

**Abschlußbericht
zum Forschungsprojekt**

**Umweltwirkung
von Biogasgülle**



Herausgeber: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1
01326 Dresden
Tel.: (0351) 2612-0 Fax: (0351) 2612-153

Redaktion: Dipl.-Ing. agr. Jäkel, Dipl.-Ing. Mau

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich LB, Leipziger Str. 200
04430 Böhlitz-Ehrenberg
Tel.: 0341 44 72 -0 Fax 0341 44 72 -314

Bearbeiter: FB 3 Dipl.-Ing. agr. Jäkel, Dipl.-Ing. agr. Gramm
FB 4 Dr. Albert, Dipl.-Ing. (FH) Weigert
FB 8 Dr. Wanka, Dr. Steinhöfel
FB 10 Dr. Dittrich

Redaktionsschluß: Juli 1999

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der EU gefördert..

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Mißbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, daß dies als Parteinahme der Herausgeber zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Inhaltsverzeichnis

	Tabellenverzeichnis	
	Abbildungsverzeichnis	
1	Untersuchung zur Freisetzung von Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle	1
1.1	Derzeitiger Kenntnisstand	1
1.1.1	Emissionen aus der Landwirtschaft	1
1.1.2	Einflußfaktoren auf die Entstehung und Freisetzung von Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle	3
1.2	Material und Methoden	7
1.2.1	Emissionsmessungen	7
1.2.2	Betriebsdaten	10
1.3	Auswertung und Diskussion	12
1.3.1	Bildung natürlicher Schwimmschichten	12
1.3.2	Emissionen	13
1.3.2.1	NH ₃ -, N ₂ O-, CO ₂ - und CH ₄ -Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle ohne Schwimmschicht	13
1.3.2.2	NH ₃ -, N ₂ O-, CO ₂ - und CH ₄ -Emissionen bei der Lagerung von Gülle mit Schwimmschicht	14
1.3.2.3	Geruchsstoff-Emissionen bei der Lagerung von Gülle	15
1.4	Ergebnisse	17
2	Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und Infektionserregern in Biogasgülle bei Kofermentation mit organischen Reststoffen im Vergleich zu unbehandelter Gülle	18
2.1	Grundlagen und Probleme der Kofermentation	18
2.2	Seuchenhygienische Probleme und erhöhte Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger	20
2.3	Hygienisierung der Gärsubstrate	20
2.4	Versuchsdurchführung, Auswertung und Diskussion	22
2.4.1	Analyse der Inhaltsstoffe	25
2.4.2	Analyse der Schwermetallgehalte	28
2.4.3	Analyse der Keimgehalte	28
2.4.4	Analysen zu CSB und BSB Werten	29
2.5	Ergebnisse	30
3	Prüfung von vergorener Gülle hinsichtlich Ertragsleistung und N-Entzug von Winterraps im Herbst im Vergleich zu unvergorener Gülle	31
3.1	Versuchsdurchführung	31
3.2	Auswertung und Diskussion	33
3.3	Ergebnisse	34
4	Untersuchungen zum Futteraufnahmeverhalten bei Rindern bei Verwendung von Biogasgülle im Vergleich zu konventioneller Gülle	41
4.1	Ziel	41
4.2	Versuchsaufbau	42
4.3	Durchführung der Tierbeobachtungen	44
4.4	Wirkung der Biogasgülle auf die botanische Zusammensetzung und den Futterwert	45
4.5	Ergebnisse	49

5.	Lysimeteruntersuchungen mit Winterweizen zur Prüfung von vergorener und unvergorener Gülle auf Ertrag, N-Entzug und N-Auswaschung	50
5.1	Einleitung	50
5.2	Versuchsdurchführung	50
5.3	Ergebnisse	51
5.4	Schlussfolgerung	54
6	Literaturverzeichnis	55

Tabellenverzeichnis

Kapitel 1

Tabelle 1.1	Anteil der Landwirtschaft an der CO ₂ -Freisetzung durch den direkten und indirekten Einsatz fossiler Energieträger (nach AHLGRIMM 1995)	1
Tabelle 1.2	Veränderungen in den Gülleeigenschaften infolge Fermentation	4
Tabelle 1.3	Kosten verschiedener Güllebehälterabdeckungen	7
Tabelle 1.4	Charakterisierung der eingesetzten Substrate, Lagerbedingungen und Messungen in den untersuchten Anlagen	10
Tabelle 1.5	Relative Minderung / Erhöhung der Spurengasemissionen vergorener Gülle in Bezug auf unvergorene Gülle ohne Schwimmschicht	13
Tabelle 1.6	Relative Minderung / Erhöhung der Spurengasemissionen vergorener Gülle mit ausgebildeter natürlicher Schwimmschicht in Bezug auf unvergorene Gülle ohne Schwimmschicht	14
Tabelle 1.7	Minderung der Geruchsstoffemissionen	15

Kapitel 2

Tabelle 2.1	Zuordnung von Abfallstoffen und erforderlicher Vorbehandlung	18
Tabelle 2.2	Grenzwerte für Schwermetallgehalte laut BioAbfV und AbklärV	19
Tabelle 2.3	Infektionserreger in Flüssigmist und organischen Abfällen	21
Tabelle 2.4	Anforderungen an die Hygienisierung von Bioabfällen und Speiseresten in Biogasanlagen	21
Tabelle 2.5	Übersicht über untersuchte Anlagen in Sachsen	24
Tabelle 2.6	<i>(aus Datenschutzgründen aus Bericht entfernt)</i>	
Tabelle 2.7	Chemischer- und Biochemischer Sauerstoffbedarf der Gülle und weiterer Stoffe der Biogasanlage	29

Kapitel 3

Tabelle 3.1	Prüffaktoren des Gefäßversuches	31
Tabelle 3.2	Nährstoffgehalte der eingesetzten Güllen	32
Tabelle 3.3	Einfluß einer variierten N-Zufuhr auf die N-Entzüge und N-Ausnutzung in Abhängigkeit von der Düngerart und N-Düngermenge (N-Zufuhr auf N _t -Basis berechnet)	34

Kapitel 4

Tabelle 4.1	Witterungsverlauf im Zeitraum zwischen Düngerausbringung und Beginn der Beweidung	44
Tabelle 4.2	Botanische Zusammensetzung der verschiedenen Parzellen	46
Tabelle 4.3	Weideversuch / Trockenmasse- und Energieerträge	47
Tabelle 4.4	Weideversuch / Futterwertdaten	48

Kapitel 5

Tabelle 5.1:	Nitratauswaschung im Zeitraum Oktober bis April in Abhängigkeit von der Gülledüngung (Summe der Niederschläge von Oktober bis April = 347,7 mm)	52
--------------	---	----

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 1

Abbildung 1.1	N-Charakteristik verschiedener Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft (ALBERT, 1997)	5
Abbildung 1.2	Biologische Prozesse im Güllebehälter (RÜPRICH, 1980)	6
Abbildung 1.3	Verlauf der Konzentrationen bei der Kammermethode	8
Abbildung 1.4	Meß- und Probenahmevorrichtung nach der Kammermethode	9
Abbildung 1.5	Vier Hochbehälter zur Lagerung des vergorenen Substrates in der Biogasanlage Gröden	11
Abbildung 1.6	Erdbecken zur Lagerung des vergorenen Substrates in Nassau	11
Abbildung 1.7	Erdbecken zur Lagerung des vergorenen Substrates in Oberlungwitz	12
Abbildung 1.8	Einfluß der Verweilzeit auf die Geruchsintensität von Faulschlamm (ISENSEE, 1984)	16

Kapitel 2

Abbildung 2.1	<i>(aus Datenschutzgründen aus Bericht entfernt)</i>	
Abbildung 2.2	Analysenwerte der unvergorenen Rindergülle	26
Abbildung 2.3	Analysenwerte von Hühnerkot und Hühnerkot mit Zuschlagstoffen	26
Abbildung 2.4	Analysenwerte der Biogasgülle	27
Abbildung 2.5	Mittelwert der Proben von Rinder- und Biogasgülle	27

Kapitel 3

Abbildung 3.1	Gefäßversuch	31
Abbildung 3.2	Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N _t -Basis)	35
Abbildung 3.3	Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N _t -Basis)	35
Abbildung 3.4	Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N _t -Basis)	36
Abbildung 3.5	Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N _t -Basis)	36

Abbildung 3.6	Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t -Basis)	37
Abbildung 3.7	Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t -Basis)	37
Abbildung 3.8	Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH_4 -N-Basis)	38
Abbildung 3.9	Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH_4 -N-Basis)	38
Abbildung 3.10	Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH_4 -N-Basis)	39
Abbildung 3.11	Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH_4 -N-Basis)	39
Abbildung 3.12	Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH_4 -N-Basis)	40
Abbildung 3.13	Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in	40

Kapitel 4

Abbildung 4.1	Parzellenanordnung	52
---------------	--------------------	----

Kapitel 5

Abbildung 5.1:	Niederschläge und mittlere Sickerwassermengen im Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999	51
Abbildung 5.2:	Gesamt-N-Austrag [kg/ha] in Abhängigkeit von der Gülle-Düngung und Bodenart	52
Abbildung 5.3:	Wirkung unterschiedlicher Gülle auf den Kornertrag von Winterweizen	53
Abbildung 5.4:	Einfluss unterschiedlicher Güllen auf die Gesamt-N-Entzüge von Winterweizen	53

1 Untersuchung zur Freisetzung von Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle

1.1 Derzeitiger Kenntnisstand

Bei der anaeroben Vergärung kommt es zu Veränderungen der Gülleeigenschaften, die sich auf das Emissionsverhalten der vergorenen Gülle auswirken. Methan- und Geruchsemissionen werden beispielsweise reduziert, Ammoniakemissionen jedoch erhöht.

Ziel der Untersuchungen war es, die Umweltwirkung des Endproduktes bei der Lagerung zu erfassen. Es wurden die Emissionen an Ammoniak, Lachgas, Methan, Kohlendioxid und Geruchsstoffen unvergorener und vergorener Gülle ermittelt.

1.1.1 Emissionen aus der Landwirtschaft

Kohlendioxid

Kohlendioxid ist ein Bestandteil der Luft. Die anthropogen verursachten CO₂-Emissionen haben jedoch dazu geführt, daß die CO₂-Konzentration der Luft 350 ppm übersteigt und den Treibhauseffekt verstärkt.

Der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamt-CO₂-Emissionen Deutschlands beläuft sich auf 3,9 % und ist in erster Linie auf die direkte und indirekte Nutzung fossiler Energieträger zurückzuführen. Die daraus resultierende CO₂-Freisetzung wurde für die BRD 1991 auf ca. 38,4 Mio. t/a beziffert (AHLGRIMM, 1995). Die Zusammensetzung der Emissionsmenge ist in *Tabelle 1.1* aufgeführt.

Tabelle 1.1 Anteil der Landwirtschaft an der CO₂-Freisetzung durch den direkten und indirekten Einsatz fossiler Energieträger (nach AHLGRIMM 1995)

Quellen	CO ₂ -Emissionen (in Mio. t/a)
Treibstoff	9,0
Heizöl	7,6
elektrischer Strom	8,4
Handelsdünger	13,4
Summe	38,4

Die Biogasproduktion bietet die Möglichkeit, die Verbrennung fossiler Energieträger zu reduzieren, da die in den organischen Reststoffen gespeicherte Energie freigesetzt wird. Das Verfahren trägt damit zur Verringerung der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft bei. Bei einem Biogaspotential von 3,5 Mrd. m³ kann das CO₂-Reduktionspotential für Deutschland auf 4 Mio. t / a kalkuliert werden (AHLGRIMM, 1995).

Methan

Methan ist ein bedeutendes treibhauswirksames Spurengas. Es hat Einfluß auf den Ozonhaushalt der Tropo- und Stratosphäre, den Wasserdampfhaushalt der Stratosphäre und auf die troposphärische OH- und CO-Konzentration. Da durch troposphärische Oxidation weniger Methan abgebaut als gebildet wird, kommt es zu einer jährlichen Anreicherung von 0,7 % in der Atmosphäre (ENQUETE-KOMMISSION, 1992). Die Auswirkungen der Methanfreisetzung sind keinesfalls zu unterschätzen. Entsprechend einer Studie der ENQUETE-KOMMISSION (1990) ist Methan zu etwa 13 % am Treibhauseffekt beteiligt.

Als Hauptquellen der Methan-Gärung (BAADER et al, 1977) sind natürliche Feuchtgebiete, Moore und Sümpfe sowie anthropogene Aktivitäten im Bereich der Landwirtschaft und Abproduktlagerung (Müll, Abwasser) hervorzuheben.

In Deutschland wurden die CH₄-Emissionen 1990 auf 5 bis 8 Mio. t/a geschätzt (UBA, 1993). Die Landwirtschaft ist für 25 bis 35 % der anthropogenen Emissionen verantwortlich.

Der überwiegende Teil entsteht beim Abbau organischer Masse (Futtermittel) durch spezielle Bakterien im Pansen von Wiederkäuern. Durch den Abbau organischer Substanzen in tierischen Exkrementen entstehen schätzungsweise 0,8 Mio. t CH₄/a (AHLGRIMM, 1995). Das sind nur etwa 6 % der Gesamtmethanemissionen aus der Landwirtschaft.

AHLGRIMM (1995) schätzt, daß durch Errichtung von Biogasanlagen die Methanfreisetzung aus tierischen Exkrementen um mindestens 50 % reduziert werden kann.

Lachgas

Lachgas zerstört als Treibhausgas in der Stratosphäre die Ozonschicht und wird durch photochemische Prozesse in der Stratosphäre abgebaut. Es wird eingeschätzt, daß die Emissionen jährlich um 0,25 % steigen.

Der überwiegende Teil der N₂O-Emissionen entsteht infolge von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen in natürliche Quellen, wie Ozeane, Seen und natürliche Böden.

Die Angaben zu globalen und nationalen Emissionsmengen schwanken sehr stark. Die deutsche Landwirtschaft setzt ca. 78 bis 88 kt/a frei, 60 bis 76 kt aus Böden und 11 kt aus tierischen Exkrementen (UBA, 1993). Hauptursache der N₂O-Freisetzung aus Böden ist der N-Überschuß infolge überhöhten Mineraldüngereinsatzes. Es wird angenommen, daß zwischen 0,4 und 3,2 % des in den Boden eingebrachten Stickstoffs als Lachgas freigesetzt werden.

Der Erkenntnisstand zu Lachgasemissionen aus tierischen Exkrementen ist noch lückenhaft.

Ammoniak

Ammoniak trägt infolge seiner weiträumigen Deposition zur Eutrophierung und Versauerung von Ökosystemen bei.

Es wird in geringem Umfang beim Einsatz von Mineraldüngern freigesetzt. Höher ist der Anteil bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern und beim Abbau organischer Substanzen. Der größte Emittent von Ammoniak ist sowohl global mit 75 %, als auch national mit 90 % der Gesamtemissionen die Landwirtschaft. Sie setzt national ca. 660 bis 750 kt NH₃ je Jahr frei (UMK-AG-Stickstoffminderungsprogramm, 1995). Die Hauptquelle stellt mit ca. 90 % die Tierhaltung

dar. Die Güllelagerung wiederum hat einen Anteil von etwa 15 bis 30 %, die Ausbringung von etwa 60 %.

Die anaerobe Güllebehandlung (Biogaserzeugung) hat eine erhöhte Freisetzung von Ammoniak bei der Güllelagerung zur Folge, wenn die Behälter nicht durch Ausbildung natürlicher Schwimmschichten oder durch technische Maßnahmen abgedeckt werden.

Geruchsstoffe

Aus der Tierhaltung werden zahlreiche Geruchsstoffe freigesetzt. Nach HARTUNG (1988) handelt es sich um etwa 140 Einzelkomponenten.

- | | |
|--------------------------|---|
| ⇒ N-haltige Verbindungen | Ammoniak
Amine (Methylamin, Dimethylamin, Trimethylamin) |
| ⇒ S-haltige Verbindungen | Schwefelwasserstoff
Sulfide
Merkaptane |
| ⇒ Phenole und Indole | Uresol
Indol
Skatol |
| ⇒ Fettsäuren | Essigsäure
Propionsäure
Buttersäure |
| ⇒ Alkohole | |
| ⇒ Ketone | |
| ⇒ Aldehyde | |

Hauptemissionsquellen sind die Ställe, die Lagerung und Ausbringung von Exkrementen, die Futterlagerstätten sowie die von den Tieren ausgehenden Körperausdünstungen.

Die anaerobe Fermentation bedingt den Abbau geruchsintensiver Substanzen wie flüchtige Fettsäuren, Phenole, Indole und Skatole, so daß die von der Güllelagerung und -ausbringung ausgehenden Geruchsbelästigungen reduziert werden.

1.1.2 Einflußfaktoren auf die Entstehung und Freisetzung von Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle

Bei der Lagerung von vergorener Gülle werden infolge mikrobieller Umsetzungsprozesse weiterhin organische Substanzen abgebaut. Es entstehen u. a. in Abhängigkeit von der Gülleart und den Reaktionsbedingungen unterschiedliche Mengen an klima- und umweltrelevanten Gasen. Zu nennen sind in erster Linie Ammoniak, Lachgas, Methan, Kohlendioxid und Geruchsstoffe.

Auf die Freisetzung von Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle nehmen Einfluß

- Fermentation
- Gülleart
- Bedingungen der Güllelagerung

Fermentation

Da für den Fermentationsprozeß „frische“ Gülle besser geeignet ist, wird der größte Teil der Gülle bis zum optimalen Zeitpunkt der Ausbringung in vergorener Form gelagert. Infolge der anaeroben Vergärung kommt es zu Veränderungen in den Gülleeigenschaften, die sich auf das Emissionsverhalten der zu lagernden Gülle auswirken können (*Tabelle 1.2*).

Tabelle 1.2 Veränderungen in den Gülleeigenschaften infolge Fermentation

Veränderungen	zu erwartende Wirkungen bei der Lagerung
Abnahme der organischen Substanz (um ca. 40 %)	Geruchsminderung, Reduzierung von Methan- und Lachgasemissionen, verminderte Schwimmdeckenbildung
Erhöhung des pH-Wertes Erhöhung der Temperatur Zunahme des Ammoniumgehaltes	Erhöhung der Ammoniakemissionen

Die Abbaurate der organischen Substanz wird hauptsächlich von der Gülleart und dem Gärverlauf beeinflusst. Die organische Substanz von Rindergülle wird zu etwa 30 % (Milchvieh) bis 40 % (Mastrinder), von Schweinegülle zwischen 40 und 60 % und von Hühnergülle zu durchschnittlich 45 % abgebaut (WELLINGER, 1991; ASMUS, 1988; SCHULZ, 1989). Abgebaut werden vor allem Zellulose, Hemizellulose, flüchtige Fettsäuren und Eiweiße. Lignin bleibt erhalten. Daher ist bei Rindergülle oftmals ein unvollständiger Abbau der organischen Substanz zu beobachten. Außerdem ist das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff enger (WELLINGER, 1991). Mit Zunahme der Verweilzeit im Fermenter erhöht sich die Abbaurate.

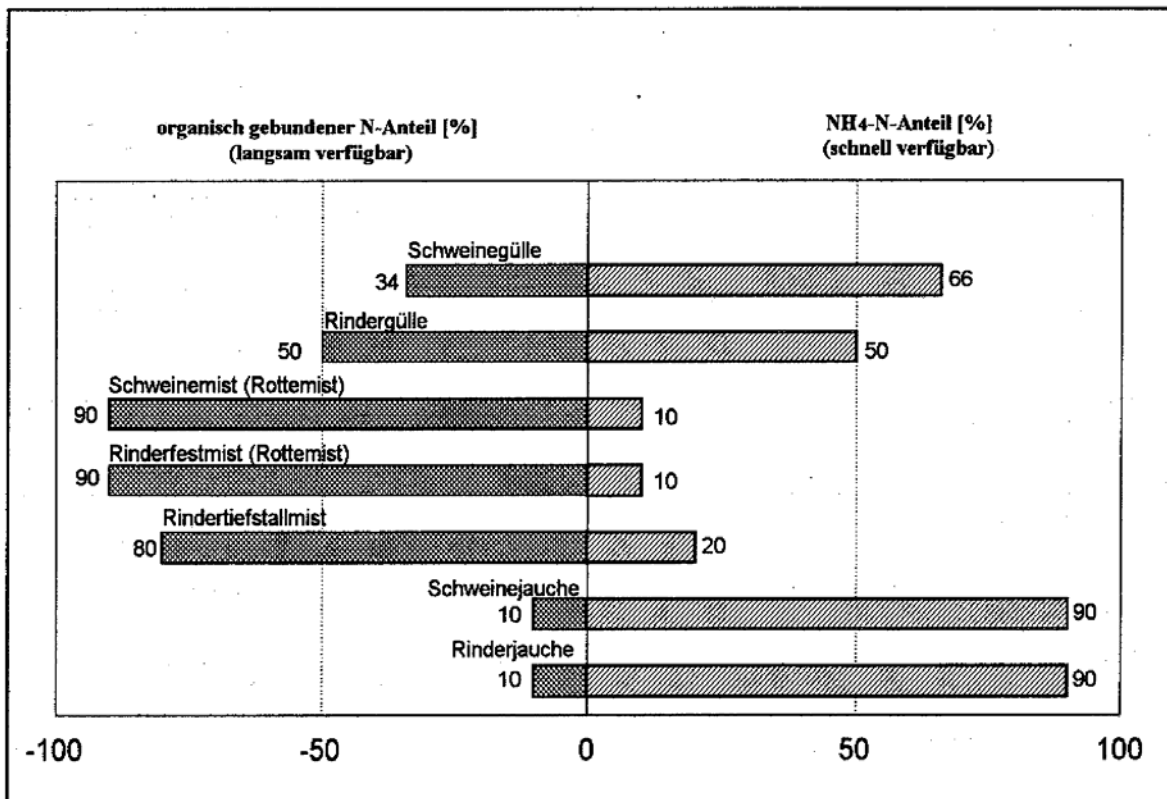
Infolge der Mineralisation der organischen Substanz kann der Anteil des organisch gebunden Stickstoffs um 3 bis 42 % abnehmen und des mineralischen Stickstoffs ($\text{NH}_4\text{-N}$), der in der unbehandelten Gülle je nach Tierart zwischen 40 und 60 % des Gesamt-N-Gehaltes betragen kann, um 1 bis 75 % zunehmen (WELLINGER, 1991; ASMUS, 1988). Der Mineralisationsgrad ist vom Ausgangsverhältnis N-organisch zu N-gesamt abhängig. Bei einem hohen Gehalt an Gesamtstickstoff, z. B. bei Mischung von Hühnerkot und Rindergülle kann unter Umständen auch eine Verminderung des Ammoniumstickstoffgehaltes auftreten.

Gülleart

Die Freisetzung der Spurengase ist in starkem Maße von den Gülleinhaltsstoffen und deren physikalischen Eigenschaften (z. B. Dichte, Dampfdruck und Diffusion) abhängig. Je mehr die Dichte eines Gases von der der Luft abweicht und je größer die Diffusionskonstante, um so rascher wird diese Substanz emittiert. Zu den schnell diffundierenden Gasen gehört Ammoniak.

Auch mit zunehmendem NH_4 -Anteil in Jauche und Gülle sind höhere NH_4 -Verluste zu erwarten. Der Gehalt an löslichen N-Verbindungen (z. B. Harnstoff) ist von der Tierart abhängig. Schweine scheiden einen höheren Anteil des Stickstoffs in löslicher Form aus als Rinder. Der Anteil des anfallenden Stickstoffs in organisch gebundener bzw. löslicher, schnell wirksamer Form variiert außerdem in Abhängigkeit von der Art des Wirtschaftsdüngers (Abbildung 1.1).

Abbildung 1.1 N-Charakteristik verschiedener Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft (ALBERT, 1997)



Bedingungen der Güllelagerung

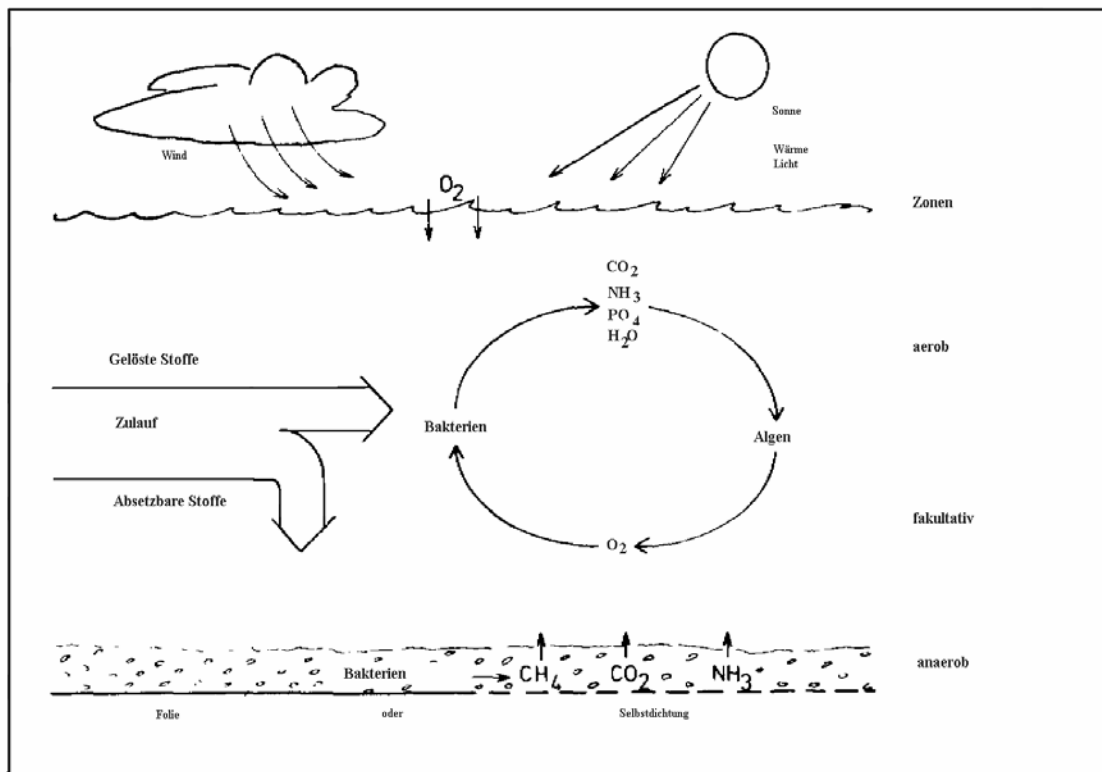
Auch äußeren Faktoren (z. B. Temperatur, Windgeschwindigkeit) nehmen Einfluß auf die Freisetzung von Spurengasen.

Mit Zunahme des Füllstandes des Lagerbehälters wird sowohl die Gülleoberfläche verstärkt der einströmenden Luft ausgesetzt, als auch die über der Oberfläche vorhandene Luft schneller abtransportiert. Mit steigender Windgeschwindigkeit und Temperatur wird dieser Effekt verstärkt. Durch Erwärmung des Flüssigmistes wird die Bakterientätigkeit erhöht und somit die Entstehung von Emissionen gefördert. Die Temperaturabhängigkeit der Spurengasfreisetzung ist am besten für Ammoniak und Methan untersucht. Die Methanbildung findet in einem Temperaturbereich von 4 °C bis 60 °C statt. Untersuchungen zur Methangärung belegen, daß mesophile (etwa 35 °C) und thermophile (etwa 55 °C bis 60 °C) Temperaturen biologisch bedingte Optimalbereiche darstellen. Die Geschwindigkeit der Methanbildung ist im thermophilen Bereich etwa 2,5 mal höher als bei Temperaturen um 35 °C.

Versuche von DE BODE (1990) zeigen, daß die Ammoniakemissionen aus Güllelagern im Sommer etwa 3 mal höher sind als im Winter. Bei einer Temperaturerhöhung steigt der Dampfdruck, die wäßrige Phase gibt Ammoniak ab; sinken die Temperaturen, entsteht in der flüssigen Phase ein Sättigungsdefizit, die Emissionen werden reduziert (OLDENBURG, 1989).

Die Gasbildung ist darüber hinaus von den Reaktionsbedingungen, d. h. von der Sauerstoffzufuhr in der Gülle abhängig. Man kann zwischen aeroben und anaeroben Prozessen unterscheiden (Abbildung 1.2).

Abbildung 1.2 Biologische Prozesse im Güllebehälter (RÜPRICH, 1980)



In den überwiegend anaeroben Bereichen von Flüssigmist werden in erster Linie Methan und Kohlendioxid (Methanisierung) bzw. Ammoniak (Ammonifikation von Harnstoff) gebildet. Eine Denitrifikation, d. h. Lachgasbildung erfolgt in diesen Bereich normalerweise nicht, da Gülle weder Nitrit noch Nitrat enthält.

Beim aeroben Abbau organischer Substanzen überwiegt deren Umsetzung zu Ammoniak, Kohlendioxid und Wasser. In aeroben und semiaeroben Bereichen von Schwimmdecken können Nitrifikations- und nach Bildung oxidierten Stickstoffverbindungen auch Denitrifikationsprozesse auftreten. Beide Prozesse führen zu Lachgasemissionen.

Nach HÜTHER (1998) treten Lachgasemissionen vor allem bei der Lagerung von Rindergülle, die hervorragend natürliche Schwimmschichten bildet, auf.

Eine Abdeckung von Flüssigmist, auch durch natürliche Schwimmschichten, führt in jedem Fall zur Reduzierung der Geruchs-, Ammoniak-, Kohlendioxid- und Methanemissionen.

Um die Emissionen bei der Lagerung von Gülle zu reduzieren, sind in Sachsen alle Schweinegüllebehälter abzudecken, wenn am Standort mehr als 2.500 m³ Gülle gelagert werden. Eine Abdeckung des Endlagers würde den investiven Aufwand jedoch sehr stark erhöhen. In *Tabelle 1.3* sind die Kosten für einige Abdeckungen zusammengestellt.

Tabelle 1.3 Kosten verschiedener Güllebehälterabdeckungen

Abdeckung	Geschätzte Nutzungsdauer Jahre	Kosten DM / m ² Oberfläche	
		Investitionen	pro Jahr
Strohhäcksel	0,5	0,5	1
Granulatschüttung			
Schwimmfolie	10	30 - 80	3 - 8
Zeltdach	12 - 15	60 - 110	4 - 9

1.2 Material und Methoden

1.2.1 Emissionsmessungen

Die Bestimmung des Emissionsmassenstroms (m) setzt Kenntnisse zu den freigesetzten Konzentrationen an Gasen (c) und deren Volumenströme (V) voraus.

Die Ermittlung der Volumenströme aus diffusen Flächenquellen ist äußerst kompliziert. Es können verschiedene Methoden angewandt werden, u. a.:

- Windtunnelmessungen,
- Kammer- oder Glockenmessungen.

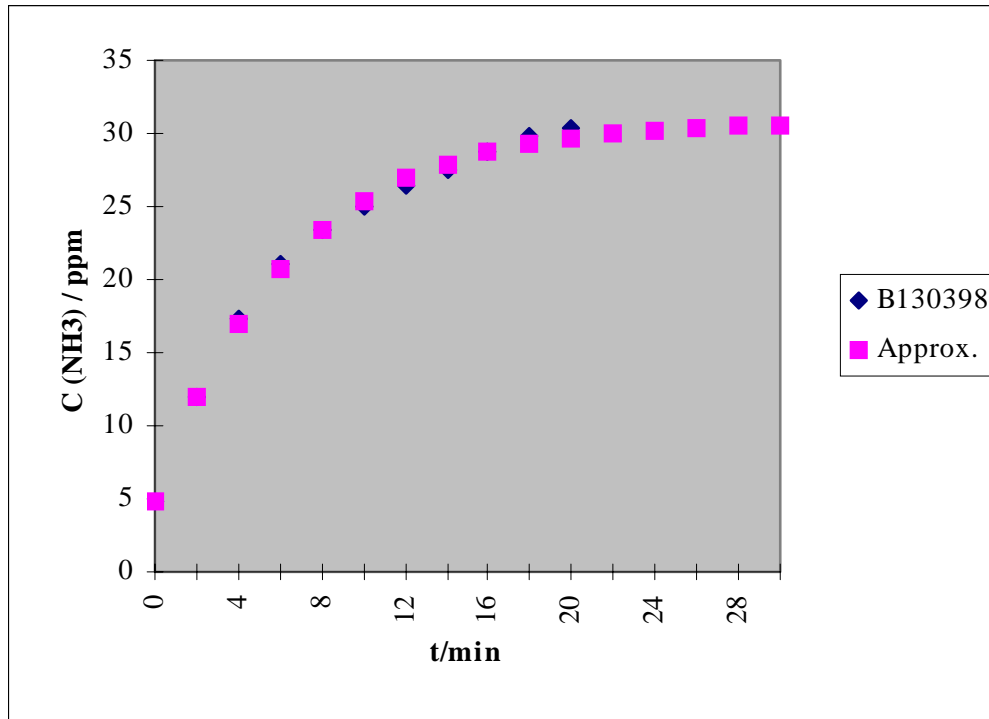
Bei Windtunnelmessungen wird ein kontinuierlicher Luftvolumenstrom erzeugt, der über die emittierende Fläche geleitet wird. Der Emissionsmassenstrom errechnet sich aus Gleichung 1.

$$m = c * V$$

Gleichung 1

Bei Kammermessungen kommt es in den ersten Minuten nach dem Aufsetzen der Glocke auf die Gülleoberfläche zu einem annähernd linearen Anstieg a der Konzentrationen (*Abbildung 1.3*).

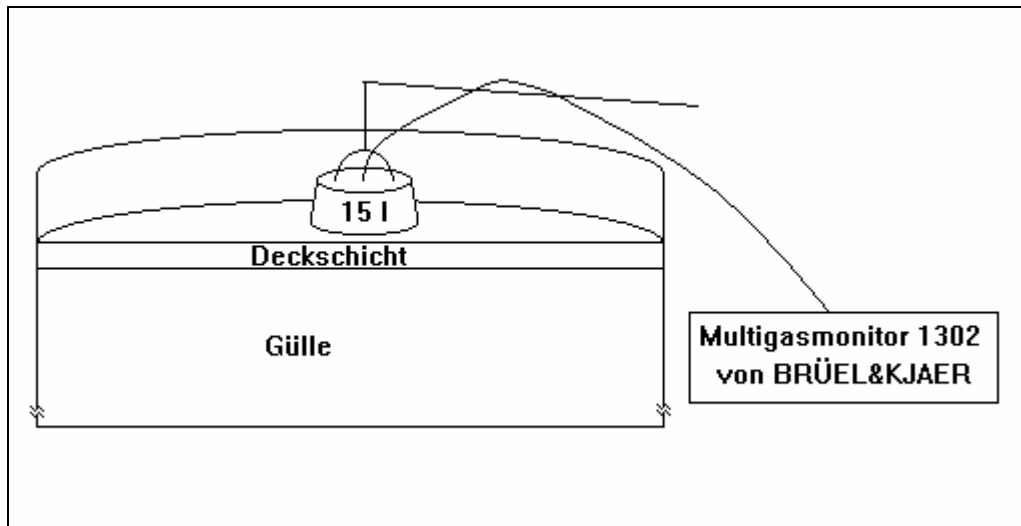
Abbildung 1.3 Verlauf der Konzentrationen bei der Kammermethode



Nach WALTER (1994) ist der Emissionsmassenstrom proportional dem Anstieg a der Konzentration zu Beginn der Meßphase. Die rechnerische Bestimmung des Anstieges aus den Meßdaten wurde einheitlich nach dem Verfahren der „Nichtlinearen Optimierung“ vorgenommen. Im weiteren Meßverlauf stellt sich eine konstante Konzentration - die Sättigungskonzentration - ein. Anstieg und Sättigungskonzentration korrelieren eng.

Sowohl der Windtunnel als auch die Glocke wurden wechselweise auf unvergorene und vergorene Gülle aufgesetzt. Im 2-Minuten-Intervall wurden die Konzentrationen an Ammoniak, Methan, Lachgas und Kohlendioxid mit Hilfe des Mehrkomponentenmeßgerätes „Multigasmonitor 1302“ der Firma Brühl & Kjaer erfaßt. *Abbildung 1.4* zeigt den Versuchsaufbau nach der Glocken- bzw. Kammermethode.

Abbildung 1.4 Meß- und Probenahmeverrichtung nach der Kammermethode



Für die Geruchsstoffmessungen wurden je Meßpunkt 2 Luftproben in geruchsneutrale Beutel gezogen und innerhalb von 24 h am Institut für Verfahrenstechnik der Landwirtschaftlichen Fakultät an der Universität Halle-Wittenberg am Olfaktometer analysiert. Die Olfaktometrie erlaubt eine Bestimmung der Geruchsintensität. Der geruchsbelasteten Luft wird geruchsneutrale Luft zugemischt. Die Mischungsverhältnisse werden so gewählt, daß mit starker Verdünnung begonnen wird und die Geruchsstoffkonzentration von Probe zu Probe steigt. Das Luftgemisch wird einem Probandenkollektiv von 4 Personen über Atemmasken dargeboten. Der einzelne Proband entscheidet, ob ein Geruch wahrnehmbar ist. Der Geruchsschwellenwert einer Probe wird über das geometrische Mittel aller individuell gefunden Geruchsschwellen ermittelt. Als relatives Maß der Geruchsintensität wird die Geruchseinheit (GE) angegeben. Sie ist als Kehrwert des Verdünnungsverhältnisses an der Geruchsschwelle definiert (Gleichung 2).

$$GE = \frac{V_P + V_R}{V_P}$$

Gleichung 2

V_P = Volumenstrom der Probenluft
 V_R = Volumenstrom der geruchsneutralen Luft

Für die Berechnung des Umwelteffektes vergorener Gülle wurden die Sättigungskonzentrationen C_s bzw. die Geruchsstoffkonzentration der verschiedenen Meßpunkte, die an einem Tag gewonnen wurden, nach folgenden Gleichungen ins Verhältnis gesetzt:

$$\text{Minderungsrate} = (a_{UV} - a_V) / a_{UV} * 100$$

Gleichung 3

$$\text{Steigerungsrate} = (a_V - a_{UV}) / a_V * 100$$

Gleichung 4

a_V = Sättigungskonzentration in ppm an der Oberfläche vergorener Gülle

a_{UV} = Sättigungskonzentration in ppm an der Oberfläche unvergorener Gülle

1.2.2 Betriebsdaten

Die Untersuchungen wurden in zwei Betrieben Sachsens und in einem Betrieb Brandenburgs vorgenommen. Sowohl in der Größe der Biogasanlagen als auch in der Art und Menge des zu fermentierenden Substrats gab es beträchtliche Unterschiede zwischen den Betrieben (*Tabellen 1.4 und 2.5*). Die genauen Anlagenbeschreibungen wurden mehrfach veröffentlicht (Studie zur Biogasproduktion, Biogaserzeugung und Verwertung), deshalb wird in diesem Bericht auf deren Darstellung verzichtet. Da aus finanziellen Gründen nur in einem Betrieb Geruchsstoffmessungen durchgeführt werden konnten, wurde die Anlage im Betrieb A gewählt, bei welcher die abgedeckten Vorsammelbehälter am besten für die Messungen zugänglich waren.

Tabelle 1.4 Charakterisierung der eingesetzten Substrate, Lagerbedingungen und Messungen in den untersuchten Anlagen

<i>Anlage</i>	Endlager	durchgeführte Messungen
Betrieb A	4 Hochbehälter	Spurengasmessungen Geruchsstoffmessungen Erfassung der Gülleinhaltsstoffe
Betrieb B	1 Erdbecken	Spurengasmessungen
Betrieb C	1 Erdbecken	Spurengasmessungen

Biogasanlage Betrieb A

Im Betrieb A werden die gesamten zu fermentierenden Reststoffe aus „Fremdbetrieben“ zur Verfügung gestellt. Es werden Rinder- und Schweinegülle sowie organische Reststoffe verwertet (*siehe Tabelle 2.5*). Bei deren Annahme wird die Abluft über einen Biofilter abgeleitet, um die Emissionen an Geruchsstoffen und anderen umweltrelevanten Verbindungen zu reduzieren. Die Endlagerung der vergorenen Masse wird in 4 Hochbehältern vorgenommen (*Abbildung 1.5*).

Abbildung 1.5 Vier Hochbehälter zur Lagerung des vergorenen Substrates



Biogasanlage Betrieb B

Die Biogasanlage des Betriebes B wurde vom Betreiber selbst errichtet, um den Eigenbedarf an Wärmeenergie zu decken. Als Endlager für das vergorene Gut dient ein Erdbecken von etwa 12 m Durchmesser (*Abbildung 1.6*).

Abbildung 1.6 Erdbecken zur Lagerung des vergorenen Substrates



Biogasanlage Betrieb C

Die vergorenen Substanzen werden bis zur Ausbringung als Wirtschaftsdünger in einem Erdbecken gelagert (*Abbildung 1.7*).

Abbildung 1.7 Erdbecken zur Lagerung des vergorenen Substrates



1.3 Auswertung und Diskussion

1.3.1 Bildung natürlicher Schwimmschichten

Obwohl organische Feststoffe bei der Fermentation abgebaut werden und damit eine verminderte Schwimmschichtbildung zu erwarten gewesen wäre (KUHNS, 1993), bildeten sich auf den Endlagern sehr schnell Schwimmschichten von z. T. mehr als 10 cm Stärke aus.

Die Schwimmschichtbildung ist nach HÖRNIG (1999) von der Gülleart und den Inhaltsstoffen abhängig. Rindergülle ist beispielsweise bei einem Trockensubstanz (TS)-Gehalt von 6-8 % relativ homogen, Schweinegülle hingegen bei einem TS-Gehalt von 8-10 %. Mit Absenkung des TS-Gehaltes kommt es zur Schichtenbildung. Vergorene Gülle weist im Vergleich zu unvergorener Gülle einen höheren Anteil an feinen Bestandteilen auf. REIMANN (1991) stellt für vergorene Schweinegülle eine leichte Verringerung der Sedimentationsgeschwindigkeit infolge eines höheren Feinkornanteils fest. Dadurch könnte bei sinkendem TS-Gehalt, infolge des Abbaus der organischen Substanzen, die Schwimmschichtbildung gefördert werden (HÖRNIG, 1999). Im Betrieb A wurde ein Rückgang des TS-Gehaltes von 9 auf 6 % ermittelt (*siehe Tabelle 2.6*).

Auch die Zufuhr ligninreicher Substanzen (z. B. Stroh, Maisstengel), die während des Gärprozesses nicht abgebaut werden und bei der Endlagerung aufschwimmen, unterstützt die Ausbildung natürlicher Schwimmschichten.

1.3.2 Emissionen

Der vergorenen Masse wurde lediglich Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff entzogen. Bei der Lagerung der organischen, niedermolekularen Verbindungen (Peptide, Aminosäuren, Ammoniak, Einfachzucker) können daher bei weiteren Umsetzungsprozessen Emissionen entstehen.

1.3.2.1 NH_3 -, N_2O -, CO_2 - und CH_4 -Emissionen bei der Lagerung vergorener Gülle ohne Schwimmschicht

Die Zunahmen des pH-Wertes und des Ammoniumgehaltes in der Gülle führten in den Betrieben unweigerlich zu steigenden Ammoniakemissionen in Höhe von 21,1 bis 64,1 % (Tabelle 1.5).

Tabelle 1.5 Relative Minderung / Erhöhung der Spurengasemissionen vergorener Gülle in Bezug auf unvergorene Gülle ohne Schwimmschicht

Betrieb	Anzahl Messungen	Relative Erhöhung (+) bzw. Reduzierung (-) der Spurengasfreisetzung (%)			
		Ammoniak	Kohlendioxid	Lachgas	Methan
Betrieb A	5	+ 64,11	- 49,28	- 54,92	+ 86,81
Betrieb B	6	+ 58,11	- 18,87	- 36,12	+ 24,60
Betrieb C	5	+ 21,13	- 77,67	- 71,55	- 67,20

LfL, Dr. Wanka

Die Abnahme der organischen Substanz sowie der Entzug von Methan und Kohlendioxid im Biogasgemisch soll eine Reduzierung der Lachgas-, Methan- und Kohlendioxidemissionen bei der Lagerung bewirken (KUHN, 1993). Die Kohlendioxidemissionen wurden mit Minderungseffekten in Höhe von 18,9 bis 77,7 % ausnahmslos in allen untersuchten Betrieben reduziert.

Lachgas entsteht bei der Denitrifikation von Nitrit und Nitrat sowie durch Oxidation von Schwefelwasserstoff unter anaeroben Bedingungen. Eine Denitrifikation findet unter Abwesenheit von Sauerstoff statt, wenn leicht abbaubare organische Verbindungen und Nitrit bzw. Nitrat vorliegen. Da die leicht abbaubaren organischen Verbindungen bereits bei der Vergärung durch methanogene Bakterien verbraucht werden, ist von verminderten Lachgasemissionen auszugehen. In den Praxisuntersuchungen wurden Minderungseffekte in Höhe von 36,1 bis 71,6 % ermittelt.

Entsprechend dänischen Untersuchungen (Kuhn, 1993) wird bei der Lagerung vergorener Gülle die Methanfreisetzung vermindert. Im Betrieb A und B waren jedoch eine erhöhte Freisetzung von Methan zu beobachten. Der Effekt ist sehr stark von den Meßbedingungen und von der Bewirtschaftung der Lagerstätten abhängig. Da die Messungen in den zwei Betrieben infolge der Zugänglichkeit der Behälter (Arbeitsplattform am Hochbehälter, Einzäunung im Betrieb B) unmittelbar an der Gülleeinlaßstelle vorgenommen wurden, ist zu vermuten, daß diese erhöhten Emissionen von 86,8 bzw. 24,6 % auf die kontinuierliche Zufuhr der frisch vergorenen Gülle zurückzuführen sind. Im Betrieb B wurden die Messungen nicht am Gülleeinlaß durchgeführt. Die

Emissionen waren um 67,2 % reduziert. KUHN (1993) schließt erhöhte Methanemissionen durch Nachgärungen nicht aus.

1.3.2.2 NH_3 -, N_2O -, CO_2 - und CH_4 -Emissionen bei der Lagerung von Gülle mit Schwimmschicht

Die Freisetzung von Emissionen bei der Güllelagerung wird im starken Maße von der Ausbildung von Schwimmschichten auf der Oberfläche beeinflusst. Dem Aspekt der Schwimmschichtbildung wurde daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt. In Abhängigkeit von der Schwimmschichtstärke wurden die in *Tabelle 1.6* genannten Ergebnisse ermittelt. Als Vergleichsmaßstab wurde unvergorene Gülle ohne Schwimmschicht herangezogen.

Tabelle 1.6 Relative Minderung / Erhöhung der Spurengasemissionen vergorener Gülle mit ausgebildeter natürlicher Schwimmschicht in Bezug auf unvergorene Gülle ohne Schwimmschicht

Betrieb	Anzahl Messungen	Schwimm-schicht Stärke	Relative Erhöhung (+) bzw. Reduzierung (-) der Spurengasfreisetzung (%)			
			Ammoniak	Kohlendioxid	Lachgas	Methan
Betrieb A	4	2-5	- 25,31	- 44,96	- 54,62	+ 65,77
Betrieb A	2	5-10	- 84,71	- 85,67	- 82,60	+ 26,20
Betrieb B	6	2-5	- 75,92	- 55,78	- 24,06	- 23,19
Betrieb B	3	5-10	- 93,33	- 66,47	- 18,90	- 76,21
Betrieb C.	3	2-5	- 35,57	- 76,89	- 85,59	- 52,37
Betrieb C.	5	5-10	- 79,78	- 73,79	- 71,45	- 63,73

LfL, Dr. Wanka

Schon geringe Schwimmschichten von 2 bis 5 cm Stärke mindern die in Tabelle 1.5 genannte Freisetzung von Ammoniak. Die Emissionen werden im Vergleich zur „Rohgülle“ bereits um 25,3 bis 75,9 % reduziert. Mit Zunahme der Schwimmschichtstärke auf 5 bis 10 cm kommt es zu einem deutlichen Rückgang der Ammoniakemissionen um 79,8 bis 93,3 %. In dieser Größenordnung beschreiben zahlreichen Autoren den Rückgang der Ammoniakemissionen infolge Schwimmschichtbildung bei unvergorener Gülle.

Mit Zunahme der Schwimmschichtstärke wurde die Kohlendioxidfreisetzung tendenziell weiter reduziert. Bei einer Stärke von 5-10 cm wurde eine Minderung von 66,5 bis 85,7 % im Vergleich zu unvergorener Gülle ohne Schwimmschicht ermittelt. Die Entstehung von Kohlendioxid während der Güllelagerung ist hauptsächlich auf die oxidative Desaminierung unter aeroben Bedingungen, zum geringeren Teil auf die Reduktion von Nitrit und Nitrat als Teilreaktion der Denitrifikation auf der Basis fakultativ anaerober Mikroorganismen (BAADER et al, 1977) zurückzuführen. Wird der Gülle im Endlager nicht zusätzlich Sauerstoff zugeführt, kann eine oxidative Desaminierung ausgeschlossen werden.

Aus Güllebehältern mit geringer Schwimmschicht bis 5 cm reduzieren sich die Lachgasemissionen um 24,1 bis 85,6 %. Die verstärkte Ausbildung einer Schwimmschicht hebt diese Wirkung z. T. wieder auf. Der Minderungseffekt liegt bei Schwimmschichten zwischen 5 und 10 cm „nur“ noch bei 18,9 bis 82,6 %. Durch die Ausbildung einer Schwimmschicht werden Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse gefördert, die Folge ist eine erhöhte Freisetzung von Lachgas.

Nach vorliegenden Ergebnissen bewirkt die Schwimmschichtbildung eine Reduzierung der Methanfreisetzung. Im Betrieb A lag die Erhöhung der Emissionen bei 5-10 cm starker Schwimmschicht lediglich noch bei 26,5 % im Vergleich zu unvergorener Gülle ohne Schwimmschicht. In den beiden anderen Betrieben wurden die Emissionen um 76,2 bzw. 63,7 % vermindert.

1.3.2.3 Geruchsstoff-Emissionen bei der Lagerung von Gülle

Für die Beurteilung der Geruchsreduzierung während der Lagerung wurden im Betrieb A Windkanalmessungen über frischer und ausgefaulter Gülle vorgenommen. Auch die Freisetzung von Geruchsstoffen wird in starkem Maße durch die Stärke der Schwimmschichten bestimmt (Tabelle 1.7).

Tabelle 1.7 Minderung der Geruchsstoffemissionen

Stärke der Schwimmschicht cm	Anzahl Messungen	Relative Reduzierung der Geruchsemissionen (%)
0	4	30,6
3-5	4	52,0
>10	2	76,6

LfL, Dr. Wanka

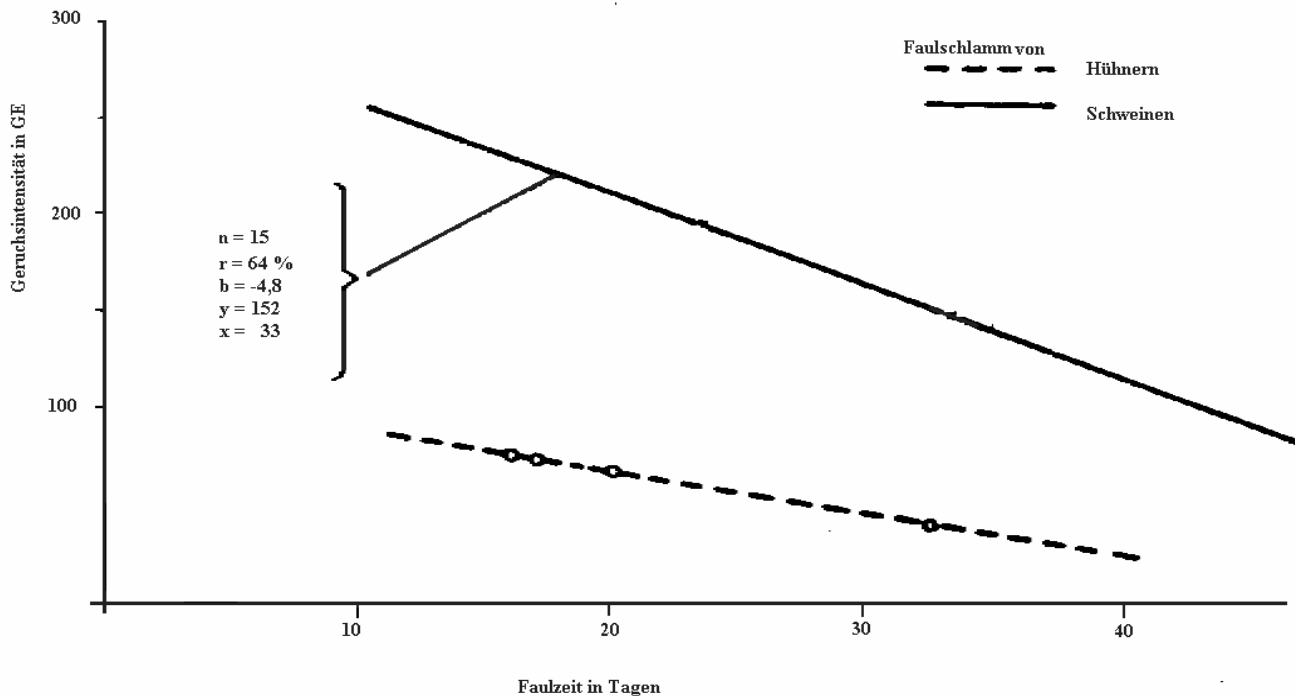
Der direkte Vergleich unvergorener und vergorener Gülle ohne Schwimmschicht im Betrieb A zeigt, daß bei der Fermentation ein **Abbau geruchsintensiver Verbindungen** stattgefunden hat. Die Emissionen wurden um 30,6 % vermindert. Für die Ermittlung des Geruchsschwellenwertes vergorener Gülle spielten jedoch weniger die Güllekomponenten, als vielmehr die organischen Reststoffe aus dem Kommunalbereich eine Rolle. Zahnpasta- oder Badezusätze waren nach der Fermentation geruchsintensiver als Güllekomponenten. Sie wurden bei den olfaktometrischen Untersuchungen als erstes wahrgenommen, so daß der Minderungseffekt sehr stark von der Zusammensetzung der zu fermentierenden Substanzen abhängig ist.

Schwimmschichten verstärken den Minderungseffekt. Eine Schwimmschicht von mehr als 10 cm hat eine Reduzierung der Emissionen um 76,6 % zur Folge. Entsprechende Ergebnisse zur Geruchsfreisetzung aus vergorener Gülle werden von KUHN (1993) wie folgt zusammengefaßt:

- Abnahme der Geruchsstärke um 40 - 60 %,
- positive Veränderung der Geruchsqualität (Art des Geruchs).

Der genannte Autor erläutert jedoch die Zusammensetzung der zu fermentierenden Gülle sowie die Meßbedingungen nicht, so daß eine Bewertung der unterschiedlichen Ergebnisse nicht möglich ist. ISENSEE (1984) ermittelte unter Laborbedingungen eine Reduzierung der Geruchsfreisetzung durch anaerobe Vergärung bei der Lagerung von Schweinegülle bzw. Hühnergülle in Höhe von 38 % bzw. 45 %. *Abbildung 1.8* verdeutlicht, daß die Geruchsreduzierung sehr stark von der Faulzeit abhängig ist. Die Geruchsstärke und der typische Güllegeruch nimmt mit zunehmender Verweilzeit im Fermenter ab (ISENSEE, 1984).

Abbildung 1.8 **Einfluß der Verweilzeit auf die Geruchsintensität von Faulschlamm (ISENSEE, 1984)**



WENZLAFF (1981) geht von einer Abnahme des Geruchs bei Schweinegülle von 50 % aus. Ein optimaler Abbau der organischen Substanzen verbunden mit einem weitgehenden Geruchsabbau findet im mesophilen Temperaturbereich bei 20 (Schweinedung) bis 30 (Rinderdung) Tagen Faulzeit statt (RÜCKERT, 1991). Eine Verkürzung der Faulzeit auf z.B. 10-20 Tage zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit vermindert den Abbau von Geruchsstoffen (GODEHARDT, 1989).

BARDTKE (1985) führte vergleichende Untersuchungen mit der Zielstellung durch, den geruchsreduzierenden Effekt fermentierter Gülle bei der Ausbringung zu ermitteln. Vor Ausbringung der Güllen wurden mittels Waschflaschenmethode die Geruchsintensitäten unvergorener und fermentierter Gülle bestimmt. Die Biogasgülle wies eine um den Faktor 3 geringere Geruchsintensität auf.

Auch nach 120 Tagen Lagerung der vergorenen Gülle ist nach WENZLAFF (1981) keine Erhöhung der Geruchsemissionen zu erwarten. Die Konzentration der Geruchsstoffe soll auch während der Lagerung weiter abnehmen (VAN VELSEN, 1981).

1.4 Ergebnisse

Um **Emissionen bei der Lagerung von Gülle** zu reduzieren, sind in Sachsen alle Schweinegüllebehälter abzudecken, wenn am Standort mehr als 2.500 m³ Gülle gelagert werden. Bei der anaeroben Vergärung kommt es jedoch zu Veränderungen der Gülleeigenschaften, die sich auf das Emissionsverhalten der vergorenen Gülle während der Lagerung auswirken. Methan- und Geruchsemissionen werden beispielsweise reduziert, Ammoniakemissionen jedoch erhöht. Klare Festlegungen, ob vergorene Gülle abzudecken ist, gibt es bisher nicht. Daher wurden in drei Biogasanlagen von November 1997 bis November 1998 vergleichende Messungen zum Emissionsverhalten vergorener und unvergorener Gülle durchgeführt.

Es wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

- Die Freisetzung von Emissionen wird sehr stark von der Ausbildung natürlicher Schwimmschichten und der Zusammensetzung des zu fermentierenden Substrats beeinflusst.
- Von Oberflächen vergorener Gülle **ohne Schwimmschichtbildung wurden 30,6 % geringere Geruchsmassenströme** emittiert, die **Ammoniakemissionen** wurden hingegen **um maximal 64,1 % erhöht**.
- Zu berücksichtigen bleibt, daß die Messungen über Mischgüllen durchgeführt wurden. Die Unterschiede zwischen den Betrieben betragen beispielsweise bei der Ammoniakfreisetzung etwa 67 %, bei der Methanfreisetzung mehr als 100 %.
- In allen drei Anlagen kam es sehr **schnell nach Befüllung** der Lagerbehälter zur **Ausbildung natürlicher Schwimmschichten** von bis zu 10 cm.
- Bei **Schwimmschichtstärken von 5-10 cm** wurden für **Ammoniak Emissionsminderungen zwischen 79,8 und 93,3 %** nachgewiesen. Auch die **Geruchsemissionen** konnten wirksam **um 76,6 %** reduziert werden.

Alle Maßnahmen, die zu einer verstärkten Schwimmschichtbildung führen, bewirken eine deutliche Reduzierung der Emissionen und sind zu fördern. Unter der Voraussetzung, daß natürliche Schwimmschichten gebildet werden, ist eine zusätzliche Abdeckung der Güllelager nicht erforderlich.

2 Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und Infektionserregern in Biogasgülle bei Kofermentation mit organischen Reststoffen im Vergleich zu unbehandelter Gülle

2.1 Grundlagen und Probleme der Kofermentation

In der gesamten Volkswirtschaft fallen derzeit in steigendem Maße organische Reststoffe an, die über die herkömmlichen Wege wie Kompostierung, Deponierung oder Einsatz in der Tierfütterung immer schwieriger zu verwerten sind. Gründe dafür sind einerseits der immer knapper werdende Deponieraum und andererseits schärfere Umweltauflagen und Gesetze.

Im Zusammenhang mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz gewinnt die gemeinsame Vergärung von Gülle mit landwirtschaftlichen, gewerblichen und kommunalen organischen Abfällen immer mehr an Bedeutung. Einerseits soll die stoffliche, andererseits die energetische Verwertung gleichermaßen durchgeführt werden. Dieses Verfahren nennt man Kofermentation. Das Ziel der Kofermentation ist es, eine **verantwortbare Rückführung** der organischen Abfälle und der darin enthaltenen Nährstoffe in den landwirtschaftlichen Stoffkreislauf zu erreichen und gleichzeitig das verfügbare Energiepotential in den Abfällen zu nutzen.

Dabei ist zu bedenken, daß in den Kofermentaten bestimmte Stör- und Schadstoffe sowie mikrobielle Keime enthalten sein können.

Über die Kofermentation herrscht behördlicherseits wie auch bei den Biogasanlagenbetreibern in der Landwirtschaft große Unsicherheit. Daher ist es zweckmäßig, vor dem Vergären von biologischem Abfall Schad- und Nährstoffanalysen anzufordern. Die meisten Kofermentate müssen einer Vorbehandlung unterzogen werden (*siehe Tabelle 2.1*).

Tabelle 2.1 Zuordnung von Abfallstoffen und erforderlicher Vorbehandlung

Abfallstoff	erforderliche Vorbehandlung
Ernterückstände Lagerungsreste und Verarbeitungsabfälle nichttierischen Ursprungs Abfallfette aus Fettschmelze Abfälle aus der Pflanzenölgewinnung	keine Hygienisierung, keine Sortierung erforderlich
Grünabfälle von Freiflächen Handelsabfälle (Obst und Gemüse)	keine Hygienisierung, aber ggf. Sortierung erforderlich
Abfälle aus Schlachtung und Zerlegung (nicht erlaubt: Konfiskate!) Flotatfette, Fettabscheiderinhalte Kollagene und Abfälle aus Wursterieen	Hygienisierungspflicht ²⁾ , i.d.R. keine Sortierung erforderlich
Magen- und Darmpakete Speiseabfälle mit mehr als 10 kg Fleischanteil/Tag	Hygienisierungspflicht ²⁾ Sortierung erforderlich
Biotonne ¹⁾	Hygienisierungspflicht ²⁾ Sortierung erforderlich
¹⁾ Sammelbegriff. Inhalt von der zuständigen Körperschaft vorgegeben ²⁾ in manchen Bundesländern	

Quelle: Schulz H., Biogaspraxis

Kofermentate führen zu Veränderungen in der Zusammensetzung des Gärsubstrates in Bezug auf Trockensubstanz, Nährstoff- und Schadstoffgehalt. Bei der späteren Ausbringung als Dünger ist

dies zu beachten. Auch das Biogas verändert sich durch die Zugabe von Kofermentaten, meist entsteht mehr Gas mit einem höheren Methangehalt.

mögliche Kofermentate

Speiseabfälle sind nach der Zerkleinerung hervorragend vergärbar und weisen niedrige Schadstoffgehalte auf. Sie müssen allerdings nach Fremdstoffen vorsortiert und hygienisiert werden. Es sollte eine konsequente Trennung in ihrer Lagerung zum Stallbereich und zur Verarbeitung erfolgen.

Agroindustrielle Rohstoffe, z.B. Ernterückstände, Schlempen, Trester, Abfälle aus der gemüseverarbeitenden Industrie sind allgemein gut vergärbar und müssen nicht vorsortiert und hygienisiert werden.

Rasenschnitt von Grünanlagen und Sportplätzen (kommunaler Abfall) hat niedrige Schadstoffgehalte und eignet sich gut als Kofermentat. Nachteilig wirkt sich der saisonale Anfall aus.

Bioabfall ist ebenfalls ein hervorragend zu vergärendes Gut. Der Bioabfall darf allerdings keine großen Mengen an Strauchschnitt und anderen holzigen Materialien enthalten. Soll Bioabfall vergoren werden, ist von der zuständigen Kommune eine hinreichende Aufklärungsarbeit unter der Bevölkerung zu leisten, damit keine Störstoffe in die Biotonne gelangen.

Schlachtabfälle stellen auf Grund seuchenhygienischer Bedenken und der Geruchsproblematik hohe Anforderungen an die Hygienisierung im Annahmehbereich und unterliegen dem Tierkörperbeseitigungsgesetz. Sie sind allerdings sehr gut vergärbar.

Der Nachweis der Einhaltung derzeitiger Grenzwerte für Schwermetallgehalte der Bioabfall- und Klärschlammverordnung (BioAbfV, AbfklärV) stellen einen erheblichen Konflikt für eine landwirtschaftliche Nutzung von Komposten und Biogasgülle – insbesondere aus der anaeroben Kofermentation – dar.

Tabelle 2.2 Grenzwerte für Schwermetallgehalte laut BioAbfV und AbfklärV

Parameter	BioAbfV		AbfklärV	
	Ausbringung < 20 t TS/ha*3a [mg/kg TM]	Ausbringung 20 - 30 t TS/ha*3a [mg/kg TM]	AbfklärV- Schlamm	AbfklärV- Boden
Blei	150	100	900	100
Cadmium	1,5	1	10/5*	1,5/1*
Chrom	100	70	900	100
Kupfer	100	70	800	60
Nickel	50	35	200	50
Quecksilber	1	0,7	8	1
Zink	400	300	2500/2000*	200/150*

*Bei Böden mit Tongehalt unter 5 % oder pH-Werten von mehr als 5 und weniger als 6

Quelle: BioAbfV und AbfklärV

Hauptproblem bei der Kofermentation ist das Endprodukt. In jedem Falle muß verhindert werden, daß durch die Kofermentation unerwünschte Stoffe wie Schwermetalle, organische

Schadverbindungen oder Keime in und auf den Boden gelangen. Deshalb ist auf eine ausreichende Hygienisierung, auf einen hohen Abbaugrad der organischen Substanz und auf eine ständige Kontrolle des Ausgangs- und Endprodukts zu achten.

2.2 Seuchenhygienische Probleme und erhöhte Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger

Unbehandelte Gülle gilt als seuchenhygienisch bedenklich. Dies ist ganz besonders in Wasserschutzgebieten zu beachten. Allerdings ist nur ein sehr geringer Teil der Mikroorganismen in der Gülle tatsächlich infektiös. Als besonders problematisch gilt die Belastung mit Coli-Bakterien und Salmonellen.

Allgemein gelten organische Wirtschaftsdünger als seuchenhygienisch unbedenklich, wenn keine Salmonellen und maximal 10^3 coliforme Keime pro ml Substrat gefunden werden. Nach STRAUCH (1990) besteht aus seuchenhygienischer Sicht bei richtiger Anwendung der tierseuchenrechtlichen Vorschriften und bei Ausnutzung der allgemein anerkannten Regeln der Technik kein Umweltproblem bei der Verwertung von tierischen Exkrementen. Die anaerobe Vergärung kann aber zur Reduzierung von Krankheitskeimen beitragen.

In unbehandelter Gülle sächsischer Betriebe wurden ebenfalls erhöhte Schwermetallgehalte, insbesondere bei Kupfer und Zink, festgestellt. Als Ursachen dafür können z.B. Futtermittelzusätze, Klauenpflegebäder und Wasser- und Milchleitungen aus den entsprechenden Metallen in Frage kommen. Es ist deshalb erwiesen, daß erhöhte Schwermetallgehalte in vergorener Gülle nicht ausschließlich auf die Zugabe von Kofermentaten zurückzuführen sind.

2.3 Hygienisierung der Gärsubstrate

Grund für eine Hygienisierung ist die Möglichkeit der Übertragung von Seuchen und Krankheiten. Durch Gülleverwertung auf anderen Betrieben und durch das Vermischen unterschiedlicher Substrate wird die Gefahr einer Übertragung erhöht. Dabei sind vor allem pathogene Mikroorganismen und Krankheitserreger in organischen Reststoffen und Tierexkrementen von Bedeutung. Die bedeutendsten Bakterien, Viren und Parasiten sind in der *Tabelle 2.3* aufgeführt.

Tabelle 2.3 Infektionserreger in Flüssigmist und organischen Abfällen

Bakterien	Viren	Parasiten
Salmonellen (RG, SG, HK)	Erreger der Maul- und Klauenseuche	Spulwürmer
Escherichia coli (RG)	Schweinepest	Palisadenwürmer
Tuberkelbakterien	Bläschenkrankheit der Schweine	Saugwürmer
Milzbrandbakterien(RG)	Schweineinfluenza	Leberegel
Brucellen(RG, SG)	Oldenburger Schweineseuche	Lungenwürmer
Leptospiren (RG, SG)	Rota-Virus-Infektionen	Magenwürmer
Mykobakterien(RG SG HK)	Teschener Erkrankung	
Rotlaufbakterien (SG)	Aujzsky'sche Krankheit	
Clostridien (HK)	Atypische Geflügelpest	
Streptokokken	Blauzungenerkrankung	
Enterobacter	Retro-, Parvo-, Echo-, Enteroviren	

RG – Rindergülle, SG – Schweinegülle, HK - Hühnerkot

Quelle:Schulz H., Biogaspraxis

Eine fachgerechte Betreuung einer Anlage kann das Hygienierisiko auf ein vertretbares Maß reduzieren, denn der Hygienisierungsgrad des Vergärungsprozesses ist stark von der Temperatur, der Verweilzeit der Substrate, dem pH-Wert und Ammoniakgehalt, der Art der Gülle, dem Trockensubstanzgehalt und dem technischen Verfahren abhängig.

Je höher die Behandlungs- bzw. die **Betriebstemperatur** ist und die **Verweilzeit** der Schadorganismen im für sie ungünstigen Milieu andauert, desto höher ist die Inaktivierungswirkung der Mikroorganismen. Bei mesophiler Vergärung mit einer Aufenthaltszeit von mehr als 15 Tagen werden rund 95% aller pathogenen Bakterien zerstört. Viren werden noch schneller reduziert. Deutlich resistenter sind dagegen die Eier von Parasiten. Die Abtötungswirkung von Unkrautsamen in mesophilen Anlagen ist zwar gegeben, sollte aber nicht überschätzt werden. Im mesophilen Bereich ist demzufolge keine vollständige Hygienisierung vorhanden. Bei hohen hygienischen Anforderungen wie der Kofermentation von Gülle mit Bioabfall oder Speiseresten ist deshalb eine thermophile Prozeßführung bzw. die Vorschaltung einer separaten Hygienisierungsstufe im thermophilen Bereich (ca.70°C) vorzuziehen.

Die derzeit geltenden Anforderungen an die Hygienisierung von Bioabfällen und Speiseresten in Biogasanlagen umfassen folgende technisch zu realisierende Kriterien:

Tabelle 2.4 Anforderungen an die Hygienisierung von Bioabfällen und Speiseresten in Biogasanlagen

	Temperatur °C	Verweilzeit min	Druck bar
Bioabfall	70	60	k.A.
Speisereste zur Erzeugung von Düngemitteln	70	60	k.A.
Speisereste zur Erzeugung von Futtermitteln	133	20	3

Quelle:Kretschmer, A.; Fachverband Biogas e.V.

Die Versäuerung und die nachfolgende Alkalisierung besitzen eine toxische Wirkung auf die unerwünschten Mikroorganismen, die dadurch inaktiviert werden. In voll durchmischten Anlagen bleibt der **pH-Wert** im neutralen bis schwach alkalischen Bereich. Je höher der **Ammoniakgehalt** in der Gülle ist, desto besser ist die Hemmung dieser Mikroorganismen. Da der Ammoniakgehalt in der vergorenen Gülle höher ist als in der unvergorenen Gülle, sind in der Biogasgülle weniger Mikroorganismen enthalten.

Bedingt durch größere Bestandsdichten und den höheren Zukauf von Futtermitteln, sind in der Schweinegülle in der Regel mehr Infektionserreger. Salmonellen dagegen überleben am längsten in der Rindergülle. Eier von Platt-, Rund- und Bandwürmern sowie Hefearten werden bei allen technischen Verfahren schlecht abgetötet.

Die thermophile Behandlung ist von hygienischer Seite wesentlich günstiger zu bewerten. Bei der mesophilen Betriebsart ist keine vollständige Entseuchung gegeben. Wer viele und mit Keimen belastete Kofermentate verwertet, muß eine eigenständige Hygienisierung, bei 70°C, 0,5-2,0 h Verweilzeit und einer Zerkleinerung des Gärgutes < 5 mm, der eigentlichen Vergärung vorschalten. Hierbei werden nur die hygienisch bedenklichen Stoffe behandelt.

2.4 Versuchsdurchführung, Auswertung und Diskussion

An landwirtschaftlichen Biogasanlagen Sachsens mit sehr unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Kofermentaten wurden Stichproben hinsichtlich keimreduzierender Wirkung durch die anaerobe Vergärung vorgenommen. Besondere Aufmerksamkeit galt primär den seuchenhygienisch problematischen Coliformen Keimen, den Salmonellen und den Fäkalstreptokokken.

Desweiteren sollte festgestellt werden, welchen Einfluß die Ausgangsstoffe auf eine eventuelle Schwermetallbelastung der Biogasgülle haben. Und welche weiteren Veränderungen der Gülle durch den Vergärungsprozeß stattfinden.

In *Abbildung 2.1* sind die Standorte der analysierten Biogasanlagen ersichtlich.

Übersicht über Biogasanlagen in Sachsen

Einen Überblick über die Biogasanlagen vermittelt Tabelle 2.5. Von entscheidender Bedeutung sind die zur Vergärung verwendeten Eingangsstoffe und Kofermentate. Ihre Art und Zusammensetzung wechselt erheblich.

In der Tabelle 2.6 (aus Datenschutzgründen aus Bericht entfernt) sind sämtliche Analysenwerte zusammengefaßt. Unter der Bezeichnung Gemisch wird bei Anlagen mit einem erheblichen Anteil an Kofermentation das Gemisch aus der Gülle mit den entsprechenden Kofermentaten verstanden. Es ist dabei nicht gewährleistet, daß im Eingangsgemisch die gleichen Stoffe wie im vergorenen Endgemisch enthalten sind. Bei der Auswertung ist weiterhin zu beachten, daß es sich bei der Beprobung lediglich um Stichproben handelt. Für statistisch gesicherte Aussagen sind wesentlich intensivere Untersuchungen notwendig. Einige grundlegende Aussagen können jedoch getroffen werden.

Die Werte in den einzelnen Proben schwanken deutlich, beeinflusst durch die unterschiedlichsten Bedingungen und Eingangsmaterialien. Deshalb ist besonders auf eine ordnungsgemäße Probenahme zu achten, denn bereits hier kann eine hohe Fehlerquelle entstehen. Die Probenahme ist hauptsächlich von einer guten Homogenisierung abhängig. Weiterhin war die Beprobungshäufigkeit zu gering, da sich die Eingangsstoffe als zu inhomogen darstellten und die Verweilzeit der Produkte im Reaktor bei der Betrachtung nicht berücksichtigt wurde.

Die Analysen wurden vom FB 10 der LfL und z.T. von einem analytischen Labor (Biotechnologie & Analytik GbR B&A, Permoserstr.15, 04318 Leipzig) durchgeführt. Erstaunlich sind die z.T. großen Schwankungen der Analysenwerte zwischen beiden Labors, obwohl die gleichen Proben (gleiche Zeit, gleicher Ort) untersucht wurden.

Tabelle 2.5 Übersicht über untersuchte Anlagen in Sachsen

Standort	Eingangsstoffe	Biogasmenge Energie	Reaktorvol. Reaktortyp	Besonderheiten bei der Verfahrenstechnik	Baubeginn Hersteller	Betriebsbeginn Betreiber
Betrieb 1	Rindergülle (36.000 m ³ /a)	0,6 Mio. m ³ /a 4% Biogasanlage 56% Stall 40% Netz	2500 m ³	mesophil BIMA-Reaktor aus Stahl	Oktober 1997 ENTEC	September 1998
Betrieb 2	80.000 m ³ Rinder- und Schweinegülle 30.000 m ³ org. Reststoffe (Biotonne, Schlachthausabfälle, Fettschlämme, überlagerte Lebensmittel, Bleicherde)	3,56 Mio. m ³ /a 9.753 m ³ /Tag	2 Reaktoren a 3000 m ³	einstufig, mesophiles Naßverfahren	1995 Haase Energietechnik Neumünster	1995
Betrieb 3	Gülle von 35 GV Rind , menschliche Fäkalien , Schlachtabfälle, Hausabfälle	52 m ³ /Tag (berechnet)	Gärbehälter- Tank 50 m ³	einstufig, kontinuierlich	1994 selbst gebaute Anlage	1994
Betrieb 4	12000 m ³ Rinder- und Schweinegülle 12000 m ³ gewerbliche Speisereste, Küchenabfälle, Grasschnitt, Friedhofsabfälle ect.	1,3 Mio. m ³ /a 3500 m ³ /Tag	1 x 3000 m ³	zweistufig mesophil	LRZ	Juli 1998
Betrieb 5	organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung (5.000 t/a)	0,3 Mio. m ³ /a Biogas		zweistufig mesophil (35°C) mit Vorhygienisierung	1995 Bi-Utec	1997
Betrieb 6	Rindergülle (60 m ³ /Tag) Hühnergülle (10 m ³ /Tag) Fette (2 m ³ /Tag)	2500 m ³ /Tag Biogas	2 x 1150 m ³	einstufig mesophil	1994 Erwin Köberle Obermarchtal	1994
Betrieb 7	Geflügelmist 6800 t/Jahr Grünschnitt 4900 t/Jahr Küchenabfälle 2200 t/Jahr Fettabscheiderrückstände 2000 t/Jahr Überlagerte Lebensmittel 700 t/Jahr Papierschlamm 2700 t/Jahr Sonstiges 450 t/Jahr	3800 m ³ /Tag Biogas	3 x 750 m ³	zweistufig mesophil	1987 DSD Gas- und Tankanlagenbau GmbH	

2.4.1 Analyse der Inhaltsstoffe

Einige generelle Aussagen zur Veränderung der Gülle durch den Vergärungsprozeß können getroffen werden:

1. Der **Trockensubstanzgehalt** der vergorenen Gülle ist durch den Abbau der organischen Feststoffe **deutlich niedriger** als im Eingangsmaterial. Durch die geringere Trockensubstanz erklären sich viele positive Eigenschaften vergaster Gülle wie zum Beispiel geringere Ätzwirkung, schnelleres Eindringen in den Boden und eine bessere Pumpfähigkeit. Als positiv kann eine gleichmäßigere Struktur und geringere Teilchengröße der vergorenen Gülle gegenüber unbehandelter Gülle durch den Abbau organischer Feststoffe erwähnt werden, wodurch sich ein besseres Fließverhalten und dadurch wiederum eine geringere Verstopfungsgefahr beim Einsatz moderner Ausbringungstechniken erzielen läßt. Das Eindringen in den Boden wird erleichtert und die Gülle fließt schneller von den Blattflächen der Pflanzen ab, was die mögliche Verätzungsgefahr reduziert. Durch die bessere Homogenität wird das Bodeneindringvermögen methanvergorener Gülle beschleunigt und es kommt zu einer Verringerung der Ammoniakverluste bei der Ausbringung.
2. Der **Ammoniumgehalt** in der Biogasgülle ist **wesentlich höher** als in der unvergorenen Gülle, der organisch gebundene Stickstoff nimmt ab. Dies ist mit dem Abbau des organisch gebundenen Stickstoffs zu erklären, der nun in mineralischer pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Die Mineralisation des Stickstoffs ist abhängig vom Ausgangsverhältnis des organisch gebundenen Stickstoffs zum Gesamtstickstoff. Hieraus ergeben sich bei der Gülleausbringung zum richtigen Zeitpunkt geringere N-Verluste, da die Pflanze den Stickstoff sofort nutzen kann und die Gülle ein besseres Bodeneindringungsvermögen besitzt. Umgekehrt ist zu vermuten, daß eine größere Auswaschungsgefahr besteht, wenn die Gülle zum Beispiel im Herbst auf unbewachsenem Acker ausgebracht wird.
3. Durch den höheren Ammoniak-Gehalt **steigt der pH-Wert** in der Biogasgülle an. Mit steigendem pH-Wert wird die Umsetzung von Ammonium zu Ammoniak gefördert, was zu Ammoniakverlusten während der Lagerung führen kann.

Über die Nährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium können keine Aussagen getroffen werden, die Menge in den Eingangsstoffen und im Endprodukt müsste jedoch gleich bleiben. Ebenso verhält es sich mit dem Wert für den Gesamtstickstoff. Warum die Werte bei den meisten Inhaltsstoffen und Schwermetallen im Ausgang höher sind als im Eingang läßt sich derzeit nicht erklären, unter Umständen handelt es sich um ein analytisches Problem.

In den folgenden Graphiken werden die Untersuchungsergebnisse an Hand der am häufigsten beprobten Biogasanlage (Betrieb 6) noch einmal unterlegt.

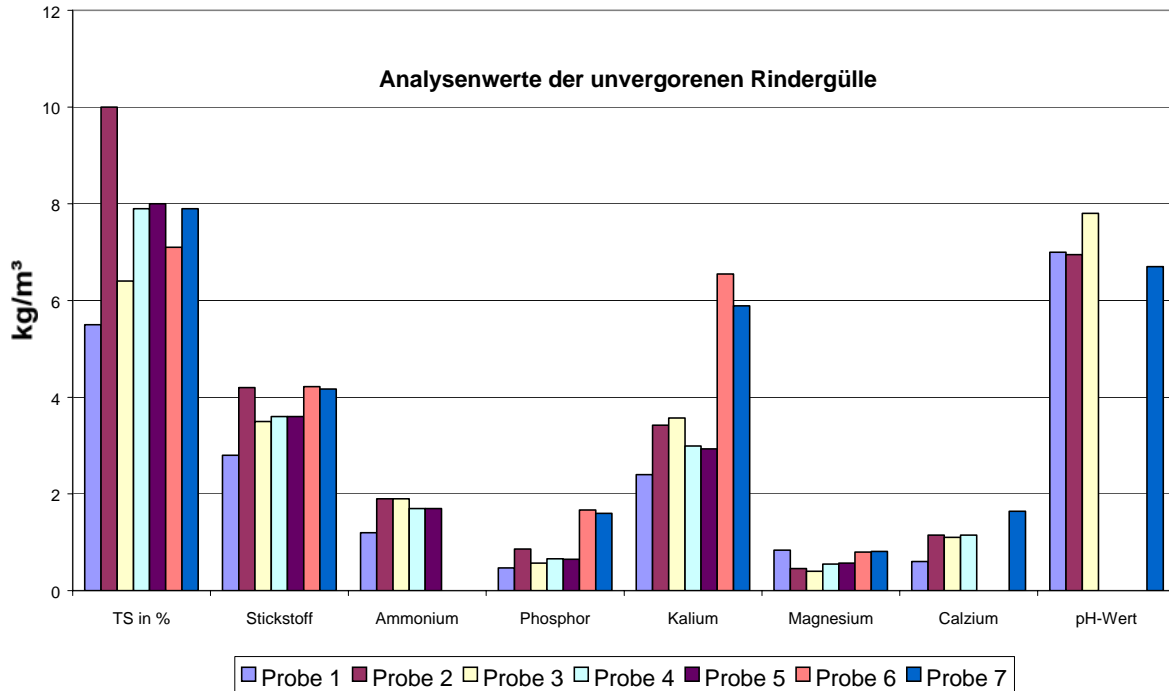


Abbildung 2.2 Analysenwerte der unvergorenen Rindergülle

Die Nährstoffgehalte in der Rindergülle sind relativ homogen. Stärkeren Schwankungen unterliegen der Trockensubstanz- und der Kaliumgehalt.

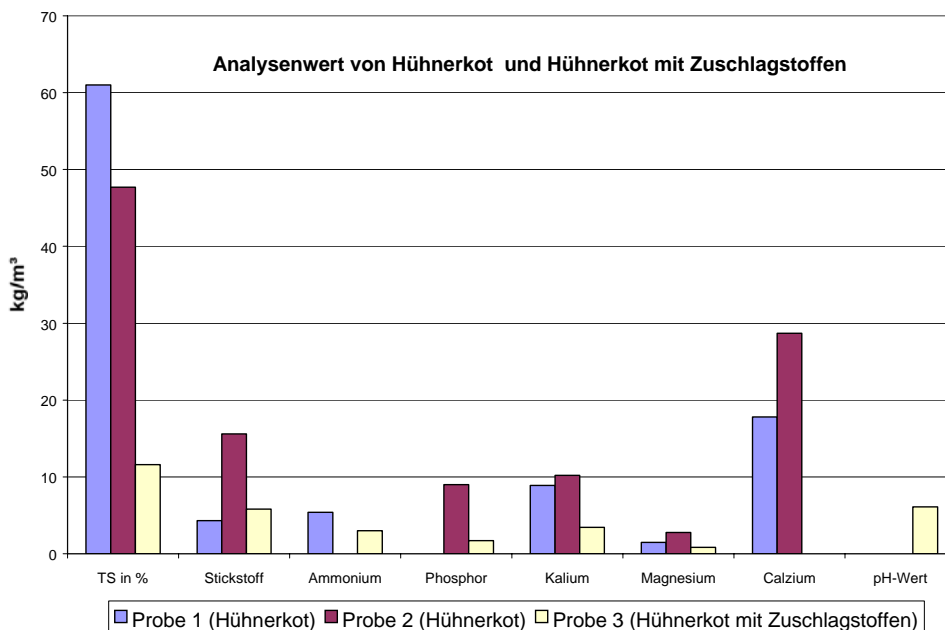


Abbildung 2.3 Analysenwerte von Hühnerkot und Hühnerkot mit Zuschlagstoffen

Alle untersuchten Parameter des Hühnerkotes unterlagen starken Schwankungen.

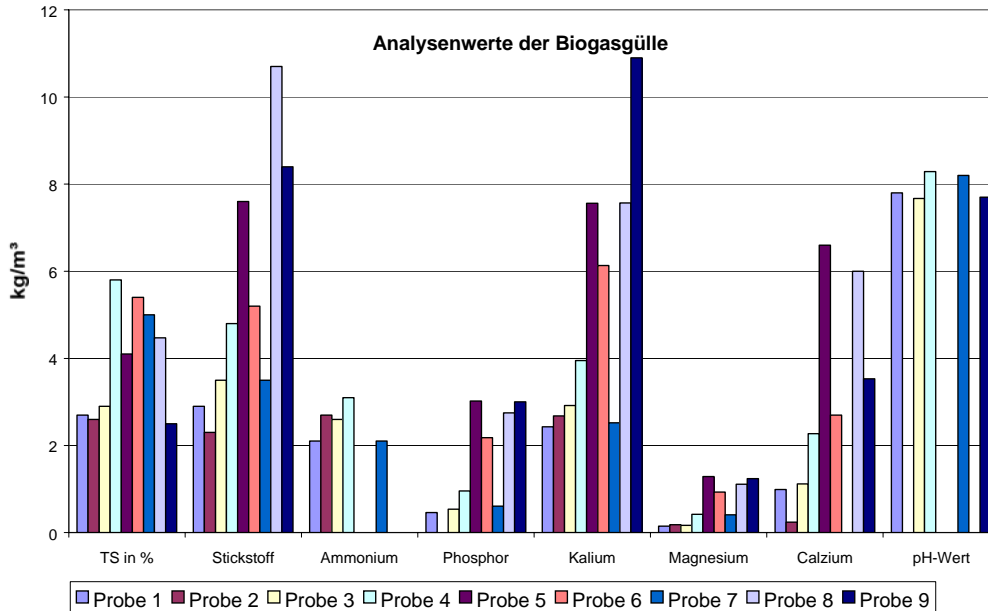


Abbildung 2.4 Analysenwerte der Biogasgülle

Entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung der Ausgangsstoffe unterliegen die Nährstoffgehalte größeren Schwankungen. Vor jeder Ausbringung dieser Gülle sollten deshalb Proben analysiert werden. Die Proben wurden direkt am Ausgang des Fermenters entnommen. Im Endlagerungsbecken neutralisieren sich die großen Schwankungen zum Teil.

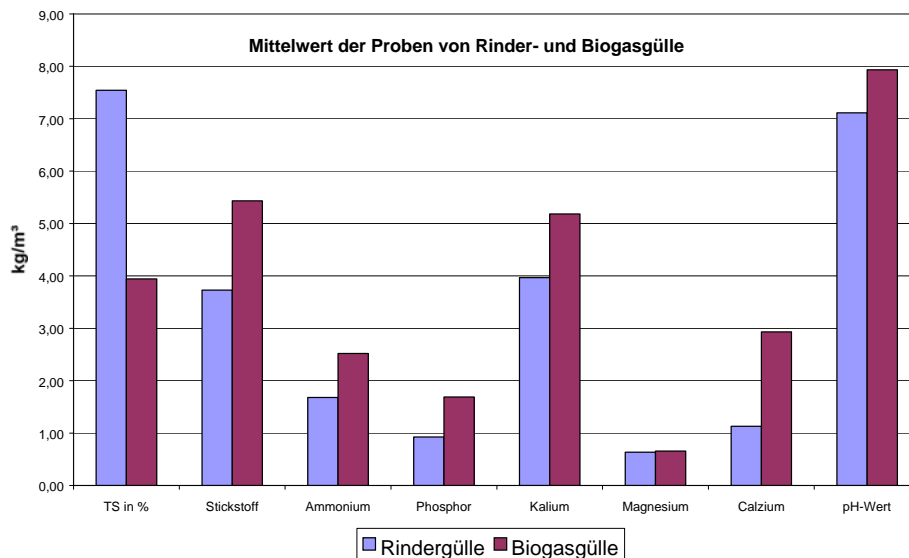


Abbildung 2.5 Mittelwert der Proben von Rinder- und Biogasgülle

Deutlich erkennbare Unterschiede zwischen normaler Rindergülle und vergorener Gülle bestehen in einem geringeren TS-Gehalt, in einem höheren Anteil von Ammonium und in einem höheren pH-Wert der Biogasgülle. Die Erhöhung der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Calcium läßt sich aus der Zugabe des nährstoffreichen Hühnerkotes erklären.

Die Werte der Nährstoffe zeigen, daß vor jeder Gülleausbringung Untersuchungen zum Stickstoff, zum Phosphor und zum Kalium durchzuführen sind, um die Gülleverordnung einzuhalten. Die Nährstoffzusammensetzung ist in den Biogasanlagen zu unterschiedlich für die in der Düngeverordnung vorgeschriebenen Gülleprobenintervalle.

2.4.2 Analyse der Schwermetallgehalte

Grundsätzlich ist festzustellen, daß die Gülle bzw. die Endprodukte von Biogasanlagen zum Teil erheblich mit Schwermetallen belastet sind. Hauptprobleme bereiten die Schwermetalle Cadmium, Kupfer und Zink. Dabei liegen die Höchstwerte bei Zink doppelt so hoch wie der vorgegebene Grenzwert nach der Bioabfallverordnung, bei Cadmium wurden Werte bis zum Dreifachen und bei Kupfer sogar bis zum Vierfachen der Grenzwerte festgestellt. In einer Probe wurde auch ein zu hoher Wert bei Quecksilber gefunden. In erster Linie können Kofermentate, die mit hohen Schwermetallgehalten belastet sind, für die Überschreitung der Schwermetallgehalte in der vergorenen Gülle verantwortlich sein. Bei Biogasanlagen mit ausschließlicher Güllevergärung bzw. mit wenig und unbelasteten Kofermentaten tritt jedoch ebenfalls eine Schwermetallbelastung auf. Umgekehrt kommt es nicht bei allen Anlagen mit einem erheblichen oder überwiegendem Teil an biologischen Abfällen zu Überschreitungen der Schwermetallgehalte laut Bioabfallverordnung. Es bleibt daraus zu schlußfolgern, daß erhöhte Schwermetallgehalte ein generelles Problem der Abfall- und auch der Güllewirtschaft darstellen. Während Wirtschaftsdünger nur der Düngeverordnung unterliegen und hierbei Schwermetalle keine Rolle spielen, kann die Verwendung von Kofermentaten dem Tierkörperbeseitigungsgesetz, der Klärschlammverordnung oder der Bioabfallverordnung unterliegen. Hierbei müssen die Grenzwerte für die Schwermetallgehalte eingehalten werden, egal, ob erhöhte Werte aus dem Kofermentat oder aus der Gülle stammen. Die Ursachen für erhöhte Schwermetallgehalte in der Gülle sind unbedingt abzuklären. Bei der Abfallvergärung sind neue Technologien zur Isolierung bzw. Abtrennung von Schwermetallen zu entwickeln.

Wie oben schon erwähnt, weichen die ermittelten Grenzwerte bei gleichen Proben zwischen beiden Labors bis zum 20-fachen voneinander ab. Dies stellt sich für die Durchführung der Bioabfallverordnung als äußerst problematisch dar, da bei Untersuchung in einem Labor die Grenzwerte unterschritten und in einem anderen Labor überschritten werden. Rechtsstreitigkeiten sind dabei nicht auszuschließen. Beide Labors arbeiten nach den DIN-Vorschriften.

2.4.3 Analyse der Keimgehalte

Wie im Kapitel 2.2 bereits beschrieben, gelten organische Wirtschaftsdünger als seuchenhygienisch unbedenklich, wenn keine Salmonellen und maximal 10^3 coliforme Keime pro ml Substrat enthalten sind.

Sechs Biogasanlagen wurden hinsichtlich dem Besatz an Salmonellen, an coliformen Keimen, an fäkalcoliformen Keimen und an Fäkalstreptokokken untersucht. In einer Anlage wurden Salmonellen gefunden. In allen Anlagen wurde die Menge an gesamtcoliformen Keimen, an fäkalcoliformen Keimen und an Fäkalstreptokokken überschritten. Die Biogasanlagen mit ausschließlicher Verwendung von Gülle sind von der hohen Keimzahl ebenso betroffen wie die Anlagen mit einem hohen Anteil an Kofermentaten. Eine Reduzierung der Keimbelastung durch die Vergärung konnte bei der geringen Anzahl an Proben nicht nachgewiesen werden.

2.4.4 Analysen zu CSB und BSB Werten

Der Chemische Sauerstoffbedarf ist ein Maß für die Belastung eines Abwassers mit leicht und schwer abbaubaren organischen Kohlenstoffverbindungen. Der Biochemische Sauerstoffbedarf dagegen mißt nur die leicht abbaubaren, organischen Kohlenstoffverbindungen. Der chemische und der biochemische Sauerstoffbedarf sind wesentliche Parameter zur Bestimmung von organischen Verunreinigungen. Je nach Herkunft und Zusammensetzung des Abwassers schwanken ihre Werte. Häusliche Abwässer haben eine relativ konstante Zusammensetzung aus vorwiegend organischen Stoffen, welche für Mikroorganismen leicht zugänglich sind. Gewerbliche und industrielle Abwässer sind in keiner Weise mit häuslichen Abwässern vergleichbar, da sie beliebige Stoffe enthalten, die miteinander reagieren können, in beliebigen Größenordnungen vorkommen und häufig auch stoßweise anfallen. Eine weitere wichtige Kenngröße ist der Quotient BSB:CSB, durch den die biologische Abbaubarkeit charakterisiert wird. Eine gute Abbaubarkeit wird durch einen hohen Wert, der maximal 1 sein kann, gekennzeichnet.

In der Biogasanlage (Betrieb 6) wurden die BSB- und CSB-Werte in einigen Proben ermittelt. Bei den Proben der unvergorenen Gülle muß von einer sehr hohen organischen Belastung gesprochen werden. Es wurden CSB-Werte von 60.000 bis 90.000 mg/l ermittelt. Die Höhe der Werte ist jedoch für Gülle typisch. Dampfschäler als Kofermentat haben im Betrieb 6 die höchste organische Belastung. Nach der Gärung konnte der CSB-Wert auf ca. die Hälfte reduziert werden, wobei aber immer noch eine hohe Belastung vorliegt. Das deutet darauf hin, daß bei der Gärung im wesentlichen ein Abbau der leicht abbaubaren Stoffe stattfindet und bestimmte Anteile mikrobiell nicht zugänglich sind. In Bezug auf den Abbau der organischen Substanz spielt natürlich die Verweilzeit eine bedeutende Rolle. Aus pflanzenbaulichen Belangen und aus Gründen des Umweltschutzes ist auf eine ausreichende Verweilzeit der Substrate im Reaktor zu achten.

Tabelle 2.7 Chemischer- und Biochemischer Sauerstoffbedarf der Gülle und weiterer Stoffe der Biogasanlage im Betrieb 6

		Datum	Rinder- gülle	Biogas- gülle	Dampf- schäler	Hühnerkot	Fette
CSB	mg/l	21. 03.96	76800	28800			
BSB	mg/l		12560	7570			
CSB	mg/l	20. 05.96	88300	42200	96000	19200	4600
BSB	mg/l		9800	2300	49000	11300	3400
CSB	mg/l	10. 09.96	61400	47200	Gülle aus Fermenter 33000		
BSB	mg/l		17500	5830	5490		

2.5 Ergebnisse

Der **Trockensubstanzgehalt** der vergorenen Gülle ist durch den Abbau der organischen Feststoffe **deutlich niedriger** als im Eingangsmaterial. Durch die geringere Trockensubstanz erklären sich **viele positive Eigenschaften vergaster Gülle**. Als positiv kann eine gleichmäßigere Struktur und geringere Teilchengröße der vergorenen Gülle gegenüber unbehandelter Gülle durch den Abbau organischer Feststoffe erwähnt werden. Bei ordnungsgemäßer Gülleapplikation kann mit einer Verringerung der Ausbringungsverluste durch ein schnelleres Bodeneindringevermögen gerechnet werden.

Der **Ammoniumgehalt** in der Biogasgülle **ist wesentlich höher** als in der unvergorenen Gülle. Dies ist mit dem Abbau des organisch gebundenen Stickstoffs zu erklären, der nun in mineralischer pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Hieraus ergeben sich bei der Gülleausbringung zum richtigen Zeitpunkt ebenfalls geringere N-Verluste. Umgekehrt ist zu vermuten, daß eine größere Auswaschungsgefahr besteht, wenn die Gülle zum Beispiel im Herbst auf unbewachsenem Acker ausgebracht wird.

Durch den höheren Ammoniak-Gehalt **steigt der pH-Wert** in der Biogasgülle an.

Die Werte der Nährstoffe zeigen, daß vor jeder Gülleausbringung Untersuchungen zum Stickstoff, zum Phosphor und zum Kalium durchzuführen sind, um die Güllerverordnung einzuhalten. Die Nährstoffzusammensetzung ist in den Biogasanlagen zu unterschiedlich für die in der Düngeverordnung vorgeschriebenen Gülleprobenintervalle.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß die Gülle bzw. die Endprodukte von Biogasanlagen zum Teil erheblich mit **Schwermetallen belastet** sind (*Tabelle 2.6*). Hauptprobleme bereiten die Schwermetalle Cadmium, Kupfer und Zink.

Bei Biogasanlagen mit ausschließlicher Güllevergärung bzw. mit wenig und unbelasteten Kofermentaten tritt dieses Problem ebenfalls auf. Die Ursachen für erhöhte Schwermetallgehalte in der Gülle sind unbedingt abzuklären. Bei der Abfallvergärung sind neue Technologien zur Isolierung bzw. Abtrennung von Schwermetallen zu entwickeln.

Die in unterschiedlichen Labors ermittelten Werte weichen zum Teil erheblich voneinander ab.

In einer Anlage wurden **Salmonellen gefunden**. In allen sechs geprüften Anlagen wurde die Menge an gesamtcoliformen Keimen, an fäkalcoliformen Keimen und an Fäkalstreptokokken in Bezug auf seuchenhygienische Unbedenklichkeit überschritten. Die Biogasanlagen mit ausschließlicher Verwendung von Gülle sind von der **hohen Keimzahl** ebenso betroffen wie die Anlagen mit einem hohen Anteil an Kofermentaten. Eine Reduzierung der Keimbelastung durch die Vergärung konnte bei der geringen Anzahl an Proben nicht nachgewiesen werden.

Der chemische und der biochemische Sauerstoffbedarf sind wesentliche Parameter zur Bestimmung von organischen Verunreinigungen. Eine weitere wichtige Kenngröße ist der Quotient BSB:CSB, durch den die biologische Abbaubarkeit charakterisiert wird. Eine gute Abbaubarkeit wird durch einen hohen Wert, der maximal 1 sein kann, gekennzeichnet.

Nach der Gärung in der Biogasanlage (Betrieb 6) konnte der CSB-Wert auf ca. die Hälfte reduziert werden, wobei aber immer noch eine hohe Belastung vorliegt. Das deutet darauf hin, daß bei der Gärung im wesentlichen ein Abbau der leicht abbaubaren Stoffe stattfindet und bestimmte Anteile mikrobiell nicht zugänglich sind.

3 Prüfung von vergorener Gülle hinsichtlich Ertragsleistung und N-Entzug von Winterraps im Herbst im Vergleich zu unvergorener Gülle

3.1 Versuchsdurchführung

In einem zweijährigen Gefäßversuch (1997 und 1998) wurde die N-Wirkung von Biogasgülle im Vergleich zur konventionellen Gülle auf die Ertragsleistung und den N-Entzug von Winterraps im Herbst geprüft.

Die Untersuchungen wurden in Mitscherlichgefäßen (mit 6 kg sandigem Lehm) in 5-facher Wiederholung durchgeführt, siehe dazu *Abbildung 3.1*. Die verwendeten Prüfglieder sind in *Tabelle 3.1* ersichtlich.

Abbildung 3.1 Gefäßversuch



Tabelle 3.1 Prüffaktoren des Gefäßversuches

Düngerart	N-Düngermenge g/Gef.	Berechnungsgrundlage der N-Düngung
ohne	ohne	---
konventionelle Gülle	0,5 1,0	N _t NH ₄ -N
Biogasgülle	0,5 1,0	N _t NH ₄ -N
mineralische N-Düngung als NH ₄ NO ₃	0,5 1,0	---

Die N-Bemessung in den Prüfgliedern erfolgte einmal auf der Basis von Gesamt-N (N_t) und zum anderen auf der des löslichen N-Anteils (NH_4-N). Hierdurch war ein besserer Wirkungsvergleich möglich.

Da zum Zeitpunkt des Ansatzes nur die N-Gehalte der Gülle vorlagen, wurde eine zusätzliche P-, K-, Mg-Düngung für alle Prüfglieder einheitlich verabreicht. Mit den verschiedenen Gülle kamen somit unterschiedliche Mengen an P, K und Mg zur Anwendung. Insbesondere wurde Kalium im Gefäßversuch 1998 in der Variante mit Biogasgülle (1,0 g N/Gef. auf NH_4-N berechnet) erhöht verabreicht. Die Nährstoffgehalte der geprüften Gülle sind aus *Tabelle 3.2* zu entnehmen. Die geprüften Rindergülle kamen ausschließlich aus der Biogasanlage im Betrieb 6. Im ersten Versuchsjahr (1997) wurde auch Hühnerkot in der Biogasanlage vergoren. Die Ausgangsproben wurden getrennt für Rindergülle und Hühnerkot gezogen und vor der Beprobung bzw. dem Einsatz im Verhältnis von 6 (Rindergülle) zu 1 (Hühnergülle) gemischt. Dieses Verhältnis entspricht dem Mischungsverhältnis in der Anlage. Im Jahr 1998 wurde zur Zeit der Probenahme und der Vergärung (rund 30 Tage) kein Hühnerkot zugegeben.

Tabelle 3.2 Nährstoffgehalte der eingesetzten Gülle

Gülleart	TS %	Nt % in OS	NH_4-N	P	K % in TS	Mg
konv. Gülle 1997	8,6	0,40	0,20	0,071	0,26	0,053
konv. Gülle 1998	9,8	0,47	0,22	0,850	4,37	0,650
Biogasgülle 1997	5,0	0,35	0,21	0,610	2,52	0,410
Biogasgülle 1998	3,0	0,27	0,18	1,180	10,26	0,940

Aus *Tabelle 3.2* ist ersichtlich, daß sich die geprüften Gülle in den 2 Versuchsjahren in der P, K, Mg-Zusammensetzung wesentlich unterscheiden.

Aussagen zur N-Verwertung der Gülle können aus den TM-Erträgen und den N-Entzügen abgeleitet werden.

Wichtige Daten zur Versuchsdurchführung:

	1997	1998
Ansatz:	14.08.	28.08.
Aussaat:	18.08.	28.08.
Aufgang:	23.08	03.09.
Ernte:	17.10.	05.11.

3.2 Auswertung und Diskussion

Die 2-jährigen Gefäßversuche zur Prüfung der Wirkung unterschiedlich behandelter Gülle auf die N-Verwertung von Winterraps während des Herbstes lassen folgende Aussagen zu:

- Die mit Biogasgülle gedüngten Prüfglieder (N-Zufuhr auf N_t -Basis berechnet) bringen gegenüber der konventionellen Gülle in beiden Versuchsjahren signifikante Mehrerträge. Lediglich in der Stufe 0,5 g N/Gefäß ist 1997 der Unterschied nicht gesichert. Der höhere Anteil des NH_4 -N am Gesamtstickstoff in Biogasgülle führt zur schnelleren N-Aufnahme und damit zu einer höheren TM-Bildung im Untersuchungszeitraum. Möglicherweise treten auch weniger gasförmige Verluste auf, da die Trockensubstanz der Biogasgülle wesentlich geringer ist als die unvergorener Gülle. Die Trockensubstanz korreliert negativ mit der Bodeneindringung, deshalb ist bei der Biogasgülle eine schnellere Bodeneindringung zu erwarten.
- Wird bei der N-Zufuhr in Form von Gülle von dem löslichen Stickstoff (NH_4 -N) als Bemessungsbasis ausgegangen, vermindern sich vor allem 1997 die Wirkungsunterschiede zwischen den geprüften Düngern.
- Im Versuchsjahr 1998 kann die bessere Wirkung der Biogasgülle nur bei der niedrigen N-Stufe nachgewiesen werden. Mit der N-Zufuhr auf NH_4 -N-Basis wurden bei den Prüfgliedern (1,0 g N/Gef.) mit Biogasgülle sehr hohe K-Mengen zugeführt. Dies führte zu Ertragsdepressionen und somit zu einer verringerten N-Aufnahme.
- Die Überlegenheit der Biogasgülle im Vergleich zur konventionellen Gülle-Düngung wird auch durch die 10 - 20 % höheren Ausnutzungskoeffizienten gekennzeichnet. Die Wirkung einer mineralischen Stickstoffdüngung wird jedoch nicht erreicht. In der *Tabelle 3.3* sind die Ausnutzungskoeffizienten der Düngerarten und N-Stufen dargestellt. Es ist ersichtlich, daß 1998 die N-Entzüge gegenüber 1997 auf einem wesentlich höheren Niveau liegen. Diese resultieren aus den hohen N-Gehalten in der Trockenmasse.

Tabelle 3.3 Einfluß einer variierten N-Zufuhr auf die N-Entzüge und N-Ausnutzung in Abhängigkeit von der Düngerart und N-Düngermenge (N-Zufuhr auf N_t-Basis berechnet)

Versuchsjahr	N-Zufuhr g/Gef.	N-Entzug mg/Gef.			Ausnutzungskoeffizienten* %		
		Mineraldünger	Biogas	konv. Gülle	Mineraldünger	Biogas	konv. Gülle
1997	0	94	-	-	-	-	-
1997	0,5	380	258	235	57	33	28
1997	1,0	783	467	334	69	37	24
1998	0	171	-	-	-	-	-
1998	0,5	602	460	371	86	58	40
1998	1,0	1029	711	512	86	54	34

* Die Ausnutzungskoeffizienten wurden mittels Differenzmethode errechnet.

Ausnutzungskoeffizient in % = $\frac{\text{N-Entzug (mit N-Düngung)} - \text{N-Entzug (ohne Düngung)}}{100}$

Die Ergebnisse der Gefäßversuche sind nicht auf Praxisbedingungen übertragbar. Allerdings können Tendenzen abgeleitet werden.

Bei Fruchtarten mit entsprechend hohem N Bedarf kann von geringeren N-Verlusten ausgegangen werden. Erfolgt die Ausbringung allerdings bei sehr geringem Bedarf ist mit einer höheren Auswaschung des Stickstoffs zu rechnen, da mehr löslicher Stickstoff zur Verfügung steht. Um Aussagen zum Auswaschungsverhalten des Stickstoffs bei erhöhten NH₄-N-Gehalten in Biogasgülle zu erhalten, wurde ein Lysimeterversuch im Oktober 1998 mit Winterweizen angelegt. Die Auswertung dazu wird erst im September 1999 vorgenommen. Die Ergebnisse werden diesem Forschungsbericht nachgereicht.

3.3 Ergebnisse

Die 2-jährigen Prüfungen der N-Wirkung unterschiedlicher Güllen im Gefäßversuch mit Winterraps in den Herbstmonaten lassen die Aussagen zu, daß **Biogasgüllen** im Vergleich zu konventionellen Güllen insgesamt die **Trockenmassebildung und N-Verwertung günstiger beeinflussen**. Diese positive Wirkung von Biogasgüllen läßt sich vor allem aus den höheren NH₄-N-Anteilen und der damit verbundenen schnelleren N-Aufnahme erklären.

Abbildung 3.2 Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t-Basis)

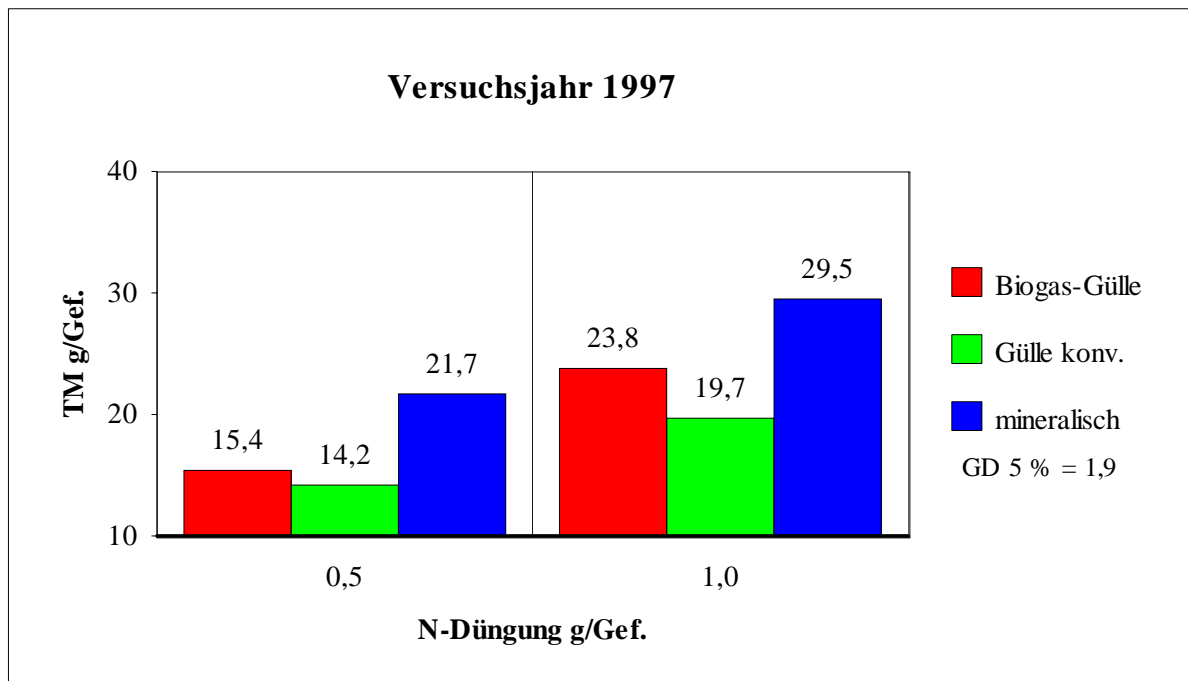


Abbildung 3.3 Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t-Basis)

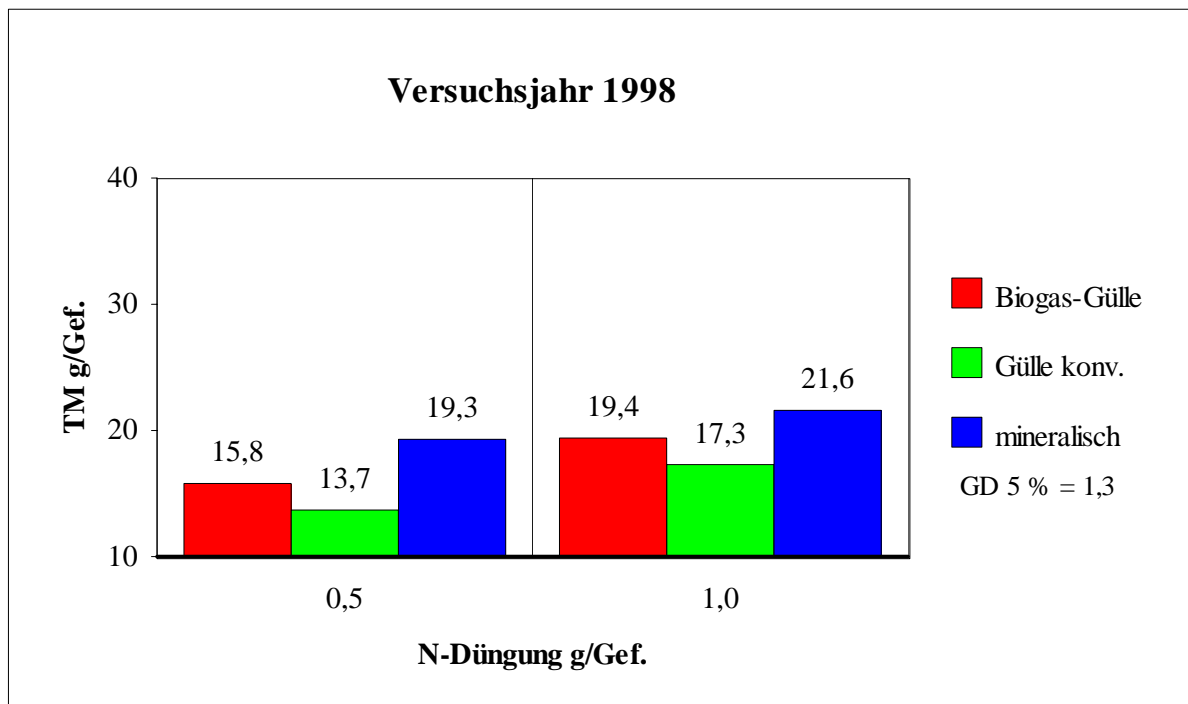


Abbildung 3.4 Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t -Basis)

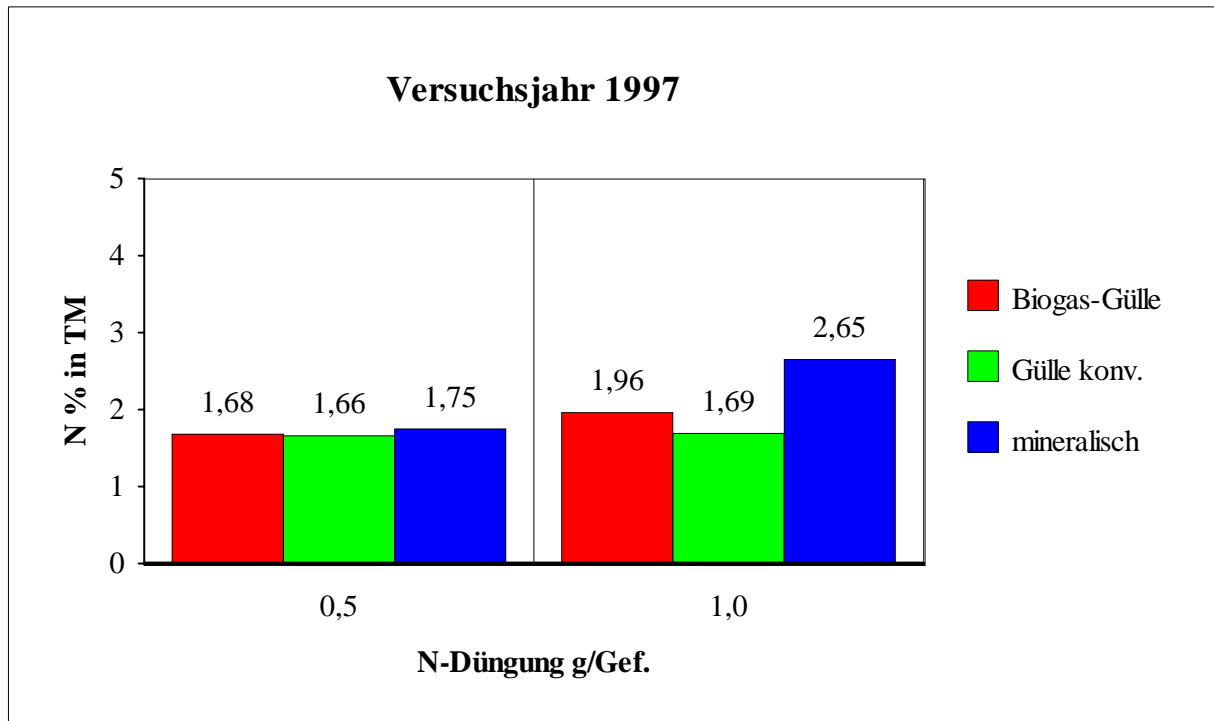


Abbildung 3.5 Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t -Basis)

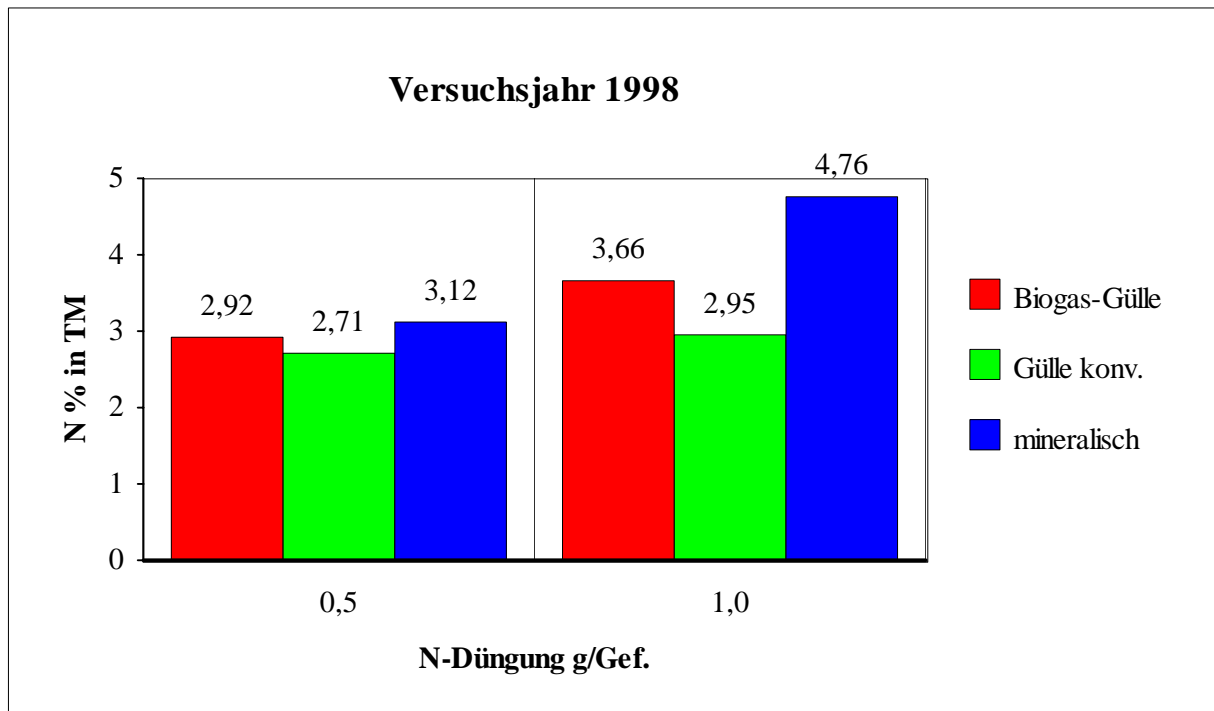


Abbildung 3.6 Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t-Basis)

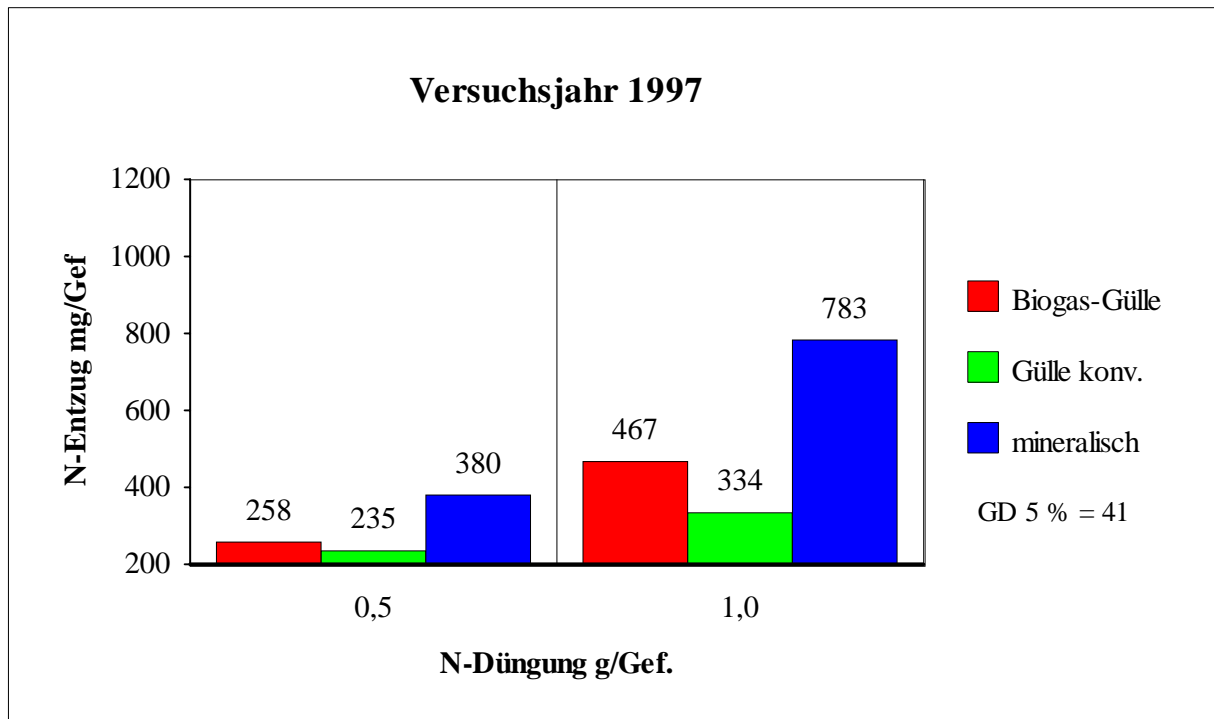


Abbildung 3.7 Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N-Mengen auf N_t-Basis)

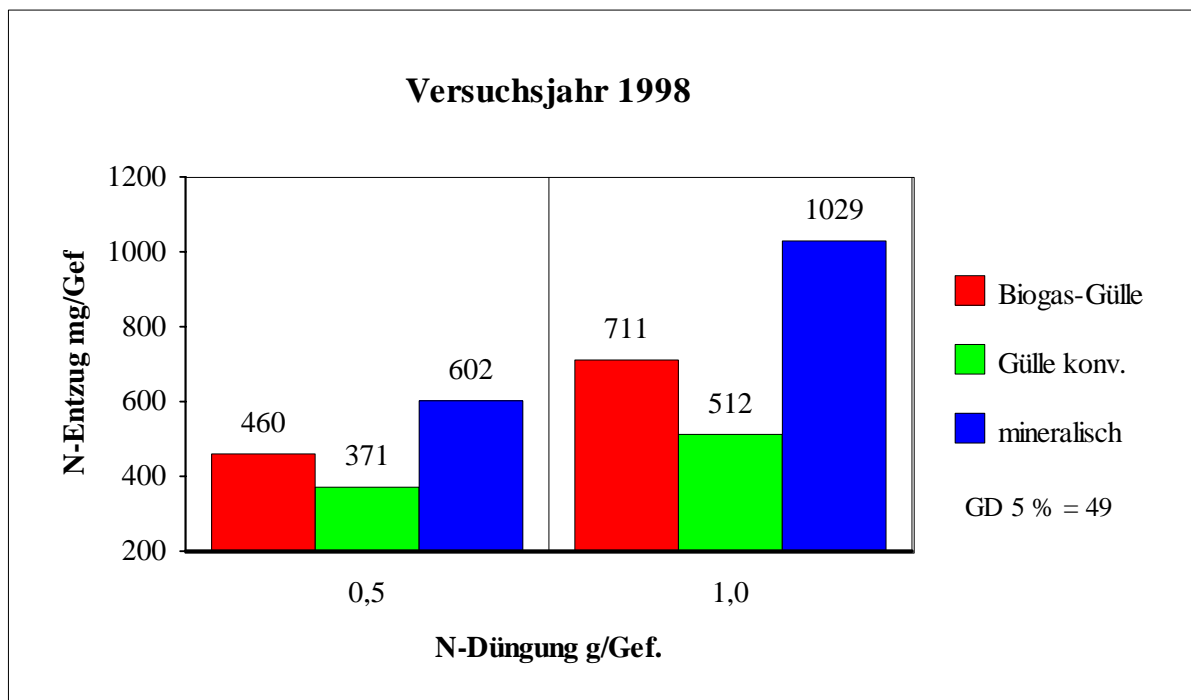


Abbildung 3.8 Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH₄-N-Basis)

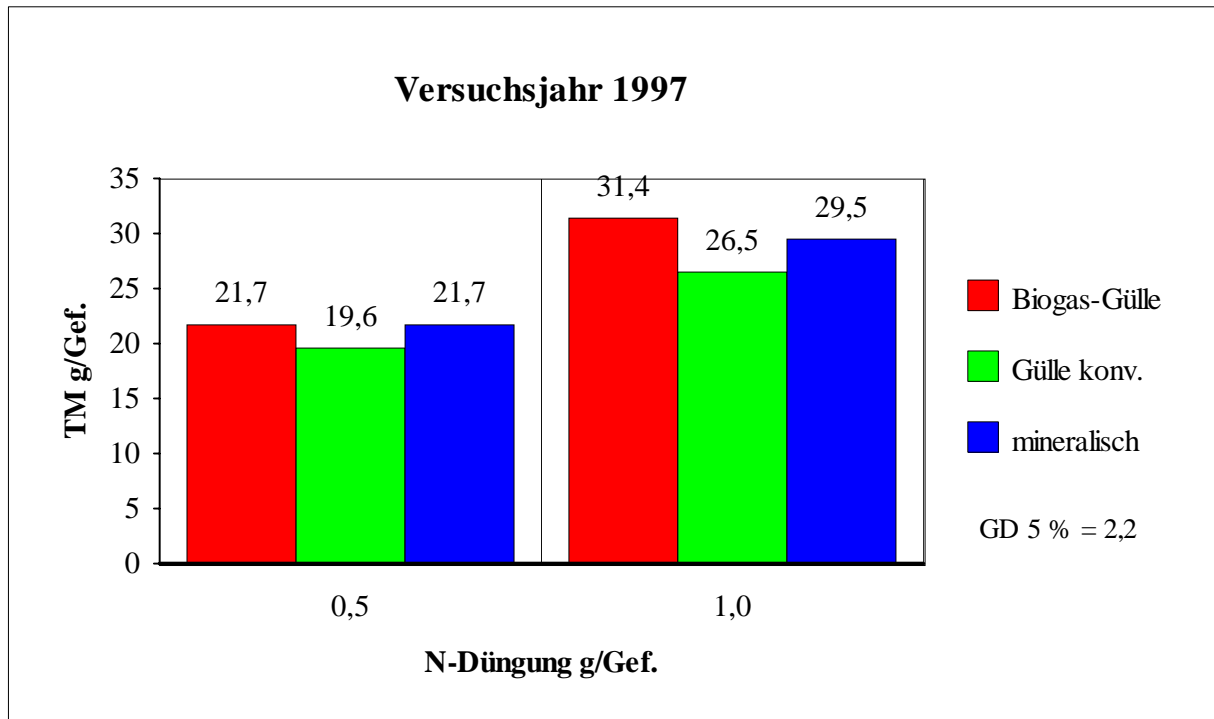


Abbildung 3.9 Einfluß der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH₄-N-Basis)

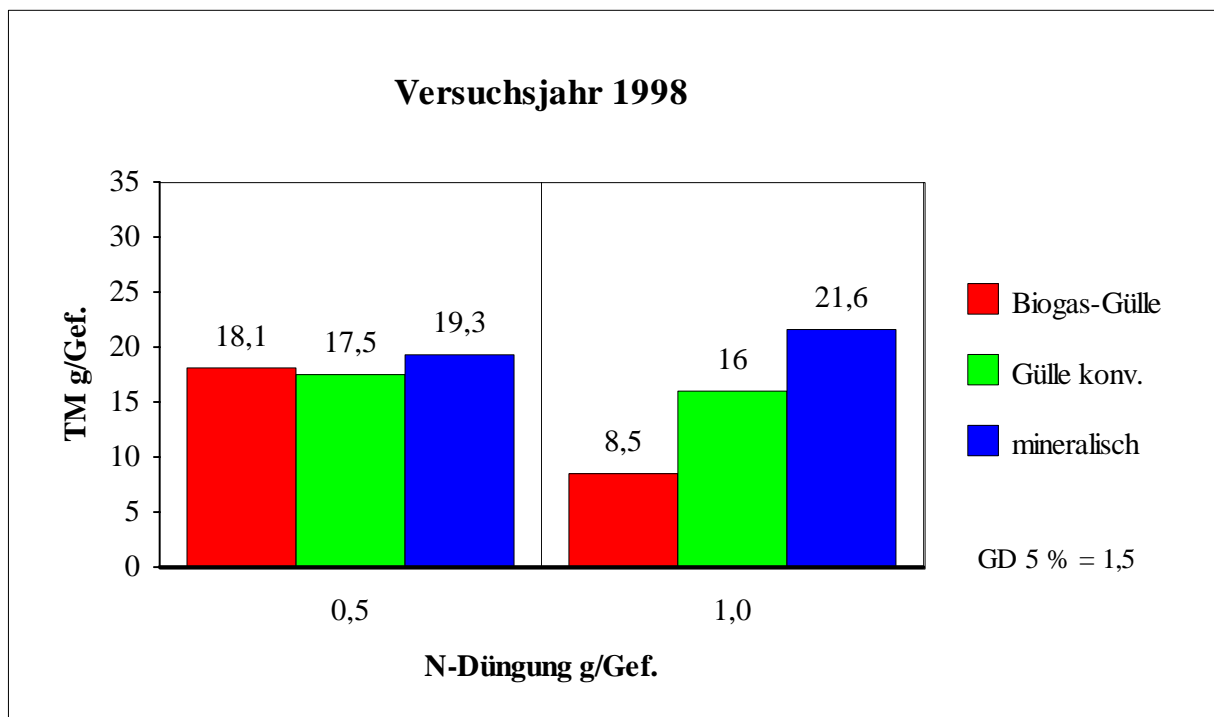


Abbildung 3.10 Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH₄-N-Basis)

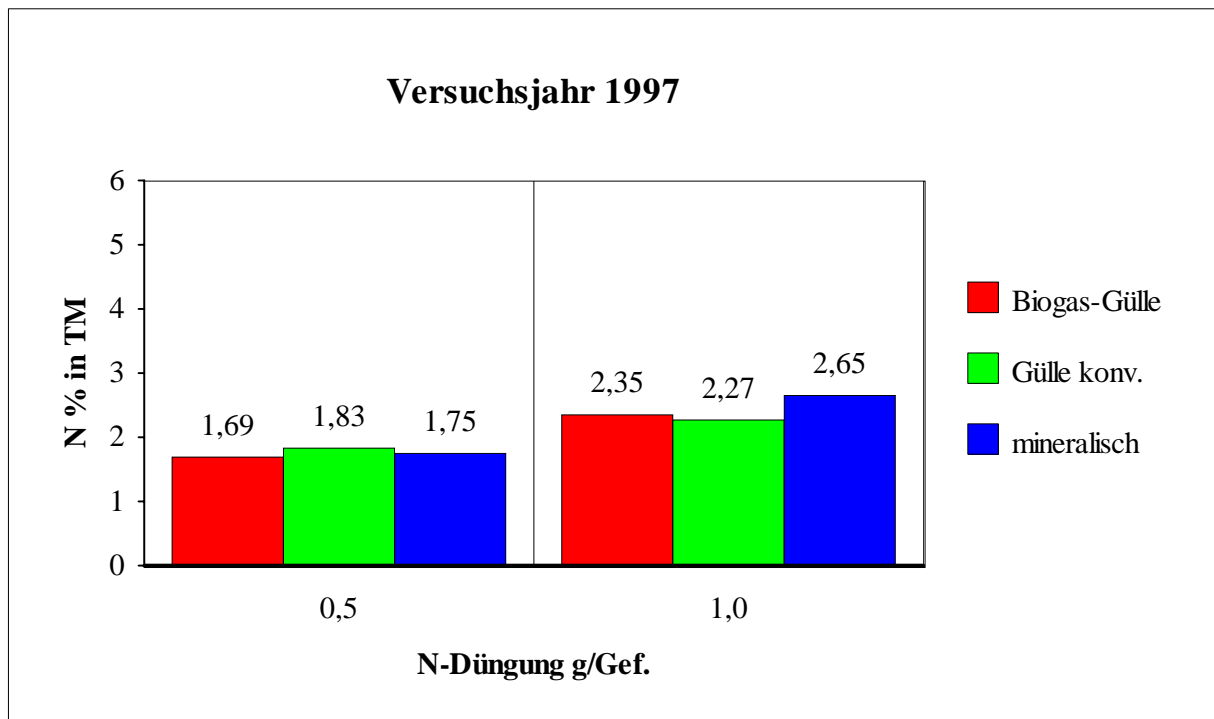


Abbildung 3.11 Einfluß der N-Düngung auf den N-Gehalt (%) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH₄-N-Basis)

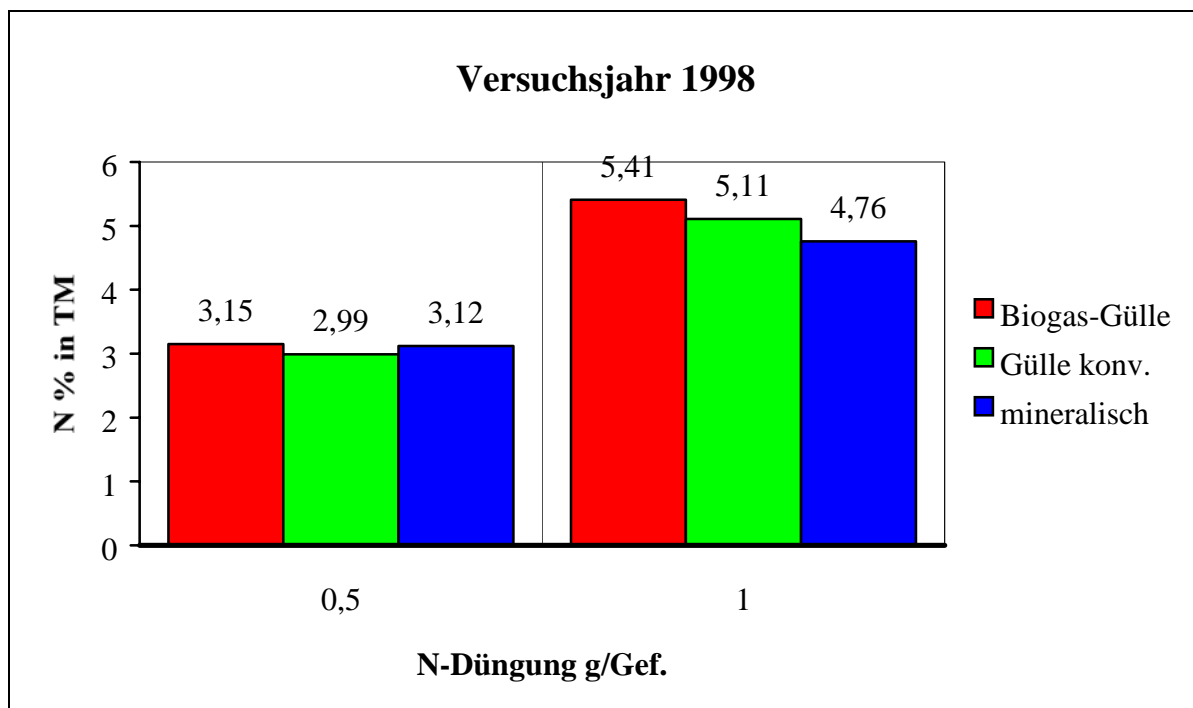


Abbildung 3.12 Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH₄-N-Basis)

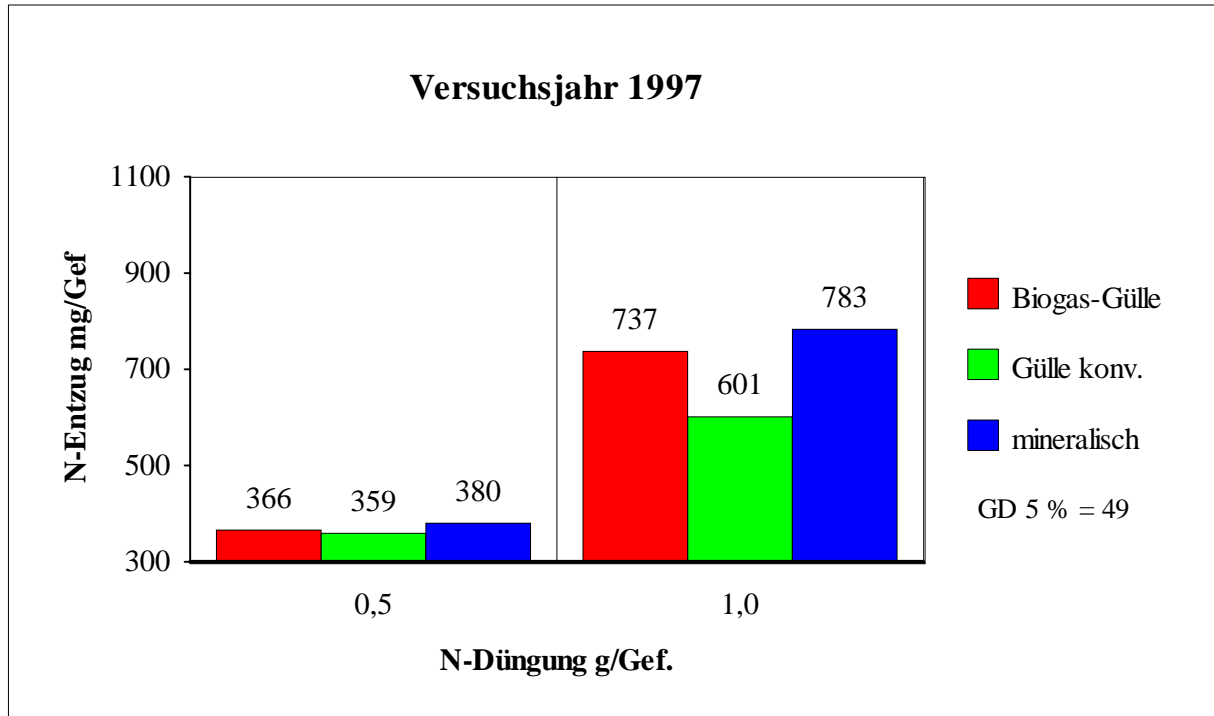
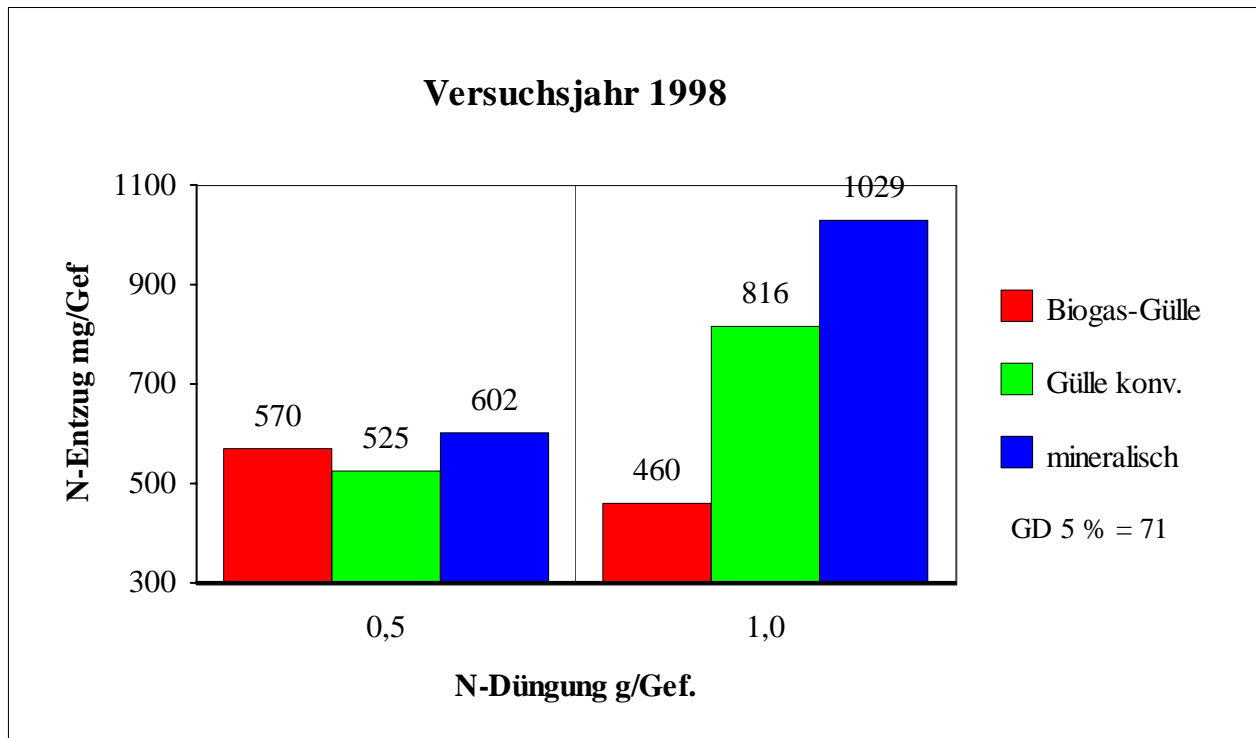


Abbildung 3.13 Einfluß der N-Düngung auf den N-Entzug (mg/Gef.) von Winterraps in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge (N auf NH₄-N-Basis)



4 Untersuchungen zum Futterraufnahmeverhalten bei Rindern bei Verwendung von Biogasgülle im Vergleich zu konventioneller Gülle

4.1 Ziel

Die Vergärung von Gülle ist mit einer Reihe von pflanzenbaulichen Vorteilen verbunden. Diese werden nachfolgend genannt:

Vorteile, die durch die Behandlung der Rohgülle entstehen

- ein Teil des organisch gebundenen Stickstoffes wird in die pflanzenverfügbare, mineralische Form umgewandelt, wodurch eine gezieltere Düngung möglich ist,
- Schleimstoffe in Rindergülle, Unkrautsamen und teilweise Krankheitserreger werden abgebaut bzw. abgetötet,
- das Verhältnis von C : N verändert sich positiv,
- die Biogasgülle wird homogener und dünnflüssiger, sie läßt sich somit auch besser ausbringen (geringere Verstopfung), das Eindringen in den Boden wird beschleunigt,
- bei der Kopfdüngung wird die Pflanzenverträglichkeit erhöht, Verätzungen an den Blättern treten nicht auf, weil die niedrigen Fettsäuren zum größten Teil durch die Vergärung abgebaut werden,
- eine wesentlich geruchsärmere Gülle entsteht,
- Nährstoffverluste können bei optimaler Ausbringung gesenkt werden.

Einige dieser Punkte wurden bereits oben untersucht. Zu klären bliebe noch, ob durch die dünnflüssigere, stärker mineralisierte Gülle positive Aspekte für die Weidehaltung und Frischfütterung von Rindern möglich sind. Erste Anhaltspunkte dazu sollte ein Futterraufnahmeversuch bei Weidehaltung erbringen.

Bei einem Weideversuch auf einer Fläche des Betriebes 6 wurde untersucht, ob sich das Futterraufnahmeverhalten der Tiere zwischen Weideparzellen ohne Düngung, mit mineralischer Düngung, mit konventioneller Güllendüngung und bei Düngung mit Biogasgülle unterscheidet.

Die Auswertung erfolgte durch Tierbeobachtungen, durch die Untersuchung von Schnittproben der verschiedenen Parzellen und durch die Bestimmung der Menge des auf der Weidefläche zurückgebliebenen Restbestandes an Futter.

Desweiteren wurden Untersuchungen der Futterproben vor und nach der Beweidung hinsichtlich Futterwert und Ertrag durchgeführt.

Ziel des Versuches ist es festzustellen, ob nach Düngung mit Biogasgülle eine schnellere Futtervorlage erfolgen kann als bei konventioneller Gülle und welche Auswirkungen die Düngung mit Biogasgülle auf Futterwert und Ertrag des Weidefutters hat.

4.2 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde auf einem 4 ha großen Teilstück des Schlages Fichtner des Betriebes 6 durchgeführt.

Innerhalb der Versuchsfläche wurden 4 Streifen abgesteckt, welche wie folgt gedüngt wurden:

Streifen 1	ohne Düngung
Streifen 2	mineralische N - Düngung (Kalkammonsalpeter 60 kg Rein-N/ha)
Streifen 3	konventionelle Gülle (22 m ³ /ha)
Streifen 4	Biogasgülle (18 m ³ /ha).

Über alle vier Düngestreifen erfolgte eine Vierteilung der Gesamtfläche für die Portionsweide. Jede Portionsweidefläche hatte eine Größe von 1 ha. Es erfolgte ein täglicher Umtrieb, so daß vier Beobachtungsreihen möglich waren.

Versuchsaufbau

	Streifen 1	Streifen 2	Streifen 3	Streifen 4
	ungedüngt	mineralisch	Rindergülle	Biogasgülle
Kontrollparzellen				
Weideparzellen				

Folgende Werte wurden über die Kontrollparzelle, die am gleichen Tag des Weideauftriebs geschnitten wurde, bestimmt:

- Ertrag und
- Futterwert

Nach der Beweidung wurde der Restaufwuchs der jeweiligen Kontrollparzelle abgemäht und

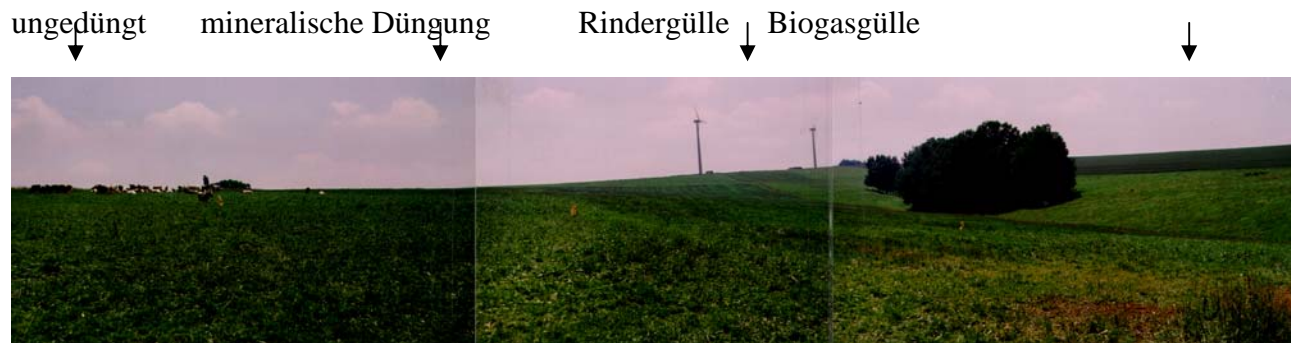
- Menge
- Futterwert und
- botanische Zusammensetzung bestimmt.

Von jeder Parzelle (insgesamt 24) wurde eine Futterprobe analysiert:

- Trockensubstanz
- Rohasche
- Rohprotein
- Nitrat
- Ca, P, Na, K, Mg ...

Ein bis zwei Tage nach dem Auftrieb der Tiere in die Querparzelle, werden die Tiere alle 2 Stunden ausgezählt, um festzustellen, von welcher Parzelle die Futteraufnahme am liebsten erfolgt.

Abbildung 4.1 Parzellenanordnung



Auf Grund organisatorischer und genehmigungstechnischer Probleme konnte die Versuchsdurchführung nicht wie geplant zum 1. Aufwuchs sondern erst zum 2. Aufwuchs stattfinden.

Die Düngung des 1. Aufwuchses erfolgte Anfang Februar mit 15 m³ Biogasgülle/ha und am 24.03.98 mit 100 kg Harnstoff/ha (40 kg Rein-N).

Die **Düngung** der Versuchsfläche zum 2. Aufwuchs wurde entsprechend des Versuchsaufbaus am **02.06.98** durchgeführt. Entsprechend der mineralischen N-Gabe werden die gleichen N-Mengen bei Rinder- und Biogasgülle ausgebracht.

Da bei der Ausbringung der Gülle ein Teil des Stickstoffes durch Verflüchtigung des Ammoniaks verlorenggeht, was unter anderem auch von Niederschlägen, Außentemperatur und Feuchtezustand des Bodens abhängt, wurde darauf geachtet, daß zur Ausbringung entsprechend günstige Witterungsbedingungen (bedecktes Wetter) vorherrschten (*Tabelle 4.1*).

Tabelle 4.1 Witterungsverlauf im Zeitraum zwischen Düngerausbringung und Beginn der Beweidung

Datum	Witterung
02./03.06.	bewölkt, dann Regen
04.06. - 06.06	sehr warm, ca.33°C
07.06.	Regen, 12 mm
09.06 - 10.06.	trocken, sonnig
11./12.06.	Regen, 8 bzw.42 mm
13./14.06.	heiter, kühl, 16 -20°C
15.06. - 17.06.	Regen, 6 -8 mm
18./19.06.	trocken, 22°C
20./21.06.	sonnig, 31°C
22.06.	Gewitter, Regen 4 mm
23.06.	bewölkt, trocken 20°C

4.3 Durchführung der Tierbeobachtungen



Es erfolgten zunächst zwei Beobachtungsreihen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen. Der **Auftrieb** der Herde (56 tragende Färsen, 1 Bulle) begann am **24.06.98** (22 Tage nach der Düngung). Im Abstand von ca. 1-2 Stunden in der Zeit zwischen 7 Uhr und 17 Uhr wurde ausgezählt, in welcher Düngungsparzelle sich die Tiere aufhielten und fraßen.

1. Beobachtungstag (24.06.98, Nieselregen 15-18°C)

Die überwiegende Anzahl der Tiere hielt sich den gesamten Tag über in der ungedüngten Parzelle auf. Stundenweise wurde die mineralisch gedüngte Parzelle von 7-25 Tieren zum Fressen bzw. zum Auslauf aufgesucht. Die beiden begüllten Flächen wurden von 1 bzw. 2 Tieren überlaufen, wobei nur eine selektive Futterraufnahme erfolgte.

Die stärkste Abweidung war am Ende des Tages entsprechend in der ungedüngten Parzelle zu verzeichnen. Eine optisch eindeutige "Freßgrenze" war entlang der mit konventioneller Gülle behandelten Fläche erkennbar. Die zwei Gülleflächen wurden von den Tieren nicht aufgesucht.

2. Beobachtungstag (25.06.98, 27°C, sonnig)

Die Beobachtungen des 1. Tages wiederholten sich im Wesentlichen. Es war weniger Bewegung in der Herde, so daß fast nur in der ungedüngten Parzelle gefressen wurde. Zwischen 2 und 16 Tieren suchten über den Tag verteilt auch die Mineraldüngerfläche auf.

Da bei Beibehaltung des Versuchsablaufes am nächsten Tag dasselbe Ergebnis wie an den beiden Vortagen abzusehen war, wurde ab dem dritten Weidetag eine Änderung der Versuchsdurchführung vorgenommen.

Es stand den Tieren ab 26.06.98 die gesamte Versuchsfläche zur Futteraufnahme zur Verfügung. Nach fünf Tagen wurde das Freßverhalten nach optischen Gesichtspunkten beurteilt sowie nochmals eine Beobachtungsreihe durchgeführt.

3. Beobachtungstag (30.06.98)

Nach dem viertägigem Verbleib der Herde auf der Gesamtfläche konnte eine gute Abweidung der ungedüngten und mineralisch gedüngten Parzellen festgestellt werden. Die Grenze zur mit konventioneller Gülle behandelten Fläche war deutlich erkennbar. Diese Parzelle war kaum berührt, es konnten weitestgehend nur Tritts Spuren festgestellt werden.

Die Biogasgüllefläche wurde gut beweidet, wobei das Futter nicht so tief abgefressen wurde wie auf den beiden ersten Parzellen. Der Unterschied in der Abweidung zwischen konventioneller- und Biogasgüllefläche war eindeutig.

Die Beobachtungen dieses Tages zeigten allerdings wiederum, daß sich die Tiere vorzugsweise in der ungedüngten bzw. mineralisch gedüngten Parzelle aufhielten.

Auf eine weitere Beobachtungsreihe wurde verzichtet, da keine Änderungen im Verhalten der Herde zu erwarten waren.

4.4 Wirkung der Biogasgülle auf die botanische Zusammensetzung und den Futterwert

Durch die Untersuchung der Schnittproben und der Ermittlung des Weiderestes von den unterschiedlichen Parzellen sollte vor allem der pflanzenbauliche Wert der verschiedenen Düngungsformen beurteilt werden.

Die Pflanzenverträglichkeit, besonders der unterschiedlichen Güllen, sollte anhand der botanischen Zusammensetzung der Proben beurteilt werden, die Düngungswirksamkeit über die Ermittlung des Ertrages.

Dazu erfolgte eine erste Probeentnahme zum Weideauftrieb, eine zweite vom Restaufwuchs nach sechs Weidetagen. Es wurden von jeder Parzelle je zwei repräsentative Probeschnitte von je 1 m² Größe entnommen.

Tabelle 4.2 Botanische Zusammensetzung der verschiedenen Parzellen

Variante	Hauptbestandbildner	weitere Arten
ungedüngt	Weidelgras 30%	Untergräser, Wiesenrispe Löwenzahn, andere Kräuter Weißklee
mineralisch gedüngt	Weidelgras 30 % Weißklee 20 %	Löwenzahn Kräuter
Rinder- gülle	Wiesenschwingel / Weidelgras 50%	Knautgras Weißklee Löwenzahn, Kräuter
Biogas- gülle	Weidelgras 50%	Weißklee Untergräser, rotes Straußgras

Aus *Tabelle 4.2* wird ersichtlich, daß die beiden Güllevarianten stärker grasbetont sind und der Kräuter-Leguminosenanteil zurückgedrängt wurde. Vor allem in der ungedüngten Variante war ein hoher Anteil Untergräser und Kräuter zu verzeichnen. Das wirkt sich auch auf den energetischen Futterwert je kg Trockenmasse aus, der bei den Güllevarianten höher ist (*Tabelle 4.3*).

Auf der Mineraldüngerparzelle wurde der höchste Frisch- und Trockenmasseertrag erzielt. Auch der Energieertrag war am höchsten. Hier war auch die beste Futteraufnahme zu verzeichnen (Abnahme des Frischmasseertrages nach 6 Weidetagen um 52 dt/ha).

Auf der ungedüngten- und Biogasgüllefläche war die Futteraufnahme fast gleich.

Auf der Rindergülleparzelle wurde nach 6 Weidetagen ein Ertragszuwachs von 43 dt/ha ermittelt. Das läßt darauf schließen, daß hier kaum gefressen wurde. Dieses Ergebnis unterstützt die Tierbeobachtungen.

Trockenmasse- und Energieerträge verhalten sich bei allen Varianten adäquat der Frischmasseerträge.

Auch die Zunahme der Aufwuchshöhe auf den Gülleparzellen nach 6 Weidetagen weist auf eine schlechtere Futteraufnahme hin. Im Gegensatz dazu war auf den beiden anderen Varianten eine Grünmasseabnahme zu verzeichnen, am höchsten auf der ungedüngten Fläche.

Tabelle 4.3 Weideversuch / Trockenmasse- und Energieerträge

Variante	Meßzeitpunkt	Wuchshöhe <i>cm</i>	BBCH Code	Frischmasse- ertrag <i>dt / ha</i>	Trockenmasse- ertrag <i>dt / ha</i>	Energie- ertrag <i>MJ NEL / ha</i>
ungedüngt	Weideaustrieb nach 6 Tagen	63	65	164	24,53	15328
		38		145	18,27	10688
mineralisch gedüngt	Weideaustrieb nach 6 Tagen	61	65	216	28,66	18343
		42		164	20,99	12175
Rinder- gülle	Weideaustrieb nach 6 Tagen	51	58	174	22,21	14768
		54		217	30,16	19154
Biogas- gülle	Weideaustrieb nach 6 Tagen	47	65	185	23,51	15517
		49		156	19,19	11609

In *Tabelle 4.4* sind Ergebnisse der Futterwertermittlung der Versuchspartellen zusammengestellt. Zu verzeichnen sind erhöhte Rohproteingehalte der Gülleflächen. Die Rohfaserwerte lassen auf eine höhere Nutzungselastizität des Futters auf den Güllevarianten schließen.

Mineralstoffgehalte des Futters:

Calcium: höchste Ca-Werte in der Rindergüllevariante
 Phosphor: keine Differenzierung erkennbar
 Natrium: höhere Werte in den Güllevarianten, am höchsten in der Rindergülleparzelle
 Magnesium: höhere Gehalte in den Güllevarianten
 Kalium: deutlich höhere Kaliumwerte in der Biogasgüllevariante

Tabelle 4.4 Weideversuch (Betrieb 6) / Futterwertdaten

Variante	Kontrolle	WH	BBCH	Ertrag	TM	RA	RP	RFa	Ca	P	Na	Mg	K	MJ NEL
				je m ²		g/kg TM								
ungedüngt	Mittelwert Probe 1	63	65	1,64	150	96	188	262	5,02	3,74	0,25	1,67	36,17	6,25
	Mittelwert nach 6 Tagen	38		1,45	126	89	166	288	4,66	3,52	0,27	1,52	31,43	5,85
mineralisch gedüngt	Mittelwert Probe 1	61	65	2,16	133	98	214	264	4,31	3,89	0,30	1,78	39,84	6,40
	Mittelwert nach 6 Tagen	42		1,64	128	94	171	291	4,17	3,39	0,27	1,49	33,75	5,80
Rindergülle	Mittelwert Probe 1	51	58	1,74	128	102	222	248	6,34	3,67	0,50	2,08	37,84	6,65
	Mittelwert nach 6 Tagen	54		2,17	139	99	188	263	6,04	3,27	0,36	1,77	37,40	6,35
Biogasgülle	Mittelwert Probe 1	47	65	1,85	127	103	226	253	4,92	3,84	0,39	2,05	43,11	6,60
	Mittelwert nach 6 Tagen	49		1,56	123	96	176	271	4,23	3,16	0,27	1,70	33,04	6,05

4.5 Ergebnisse

Das Ziel des Weideversuches, **Unterschiede in der Futterraufnahme** von mit konventioneller Gülle und Biogasgülle behandeltem Weidefutter festzustellen, wurde erreicht. Auf der mit Biogasgülle behandelten Fläche war eine gute Abweidung zu verzeichnen, wogegen die konventionelle Gülleparzelle weitestgehend unberührt blieb. Eine mögliche **schnellere Futtervorlage von Biogasgülleflächen** konnte also nachgewiesen werden.

Voraussetzung ist eine ordnungsgemäße und gewissenhafte Ausbringung der Gülle. Die Ausbringung der Gülle erfolgte im Versuch mit der Schleppschlauchtechnik, was hinsichtlich der Verringerung der Ammoniakverluste günstig zu beurteilen ist. Auf Grund der im Versuch aufgetretenen ungleichmäßigen Verteilung und Spurenbildung erscheint eine andere Ausbringungsart sinnvoller. Bei nachfolgender Beweidung kann ein Nacharbeiten der Flächen mit der Netzegge oder dem Striegel ca. 3 Tage nach der Ausbringung dazu beitragen, die Grünlandpflanzen von anhaftenden Reststoffen zu reinigen, da ansonsten die Tiere das Futter nicht gut annehmen. Auch eine entsprechend günstige Witterung ist hier- nicht nur hinsichtlich der Ammoniakverluste - hilfreich.

Es sind keine *wesentlichen* Unterschiede hinsichtlich botanischer Zusammensetzung, Futterwert und Ertrag zwischen den verschiedenen Düngungsvarianten bzw. den Güllearten bei *einmaliger* Ausbringung und nach *einem* Aufwuchs festzustellen.

Dabei ist es nicht grundsätzlich auszuschließen, daß die aufgetretenen Verschiebungen des Pflanzenbestandes zugunsten der Gräser auf die Güllendüngung zurückzuführen ist. Hier spielen aber auch andere Einflußfaktoren eine Rolle. Gleiches trifft für die Futterwertdaten zu. Hinsichtlich Masse- und Energieertrag schneidet die Mineraldüngerparzelle am besten ab. Neben anderen Einflußfaktoren könnten hier Ammoniakverluste bei der Gülleausbringung eine Rolle spielen.

Um die Wirksamkeit speziell der Biogasgülle auf Pflanzenbestand, Futterwert und Ertrag von Weideflächen nachweisen und interpretieren zu können, sind statistisch gesicherte Daten über mehrere Vegetationsperioden notwendig.

5. Lysimeteruntersuchungen mit Winterweizen zur Prüfung von vergorener und unvergorener Gülle auf Ertrag, N-Entzug und N-Auswaschung

5.1 Einleitung

Bereits durchgeführte 2-jährige Prüfungen der N-Wirkung unterschiedlicher Güllen im Gefäßversuch mit Winterraps in den Herbstmonaten lassen die Aussagen zu, dass Biogasgüllen im Vergleich zu konventionellen Güllen insgesamt die Trockenmassebildung und N-Verwertung günstiger beeinflussen. Die positive Wirkung von Biogasgülle lässt sich vor allem aus den höheren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteilen und der damit verbundenen schnelleren N-Aufnahme erklären.

Den Ergebnissen zufolge kann davon ausgegangen werden, dass Fruchtarten mit entsprechend hohem N-Bedarf im Herbst den besser verfügbaren Stickstoff aus Biogasgülle verlustärmer verwerten. Erfolgt die Ausbringung allerdings zu Fruchtarten mit geringem N-Bedarf, so ist mit einer höheren Auswaschung des Stickstoffs zu rechnen, da mehr löslicher und somit auswaschungsgefährdeter Stickstoff zur Verfügung steht. Um Aussagen zum Auswaschungsverhalten des Stickstoffs bei erhöhten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteilen in Biogasgülle zu erhalten, wurde ein Lysimeterversuch im Oktober 1998 mit Winterweizen angelegt.

5.2 Versuchsdurchführung

In Lysimeteruntersuchungen ist es möglich, sowohl die Nährstoffverwertung durch die Pflanzen als auch die Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser zu bestimmen. Im Oktober 1998 wurde am Standort Leipzig-Möckern ein Lysimeterversuch in 2-facher Wiederholung mit Winterweizen angelegt. Die Lysimeter sind mit 1m^3 Boden befüllt. An der Unterkante der mit Kies gefüllten Stauräume wird das Sickerwasser abgeleitet.

Der Versuch wurde wie folgt konzipiert:

Faktor A Boden

- a1 = Spröda (anlehmiger Sand)
- a2 = Methau (Löß-Lehm)
- a3 = Schafstädt (Löß-Schwarzerde)

Faktor B Gülle

- b1 = Biogasgülle
- b2 = konventionelle Gülle
- b3 = ohne

Die Bemessung der Güllegaben (80 kg N/ha) erfolgte auf der Grundlage des analysierten Gehaltes an Gesamtstickstoff (Nt).

Der Ammoniumstickstoff der eingesetzten Gülle wurde mit ^{15}N markiert. Durch den Einsatz von ^{15}N -Düngung ist es möglich, den Anteil des Düngemittel-N an den Gesamtauswaschungsverlusten und die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs durch die Pflanzen direkt zu bestimmen.

Die Ausbringung der Gülle erfolgte Ende September vor Aussaat des Winterweizens. Bei den Prüfgliedern ohne Gülle wurde ein P-K-Mg-Ausgleich in der Höhe der durch Gölledüngung applizierten Menge vorgenommen. Die Erfassung der Sickerwassermengen erfolgte im Zeitraum Oktober bis April monatlich. Ab Mai sind die Sickerwassermengen infolge des intensiven Pflanzenbewuchses sehr gering, so dass diese für die Diskussion der Ergebnisse

vernachlässigt werden können. Das Sickerwasser wurde monatlich quantitativ erfasst. Der Nitratgehalt wurde mit Hilfe der Destillation bestimmt. Die Niederschläge wurden im Untersuchungszeitraum über eine automatische Wetterstation (FMA) erfasst.

Mitte Juli erfolgte die Ernte des Winterweizens. Die Erträge für Korn und Stroh wurden getrennt erfasst und prüfgliedweise auf Gesamtstickstoff untersucht.

5.3 Ergebnisse

Sickerwasser und N-Auswaschung

Der Verlauf der Sickerung der 3 geprüften Böden (Abb. 5.1) lässt erkennen, dass beim anlehmgigen Sand schon im Oktober größere Sickerwassermengen anfallen, während auf den besseren Böden infolge des größeren Wasserspeichervermögens die Sickerung erst im November einsetzte. Nach dem Auffüllen der Bodenwasservorräte und dem Erreichen der Feldkapazität im Dezember bestehen zwischen den einzelnen Böden kaum noch Unterschiede in den Sickerwassermengen. Die Abbildung zeigt gute Zusammenhänge zwischen der Höhe der Niederschläge und dem Sickerwasseranfall. Die in Abbildung 2 dargestellten Gesamt-N-Austräge lassen erkennen, dass diese besonders auf der Schwarzerde infolge der höheren Boden-N-Vorräte und N-Mineralisation beträchtlich sind.

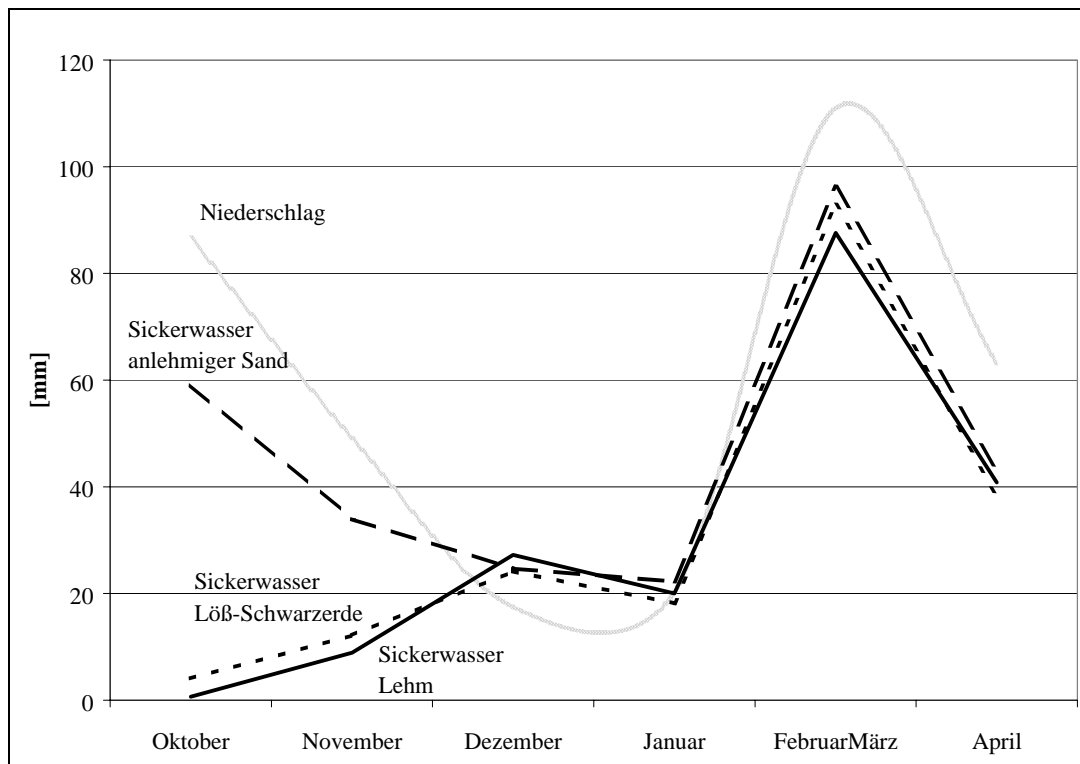


Abb. 5.1: Niederschläge und mittlere Sickerwassermengen im Zeitraum Oktober 1998 bis April 1999

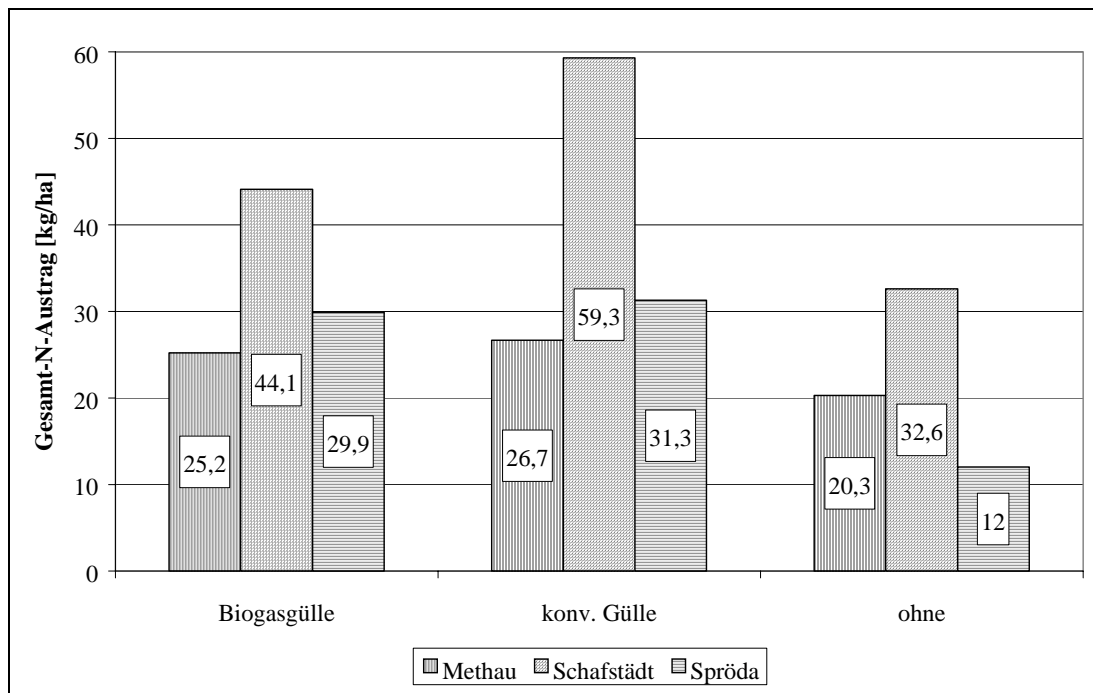


Abb. 5.2: Gesamt-N-Austrag [kg/ha] in Abhängigkeit von der Gülle-Düngung und Bodenart

Tabelle 5.1: Nitratauswaschung im Zeitraum Oktober bis April in Abhängigkeit von der Güllendüngung (Summe der Niederschläge von Oktober bis April = 347,7 mm)

Boden	Org. Düngung	N-Austrag in % der N-Zufuhr	Sickerwasser [mm]
Methau	Biogasgülle	7,9	177,5
Methau	konventionelle Gülle	11,7	202,6
Schafstädt	Biogasgülle	11,0	160,3
Schafstädt	konventionelle Gülle	14,9	193,9
Spröda	Biogasgülle	14,0	286,1
Spröda	konventionelle Gülle	23,3	277,1

Aus den Ergebnissen ist insgesamt abzuleiten, dass die N-Auswaschungsverluste bei Anwendung von Biogasgülle geringer sind als bei unvergorener Gülle. Demzufolge wirkt sich der höhere Ammonium-Anteil sogar verlustsenkend aus.

Die Untersuchungen mit ¹⁵N besagen, dass auf leichten Böden bis zu 23 % des mit Gülle verabreichten Stickstoffs während des Winterhalbjahres ausgetragen werden kann (Tab. 5.1). Dabei sind die N-Verluste der Biogasgülle niedriger als die der konventionellen.

Kornerträge und N-Entzüge

Aus Abbildung 5.3 wird ersichtlich, dass Biogasgülle in der Tendenz zu höheren Erträgen führte. Hinsichtlich der Wirkung der Gülle-Düngung auf die Gesamt-N-Entzüge lassen sich ähnliche Ergebnisse wie aus den Kornerträgen ableiten (Abb. 5.4).

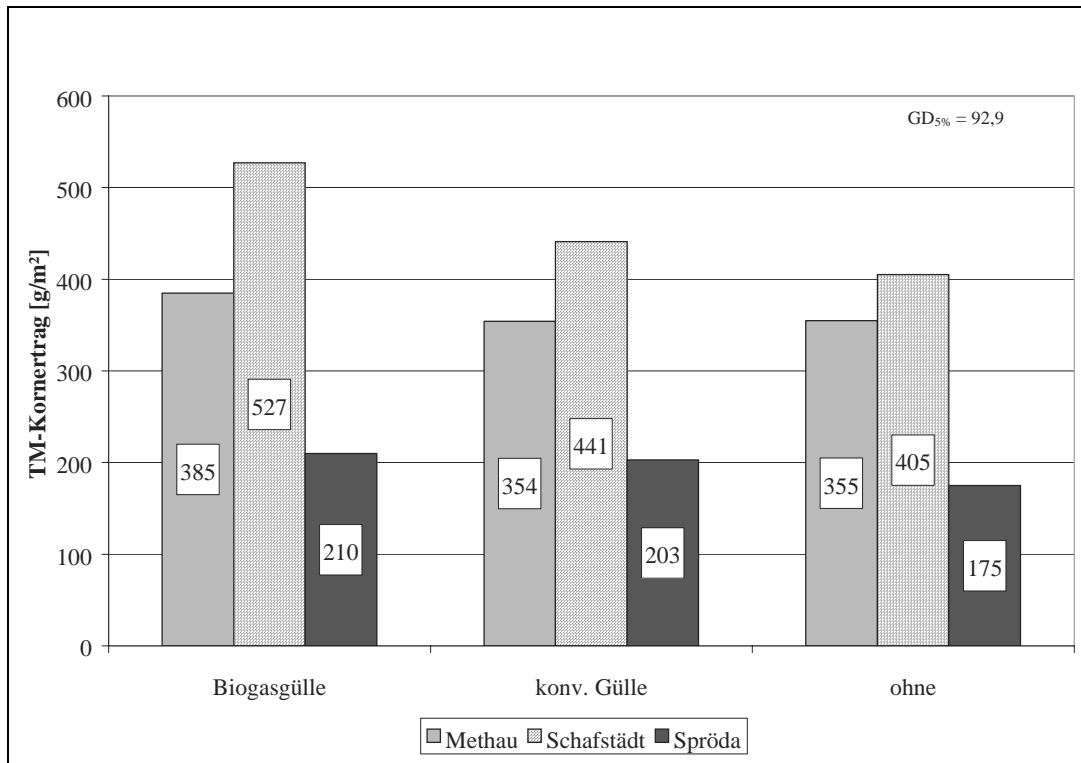


Abb. 5.3: Wirkung unterschiedlicher Gülle auf den Kornertrag von Winterweizen

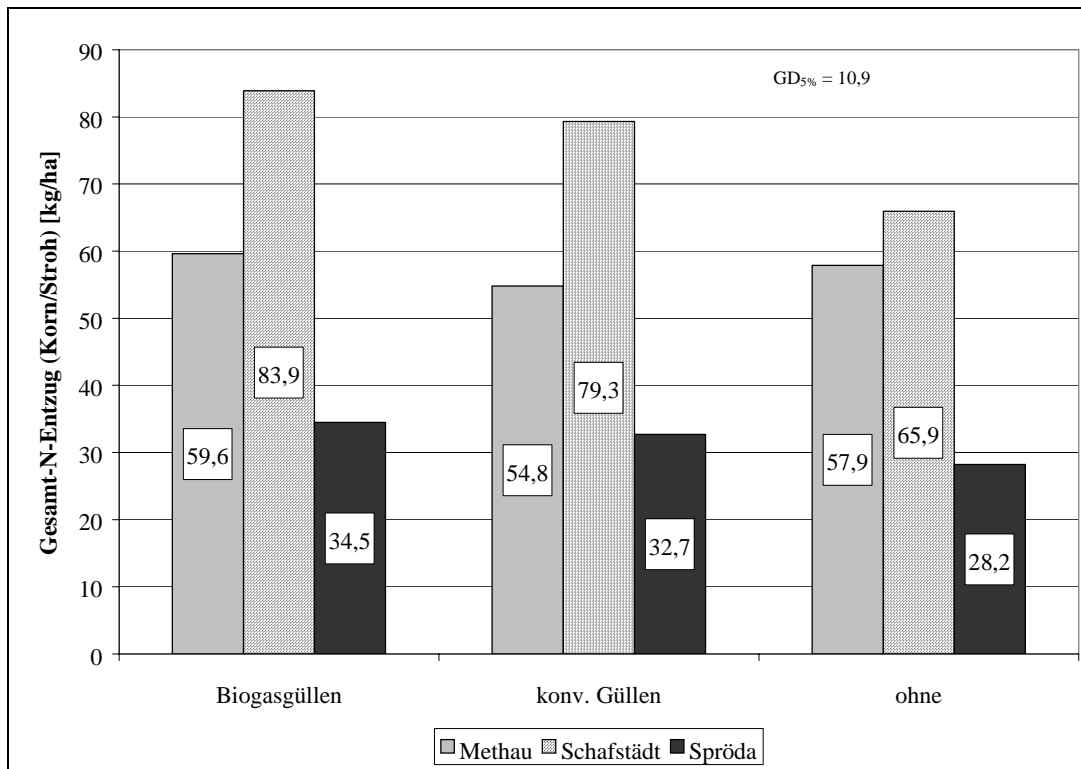


Abb. 5.4: Einfluss unterschiedlicher Güllen auf die Gesamt-N-Entzüge von Winterweizen

5.4 Schlussfolgerung

2-jährige Gefäßversuche mit Winterraps und dem vorgestellten Lysimeterversuch mit Winterweizen führten zu dem Ergebnis, dass sich Biogasgülle im Vergleich zur konventionellen Gülle durch eine schnellere und verlustärmere N-Wirkung auszeichnet. Um diesen Wirkungsvorteil optimal zu erschließen, ist vor allem im Herbst eine an dem jeweiligen N-Bedarf der angebauten Fruchtart orientierte N-Bemessung erforderlich.

6 Literaturverzeichnis

- AHLGRIMM, H.-J. (1995): Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimarelevanter Spurengase – Möglichkeiten zur Reduktion. Landbauforschung Völkenrode. Heft 4, 191-204
- ALBERT, E. (1997): Ordnungsgemäßer Einsatz von Düngern entsprechend der Düngeverordnung. Informationsschrift der LfL
- ASMUS, F. (1988): Eigenschaften und Düngewert von ausgefauter Gülle aus der Biogasgewinnung. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd. 33, S. 527-532
- BAADER, W.; BARDTKE, D.; GRABBE, K. (1977): Behandlung tierischer Exkreme. In: Strauch, D.; Baader, W.; Tietjen, C.: Abfälle aus der Tierhaltung. Eugen-Ulmer-Verlag, Stuttgart
- BARDTKE, D.; HOMANS, W.J. (1985): Bericht über den geruchsreduzierenden Effekt des Biogasverfahrens am Beispiel Schweinegülle der Universität Stuttgart.
- DE BODE ; M.J.C. (1990): Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmistlagersystemen. In: KTBL: Ammoniak in der Umwelt
- ENQUETE-KOMMISSION DES 12. DEUTSCHEN BUNDESTAGES „Schutz der Erdatmosphäre“ (1992): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Economica-Verlag, Bonn
- Fachverband Biogas e.V.; Bericht zum Forschungsprojekt „Untersuchung des Hygienisierungseffektes an einer Praxisbiogasanlage
- GODEHARDT (1989): Gewinnung, Aufbereitung und Nutzung von Biogas. Arbeitsbericht des ATV/VKS-Fachausschusses 3.8 Biogas in Korrespondenz Abwasser S. 84-95
- HÜTHER, L.; SCHUCHARDT, F. (1998): Wie lassen sich Schadgasemissionen bei der Lagerung von Gülle und Festmist verringern? KTBL Arbeitspapier 250, S. 177-181
- ISENSEE, E. (1984): Nebenwirkungen der Biogaserzeugung. Landtechnik 2, S. 77-79
- KALTSCHMIDT, M. (1993): Biogas – Potentiale und Kosten. KTBL Arbeitspapier 178
- KÖTTNER, M. (1995): Biogas – Nutzung und Potential in Europa. UTA 2
- KUHN, E. (1993): Biogasverfahren in Großbetrieben der Tierproduktion, KTBL-Arbeitspapier 193
- REIMANN W.; SCHÖNE, M. (1991): Fest-Flüssig-Trennung anaerob behandelter Gülle. Landtechnik 11-91, S. 527-530
- RÜCKERT, V. (1991): Mikrobiologische Untersuchung der aeroben und anaeroben Flüssigmistbehandlung. Dissertation der Universität Hohenheim
- RÜPRICH, W. (1980): Geruchsfreie Gülle. DLG Verlag Frankfurt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft FB LB; Komplexe Beratungsunterlage,
Biogaserzeugung und –verwertung“, 1999

SCHNELL, R. (1998): Energie aus Mist – Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Neue
Landwirtschaft 6, S. 72-78

Schulz H.; Biogaspraxis, Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, 1996

SCHULZ, H.; Mitterleitner, H. (1989): Erhebungen von Daten an Praxisbiogasanlagen.

UBA (1993): Berichte des Umweltbundesamtes – Emissionen der Treibhausgase
Distickstoffoxid und Methan in Deutschland. Erich Schmidt Verlag. Berlin

VAN VELSEN, A. F. M. (1981): Anaerobic digestion of piggery waste. Ph. D. Thesis of Agric.
University Wageningen.

WELLINGER, A. (1991): Biogas Handbuch. Verlag Wiz Aarau

WENZLAFF, R. (1981): Erfahrungen mit Biogas im praktischen Betrieb. KTBL-Schrift 266