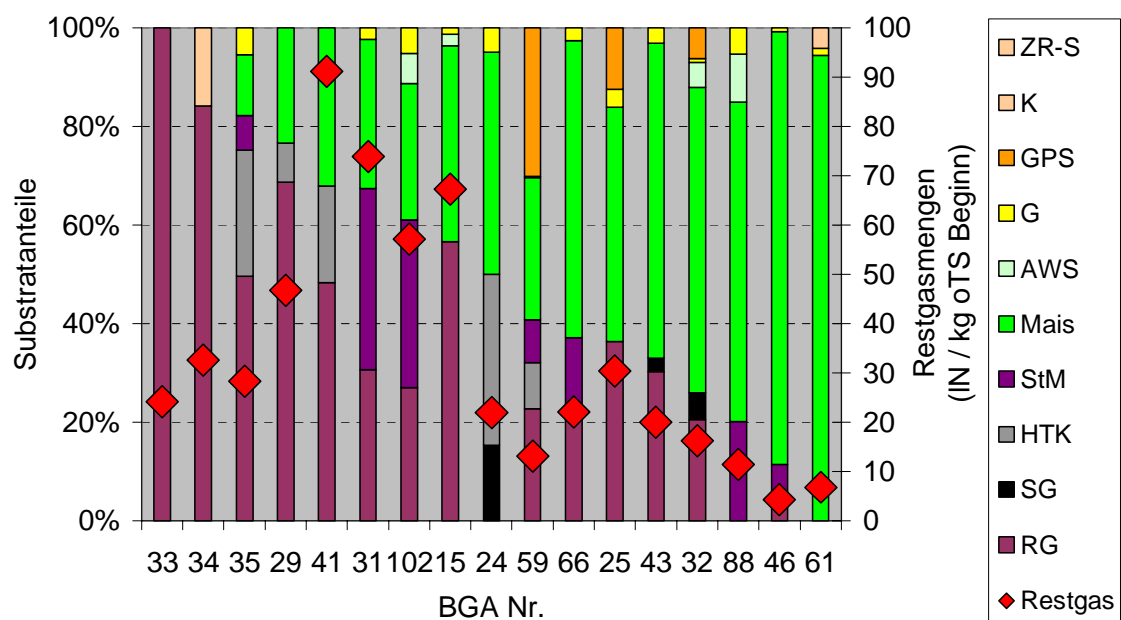


Bild 4: Restgaspotential und Substratanteil an der Methanbildung (Gasausbeute entsprechend KTBL-Richtwerten), absteigend sortiert nach Methanbildungsanteilen aus Wirtschaftsdünger

(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
des Substrats	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

Üblicherweise wird die im HBT gemessene Gasbildung, nach Abzug der Gasbildung aus dem Impfschlamm, auf Normbedingungen umgerechnet und auf die Substratmenge (IN/kg) bzw. auf die eingesetzte oTS (IN/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 (IN/kg oTS) keine mit den üblichen Richtwerten für Gasausbeuten vergleichbaren Werte.

Die bei der Fermentation bereits abgebaute oTS als Bezugsbasis ist mit einzubeziehen. Möglich wird das, indem, ausgehend von der Stromerzeugung, eine Rückrechnung auf den eingesetzten Trockenmassegehalt erfolgt, um die Restgasmenge auf die in der Praxis-Biogasanlage eingesetzte oTS (IN/kg oTS Beginn) beziehen zu können. Die gleiche Vorgehensweise ist auch für die Bestimmung der Restgasmenge in Prozent nach VDI 3475 angeraten, wobei in der VDI aber hierzu keine Hinweise gegeben werden.

Es zeigt sich auf Grundlage der Bezugsbasis IN/kg oTS-Beginn ein enger statistischer Zusammenhang zwischen Verweilzeit und Restgaspotential (Bild 5). 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 zurückführbar sein könnten. Bei Verweilzeiten ab 100 Tagen ist nur noch ein sehr geringes Restgaspotential erkennbar.

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 (Bild 6).

Diese Ergebnisse wurden auch von HÖLKER (2009) bestätigt, der bei der Analyse von 913 untersuchten NAWARO-Biogasanlagen herausfand, dass mit sinkender Verweilzeit eine Verschlechterung der Ausnutzung des Gaspotentials - gemessen an den KTBL-Richtwerten - in Praxisanlagen festzustellen war.

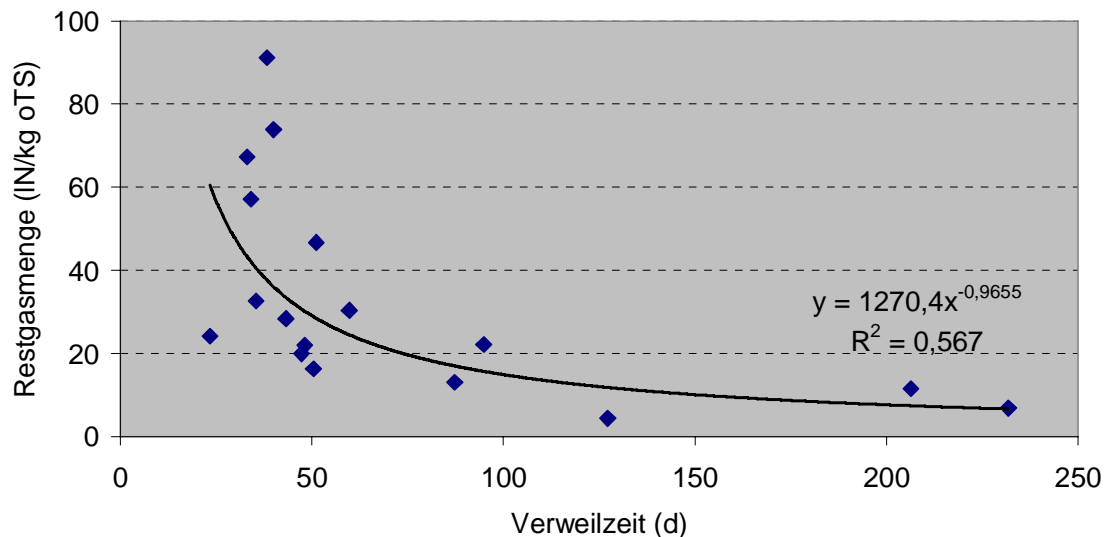


Bild 5: Einfluss der Verweilzeit (d) auf das Restgaspotential in IN/kg oTS Beginn

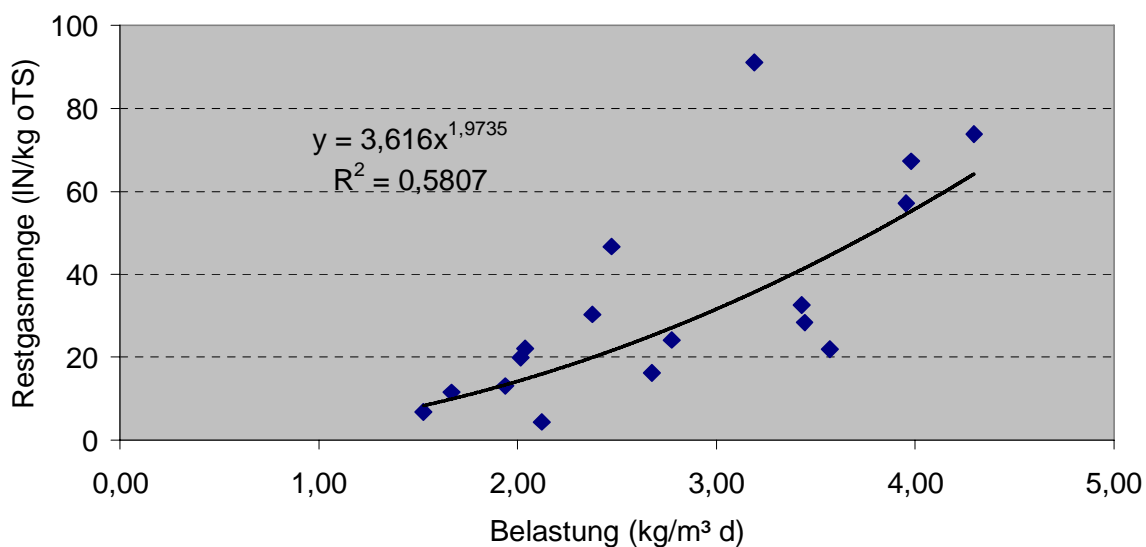


Bild 6: Einfluss der Belastung auf das Restgaspotential (in Norm l/kg oTS Beginn)

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 Güllelagunen unter Sommerbedingungen Temperaturen von ca. 20 °C und unter Winterbedingungen

von unter 10 °C festzustellen ist (REINHOLD, 1988). 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 ist abzuleiten, dass eine enge Beziehung zwischen dem Restgaspotential bei 37 °C und der Restgasmenge bei 25 °C besteht (Bild 7). 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 abgebrochen 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.

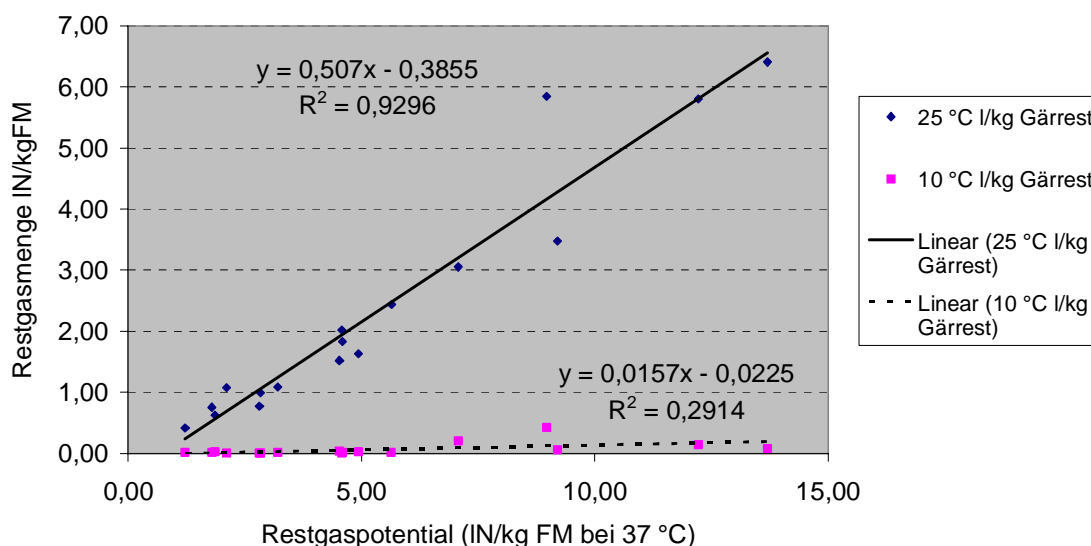


Bild 7: Beziehung zwischen Restgaspotential (IN/kg FM bei 37 °C) und Restgasmenge bei Sommerlagerung (25 °C) und Winterlagerung (10 °C)

Ungeachtet der großen Schwankungsbreite des Restgaspotentials zwischen den einzelnen Anlagen zeigt sich, dass im Durchschnitt bei 25 °C Vergärungstemperatur (Sommerlagerung) nur ca. 50 % des Restgaspotentials als Gasemission aktiviert wird. Bei 10 °C (Winterlagerung) wurden unter 2 % des Restgaspotentials 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

Im Rahmen der nasschemischen Untersuchungen erfolgte neben der Nährstoffanalyse eine Ermittlung des Fettsäuregehaltes aller in den BGA entnommenen Proben. Die Ergebnisauswertung zeigt, dass zwischen

Fettsäuregehalt und Restgaspotential nur ein schwacher statistischer Zusammenhang besteht (Bild 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.

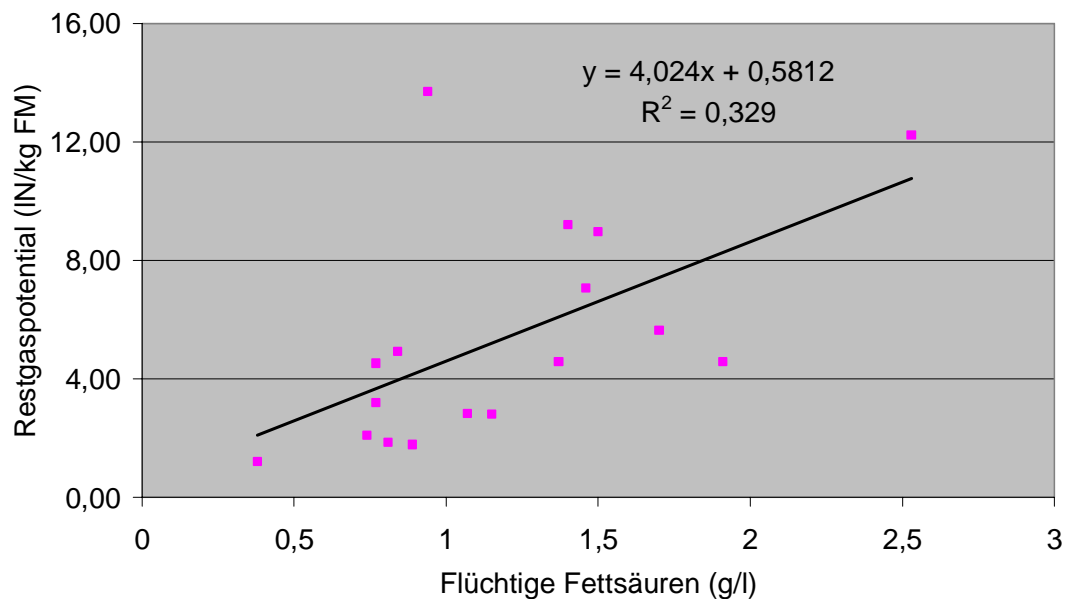


Bild 8: Abhängigkeit des Restgaspotentials (in IN/kg FM) vom Gehalt an Flüchtigen Fettsäuren (in g/l)

4. Zusammenfassung

Die Untersuchung des Restgaspotentials von 17 landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens hat belegt, dass eine starke Abhängigkeit zu den verfahrenstechnischen Parametern besteht. Verweilzeiten über 100 Tagen und Belastungen unter $1,5 \text{ kg oTS/m}^3 \cdot \text{d}$ (im gesamten, gasdicht abgedeckten Raum) führen zu deutlich verminderten Restgaspotentialmengen.

Die in der Praxis auftretende Restgasemission ist stark abhängig von der Lagerungstemperatur. Bei einer provozierten Sommerlagerung von $25 \text{ }^\circ\text{C}$ konnte eine Restgasemission von ca. 50 % im Vergleich zum Restgaspotential ermittelt werden. Bei Winterlagerung ($10 \text{ }^\circ\text{C}$ Vergärungstemperatur) ist davon auszugehen, dass eine nur unwesentliche Methanemission auftritt.

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

Entsprechend dem EEG ist für BImSch-pflichtige Anlagen eine gasdichte Abdeckung der Gärrestlager einschließlich eines Anschlusses an das Gasverwertungssystem gefordert. Ausgehend von den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen, ist eine gasdichte Abdeckung des gesamten Lagerraumes nach der Biogaserzeugung, d. h. von 180 Tagen, zusätzlich zu den Verweilzeiten im Fermenter und Nachgärer, hinsichtlich der Verhältnismäßigkeit zu überprüfen.

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 sind Maßnahmen, die die Methanemissionen auf ein verhältnismäßig geringes Niveau begrenzen könnten.

Literatur

M. Kohlhase, G. Reinhold, K. Gödeke: Restgaspotenziale von Gärresten verschiedener Biogasanlagen. - VDLUFA-Schriftenreihe 66/2010 im Druck

Reinhold, G: Untersuchungen zur großtechnischen Erzeugung und Verwertung von Biogas bei Berücksichtigung der Substratveränderungen. Dissertation, TH Leuna Merseburg 1988

Hölker 2008: Steigende Substratpreise - Wann rechnet sich ein Nachgärer?. - PUBLIKATIONSREIHE: DATEN- UND MODELLBASIERTE PRAXISEMPFEHLUNGEN
Veröffentlicht unter: www.biogas-wissen.de. - Veröffentlichungsdatum: 18.08.2008

Dr.-Ing. Gerd Reinhold, Dr. 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