



Ergänzende Kurzstudie zu dem Forschungsvorhaben: Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der tatsächlichen Restgasbildung von Gärrestlagern und dessen Validierung in der Praxis

**-Emissionen sep. fester Biogasgärreste-
(BE/14/16a)**



Projektbericht

Projektförderung: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien,
Energie und Technologie

Finanzierung: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien,
Energie und Technologie

Förderkennzeichen: BE/14/16a

Geschäftszeichen:

Projektlaufzeit: 01.01.2016 – 31.12.2016

Projektleiter: Dr. agr. Fabian Lichti

Projektbearbeiter: Dipl. Ing. (FH) Florian Ebertseder, M.Sc. (TUM)
Thomas Eckl (AVB3)

Herausgegeben im: Dezember 2016

**Ergänzende Kurzstudie zu dem For-
schungsvorhaben: Entwicklung einer
Methode zur Abschätzung der tatsäch-
lichen Restgasbildung von Gärrestla-
gern und dessen Validierung in der
Praxis**

**-Emissionen sep. fester Biogasgärreste-
(BE/14/16a)**

Florian Ebertseder

Fabian Lichti

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung	9
1 Einleitung	11
2 Stand des Wissens	14
3 Zielsetzung	15
4 Material und Methoden	16
4.1 Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern	16
4.1.1 Versuchsaufbau	16
4.1.2 Untersuchte Separationstechnik	17
4.2 Stickstoffverluste bei der Lagerung der festen Phase separierter Wirtschaftsdünger	18
4.3 Analysen und Auswertung	20
5 Ergebnisse und Diskussion	23
5.1 Massenbilanzen	23
5.2 Nährstoffverteilung und -abtrenngrade	23
5.3 Ergebnisse der Quantifizierung der Stickstoffverluste aus der Lagerung der festen Phase separierter Gärreste.....	25
6 Fazit	27
7 Ausblick	28
Literaturverzeichnis	29
Veröffentlichungen	31
Vorträge	32

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Darstellung der Großvieheinheiten je ha LF in den Landkreisen Deutschlands als Indikator der Intensivierung der Landwirtschaft (Bäurle, H. und Tamasy, Ch. 2012)	11
Abbildung 2: Ammoniak-Emissionsdichten aus der Landwirtschaft, Berechnung in Kilogramm je Hektar und Jahr (Rösemann et al. (2011 und 2013))	13
Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Massenbilanzierung sowie zur Erfassung der Verfahrenskennwerte bei der Wirtschaftsdüngeraufbereitung mit einem Pressschneckenseparator	16
Abbildung 4: Schematischer Aufbau des Pressschneckenseparators (Amon, 1995)	17
Abbildung 5: Versuchsvarianten und Aufbau zur Bewertung vier unterschiedliche Verfahren zur Lagerung von festen separierten Gärresten in jeweils vier Wiederholungen und drei Probenahmetiefen.	19
Abbildung 6: Verteilung ausgewählter Nährstoffe sowie Frisch- und Trockenmasse auf die Flüssig- bzw. Festfraktion nach Aufbereitung von Rindergülle aus drei Versuchen.....	24
Abbildung 7: Nährstoffverteilung in den Wirtschaftsdüngern vor und nach der Aufbereitung mit mobilen Pressschneckenseparatoren, wobei als Ausgangsprodukt „Rohgülle“, vier Rindergüllen und drei Biogasgärreste untersucht wurden (n = 7)	25
Abbildung 8: Reduktion der Stickstoffemissionen durch unterschiedliche Lagerungsverfahren von separierten Gärresten (feste Phase) nach 7, 14 und 47 Tagen	26
Abbildung 9: Ergebnisse zur Bewertung unterschiedlicher Lagerungsverfahren von separierten Gärresten (feste Phase) hinsichtlich der Reduktion von Stickstoffemissionen in drei Probenahmetiefen nach 7, 14 und 47 Tagen	27

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Zusammensetzung der untersuchten Gärreste bzw. Gülleprodukte	17
Tabelle 2: Übersicht der Methoden zur Analyse der Gärreste im Labor	21

Zusammenfassung

Der fortschreitende Strukturwandel in der Landwirtschaft hat teilweise zu erhöhten Vieh- und Biogasbesatzdichten geführt. Ein Lösungsansatz zur Reduktion erhöhter Nährstofffrachten kann die Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern sein. Dazu sind in der landwirtschaftlichen Praxis seit langem unterschiedliche marktgängige Separatoren etabliert. Um eine Bewertung vornehmen zu können, muss das ganze System über die einzelnen Verfahrensketten weg hinsichtlich der energetischen und ökologischen Effizienz geprüft werden. Dazu wurden Untersuchungen zu praxisüblichen Systemen der Wirtschaftdüngeraufbereitung sowie der Lagerung fest separierter Gärreste mit unterschiedlichen verlustmindernden Verfahren (Lagerung als offener Haufen, verdichtet, abgedeckt und in Kombination) durchgeführt.

Die Ergebnisse mit Pressschneckenseparatoren zeigen einen durchschnittlichen Masseabtrenngrad von 10 %, wobei 18 % N_{Ges} , 12 % $\text{NH}_4\text{-N}$ sowie 33 % P_2O_5 in der abgepressten festen Phase zu finden waren. Neben der Masseabtrenngrade, Nährstoffaufteilung und dem Energiebedarf wurde bereits in einem vorangegangenen Versuch das Methanpotential der abgetrennten Phasen ermittelt.

Die Versuche zur Bewertung unterschiedlicher Lagerungsverfahren von fest separiertem Gärrest hinsichtlich des Emissionspotentials zeigen, dass die Lagerung als loser Haufen zu erheblichen Stickstoffverlusten auch in tieferen Schichten führen kann und durch eine Abdeckung diese Verluste signifikant reduziert werden.

1 Einleitung

In Bayern sind nach Angaben des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2010 ca. 53'688'000 m³ flüssige Wirtschaftsdünger angefallen (Destatis, 2010). Bezogen auf die durchschnittlich im Betrieb anfallende Menge an Wirtschaftsdünger, liegt das bundesweite Mittel bei 1151 m³/Betrieb, wobei Bayern mit 825 m³/Betrieb deutlich darunter liegt (Destatis, 2010). In diesem Zusammenhang ist unter dem fortschreitenden Strukturwandel in der Landwirtschaft zu beachten, dass sich die daraus resultierenden, spezialisierten Betriebe teils regional konzentrieren und es so zu Veredelungs- und Futterbauzentren mit hohen Viehbesatzdichten kommt (Abbildung 1). Durch den Zubau an Biogasanlagen und den Einsatz nachwachsender Rohstoffe ist der Gesamtanfall an flüssigem Wirtschaftsdünger bis 2014 nochmals gestiegen. Weitere Aspekte die an Relevanz gewinnen, sind die gestiegenen rechtlichen Anforderungen an Höchstmengen, Lagerdauer und Ausbringungsbeschränkungen von Wirtschaftsdüngern. Sind die innerbetrieblichen Möglichkeiten, die Nährstoffe aus Wirtschaftsdüngern gleichmäßig und bedarfsgerecht zu verteilen ausgeschöpft, so bleibt nur noch der Export aus dem Betrieb. In Regionen mit niedrigem Wirtschaftsdüngeranfall ist dies weniger problematisch als in vieh- oder biogasstarken Regionen. Da die Transportwürdigkeit von Wirtschaftsdüngern maßgeblich von deren auf die Frischmasse bezogenen Nährstoffwert abhängt, ist die Transportentfernung oftmals stark begrenzt. Verfahren zur Anreicherung von Nährstoffen aus flüssigen Wirtschaftsdüngern können hierbei eine Möglichkeit bieten das Nährstoffpotential effektiver nutzen zu können. Wertgebend kann hierbei sowohl der Nährstoffgehalt, aber auch der energetische Gehalt des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers sein.

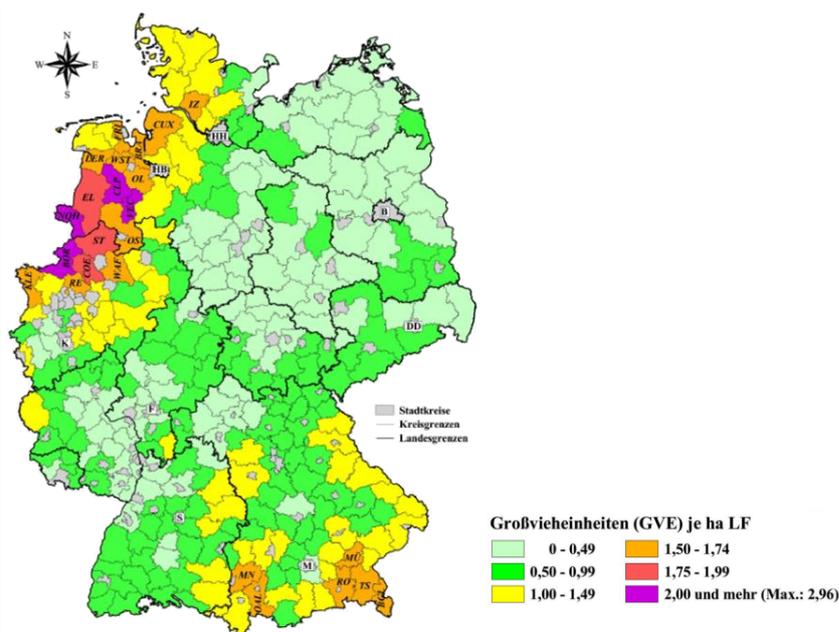


Abbildung 1: Darstellung der Großvieheinheiten je ha LF in den Landkreisen Deutschlands als Indikator der Intensivierung der Landwirtschaft (Bäurle, H. und Tamasy, Ch. 2012)

Vor diesem Hintergrund sowie der Tatsache, dass Genehmigungsbehörden das Restgaspotential nach VDI 3475 Blatt 4 zur Bewertung des Emissionspotentials aus den offenen Lägern von Biogasanlagen verwenden, stellt sich auch die Frage wie sensitiv dieser Parameter ist. Dazu wurde bereits in dem vorangegangenen Projekt zur Erfassung der Einflussparameter auf die Höhe des Restgaspotentials in einem darin integrierten Versuch die Reduktionsmöglichkeiten mechanischer Separationstechniken auf das Restgaspotential (Emissionspotential) untersucht (Ebertseder und Lichti, 2016). Dabei wurden zwei Gärreste von zwei unterschiedlichen Biogasanlagen vor und nach der mechanischen Aufbereitung mit zwei baugleichen Pressschneckenseparatoren untersucht. Erste Ergebnisse zur Reduktion des Restgaspotentials durch eine mechanische Separation der Gärreste, lassen eine positive jedoch anlagenspezifische Tendenz erkennen (Ebertseder und Lichti, 2016).

Zudem können durch die Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern deren Eigenschaften, wie z.B. das Infiltrationsvermögen, das NH_3 -Verlustrisiko aus der Lagerung sowie der Ausbringung oder die Ätzwirkung durch ein schnelleres Abfließen von Pflanzenoberflächen verändert werden.

Da die Landwirtschaft einer der Hauptverursacher von Ammoniak-Emissionen ist, gilt der Reduktion von NH_3 -Verlusten in der Landwirtschaft ein besonderes Augenmerk. Von 1990 bis 2014 sanken die Ammoniak-Emissionen im Gesamtinventar um 53 Tausend Tonnen (Tsd. t) oder 6,7 % (UBA 2015). Wobei sich die Emissionsreduktionen der letzten Jahrzehnte überwiegend auf den Abbau der Tierbestände in den neuen Bundesländern unmittelbar nach der Wiedervereinigung zurückführen lässt. Seit der Berichterstattung 2016 des Umweltbundesamtes (UBA), werden ebenfalls Ammoniak-Emissionen aus der Lagerung und Ausbringung von Gärresten der Biogasanlagenproduktion berücksichtigt. U.a. durch die gesteigerten Produktionsmengen aus Biogasanlagen und somit der Substratzunahme bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten, nehmen die Ammoniakverluste jedoch wieder deutlich zu (UBA, 2015). Dies führt zu den höchsten Emissionsmengen in den bereits erwähnten viehstarken Regionen, wodurch die Situation nochmals verschärft wird (Abbildung 2) (Flessa et al., 2014).

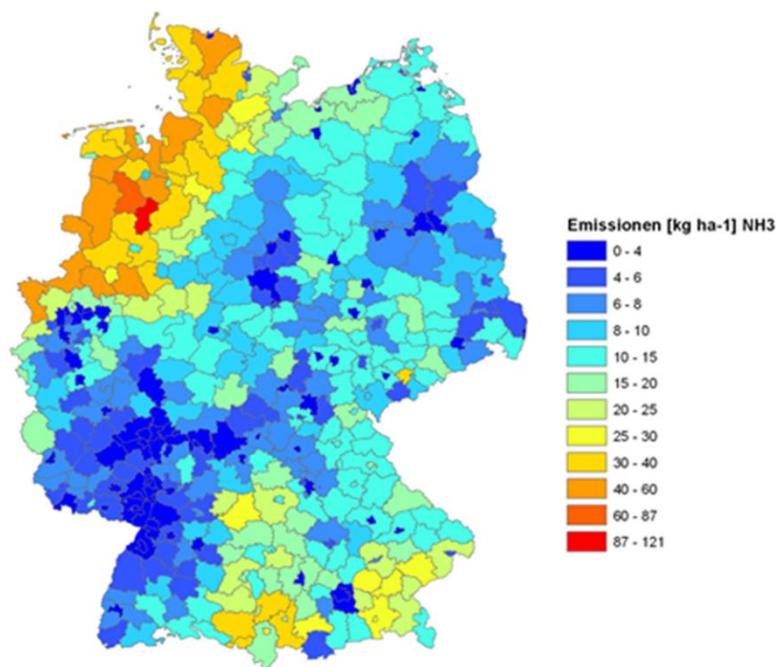


Abbildung 2: Ammoniak-Emissionsdichten aus der Landwirtschaft, Berechnung in Kilogramm je Hektar und Jahr (Rösemann et al. (2011 und 2013))

Des Weiteren hat sich Deutschland im Multikomponentenprotokoll der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (Economic Commission for Europe, UNECE) verpflichtet, dass die jährlichen Emissionen durch Einführung nationaler Höchstmengen begrenzt werden um die Ammoniak-Emissionen zu vermindern. Seit dem Jahr 2010 dürfen 550 Tsd. t Ammoniak nicht mehr überschritten werden. Weiterhin hat Deutschland im Zuge der Novellierung des Protokolls eine Reduktion der Ammoniak-Emissionen bis 2020 um 5 Prozent gegenüber dem Wert von 2005 zugesagt. Eine Emissionshöchstmenge von 550 Tausend Tonnen (Tsd. t) sieht auch die auf EU-Ebene gültige Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC-Richtlinie) vor. Im Jahr 2015 wurden die Ammoniak-Emissionen aus dem Düngereinsatz in Deutschland anhand überarbeiteter Methoden komplett neu berechnet. Im Ergebnis wird diese nationale Emissionshöchstmenge bisher jährlich massiv überschritten (UBA, 2015).

Durch etablierte Maßnahmen wie die emissionsarme Ausbringung von Gülle, die unmittelbare Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern in den Boden, die Abluftreinigung in Stallgebäuden und die Abdeckung von Güllelagern ließen sich die Ammoniak-Emissionen deutlich mindern (Flessa et al., 2014). Jedoch müssen diese Maßnahmen immer für das gesamte System der Umweltwirkungen bewertet werden.

2 Stand des Wissens

Diese physikalische Separation hat zur Folge, dass in der Frischmasse der abgetrennten festen Phase noch ein fast unverändert hoher Ammoniumstickstoffgehalt vorzufinden ist (Fuchs und Dorsg, 2010; Ebertseder et al., 2015b). Biogasgärreste weisen im Vergleich zu anderen Wirtschaftsdüngern einen etwas höheren Ammoniumanteil (60 – 70 %) auf. Erste Ergebnisse einer Vorstudie und anderer Arbeiten lassen erwarten, dass einerseits das Emissionspotential bei der flüssigen Phase durch die höhere Infiltrationsleistung reduziert wird. Andererseits steigt gerade bei der offenen Lagerung von fest separierten Biogasgärresten aufgrund des erhöhten pH-Wertes (bis 9,0) sowie den hohen Ammoniumgehalten bei hohen Temperaturen das Risiko von Ammoniakemissionen (Dewes, 1996; Ebertseder et al., 2015b; Amon et al., 2001; Amon, 1995; Döhler, 2006). Des Weiteren berichtet Dewes (1999), dass in einem Versuch im Labormaßstab durch die Lagerung von festem stapelbaren Stallmist bei veränderter Temperatur, die biologischen Bedingungen für ein geringeres Emissionsrisiko besser geschaffen wurden als bei flüssiger Gülle. Da jedoch in der Praxis Stallmist sowie feste separierte Gärreste als Haufen gelagert werden, entsteht somit eine größere aktive Ammoniak emittierende Oberfläche als in den Güllebehältern (Dewes, 1999).

Amon et al. (2001) berichten in ihrer Arbeit von höheren Ammoniakemissionen auf niedrigem Gesamtniveau durch die Lagerung von Kompost im Gegensatz zu anaerob gestapelten Festmist. Werden die Verluste jedoch auf die Basis der Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalente umgerechnet, so erweist sich die Lagerung des Komposts als deutlich klimaschädigender (Amon et al., 2001; Wulf et al., 2002). Dies führen die Autoren darauf zurück, dass mit steigendem Strohanteil (breites C/N-Verhältniss) sowie in Kombination mit der geringen Sauerstoffversorgung die Lachgas- und Methanemissionen (N₂O und CH₄) im Kompost anstiegen.

3 Zielsetzung

Ziel dieser Kurzstudie ist zum einen die Bewertung von mechanischen Separatoren hinsichtlich deren Effizienz sowohl bezogen auf die Nährstoffe als auch aus energetischer Betrachtungsweise. Dabei gilt es aus ökologischer wie auch ökonomischer Sicht, mögliche Verlustpfade (Emissionen aus der Lagerung) zu definieren sowie den energetischen Input-Bedarf zu ermitteln. Um eine Beratungsaussage für die Praxis treffen zu können müssen die Verluste quantifiziert sowie technische Möglichkeiten zur Minderung der Emissionen bei verschiedenen Lagerverfahren getestet werden.

4 Material und Methoden

4.1 Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern

In Hinblick auf eine Weiterentwicklung wurden marktgängige Separationsverfahren auf landwirtschaftlichen Betrieben sowie am Versuchsstandort mit Biogasanlage der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub untersucht und mit entsprechenden Messeinrichtungen der notwendige Energieeinsatz zur Aufbereitung der Inputmaterialien erfasst. Des Weiteren wurden Nährstoffuntersuchungen durchgeführt, um die Effizienz der Aufbereitung zu quantifizieren. Um den Gesamtanfall bzw. den Anfall der aufbereiteten Derivate zu erfassen, wurde eine Massen- und Nährstoffbilanz erstellt. Diese diente dazu, die komplexen Stoffströme der im landwirtschaftlichen Betrieb anfallenden bzw. aufbereiteten Wirtschaftsdünger nachvollziehen zu können.

4.1.1 Versuchsaufbau



Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Massenbilanzierung sowie zur Erfassung der Verfahrenskennwerte bei der Wirtschaftsdüngeraufbereitung mit einem Pressschneckenseparator

Der Messaufbau zur Massenbilanzierung sowie zur Erfassung der Nährstoffabtrenngrade gliederte sich in die Teilbereiche „Wirtschaftsdünger Roh“ (1) bestehend aus einem Güllefass mit Schlepperantrieb, der eigentlichen „Separations-Einheit“ (2), dem zweiten Güllefass zur Mengenerfassung der „flüssigen Phase“ (3) sowie einem Anhänger-Gespann zur Mengenerfassung der separiert „festen Phase“ (4) (Abbildung 3). Die Güllefässer sowie

der Anhänger wurden jeweils vor und nach der Separierung leer bzw. voll mit einer Fuhrwerks-Waage gewogen. Eine selbstansaugende Exzentrerschneckenpumpe der „Separations-Einheit“ (2) führte dem Pressschneckenseparator den Wirtschaftsdünger als Ausgangsmaterial zu. Dort erfolgten die Abtrennung der Feststoffe sowie der Abtransport dieser über ein Förderband. Des Weiteren förderte eine weitere Exzentrerschneckenpumpe die separiert „flüssige Phase“ in das zweite Güllefass. Der Pressschneckenseparator, die Pumpen sowie das Förderband wurden elektrisch betrieben. Die Stromaufnahme sowie die Lastspitzen wurden miterfasst. Der Abtrenngrad wurde hydraulisch über Gegendruckklappen und einem dazugehörigen Manometer geregelt.

Als Ausgangssubstrat zur mechanischen Aufbereitung kamen zum einen verschiedene Güllen sowie Biogasgärreste zum Einsatz (Tabelle 1).

Tabelle 1: Zusammensetzung der untersuchten Gärreste bzw. Gülleprodukte

Ausgangssubstrate	TS	Gesamt N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	pH
	[%]	[%TS]	[%TS]	[%TS]	—
Rindergülle Betrieb A	5,65	4,48	2,41	1,95	7,1
Rindergülle Betrieb B	4,73	4,79	2,68	1,84	7,2
Jungviehgülle C	7,98	3,72	2,01	1,50	7,6
Biogasgärrest C	9,41	5,13	2,97	2,44	7,8

4.1.2 Untersuchte Separationstechnik

Die Funktionsweise sowie der Aufbau der untersuchten Pressschneckenseparatoren wird mit Hilfe der schematischen Darstellung in Abbildung 4 erklärt.

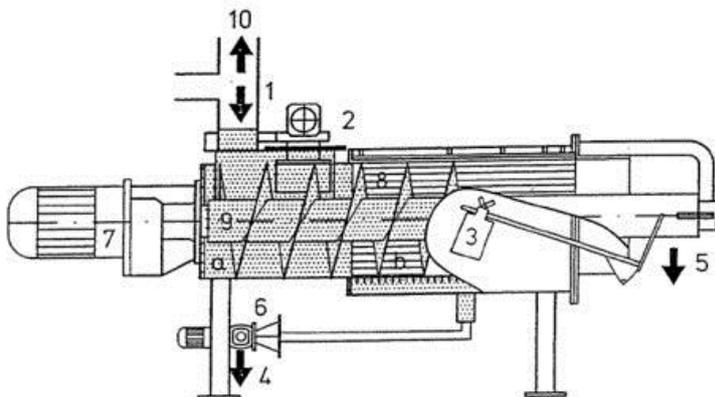


Abbildung 4: Schematischer Aufbau des Pressschneckenseparatorators (Amon, 1995)

In einem zylindrischen Siebkorb (8) rotiert eine Förderschnecke (9), die den Feststoff gegen die Widerstandsklappen fördert, deren Gegendruck manuell einstellbar ist (3 und 5) (Abbildung 4). Die freie Flüssigkeit (flüssige Phase) läuft durch das Sieb ab (4). Dieser Prozess wird durch die kontinuierliche Verdichtung verstärkt. Die „feste Phase“ wird am Ende der Schnecke nach Überwindung des Gegendrucks zwischen den Klappen auf ein 5 Meter langes Förderband ausgegeben (5). Zusätzlich verfügte die untersuchte Separations-Einheit über eine selbstansaugende Exzentrerschneckenpumpe zur Befüllung des Separators sowie eine frequenzgesteuerte Pumpe zur Entleerung des Zwischenlagerbehälters für die flüssige Phase.

4.2 Stickstoffverluste bei der Lagerung der festen Phase separierter Wirtschaftsdünger

In Anbetracht der qualitativen Bewertung verschiedener Separations- sowie Lagerungsverfahren hinsichtlich deren Effizienz und Emissionsminderung, wurden mehrere unterschiedliche Versuchsaufbauten gewählt. Zum einen wurden die Nährstoffgehalte und deren Verteilung in verschiedenen Wirtschaftsdüngern untersucht, um die Effizienz der Aufbereitung quantifizieren zu können. Des Weiteren wurden Versuche mit separiertem Gärrest (feste Phase) zur Bewertung verschiedener Lagerungsverfahren (als loser Haufen; mit Folie abgedeckt; nur verdichtet; verdichtet und abgedeckt) hinsichtlich deren emissionsmindernden Wirkung in vierfacher Wiederholung durchgeführt. Zusätzlich wurde jede Variante und Wiederholung in drei Tiefen (25, 50 und 75 cm vom Behälterboden) zu vier Zeitpunkten (zu Beginn sowie nach 7, 14 und 47 Tagen) beprobt, um die Stickstoffverluste räumlich sowie im zeitlichen Verlauf quantifizieren zu können (Abbildung 5).

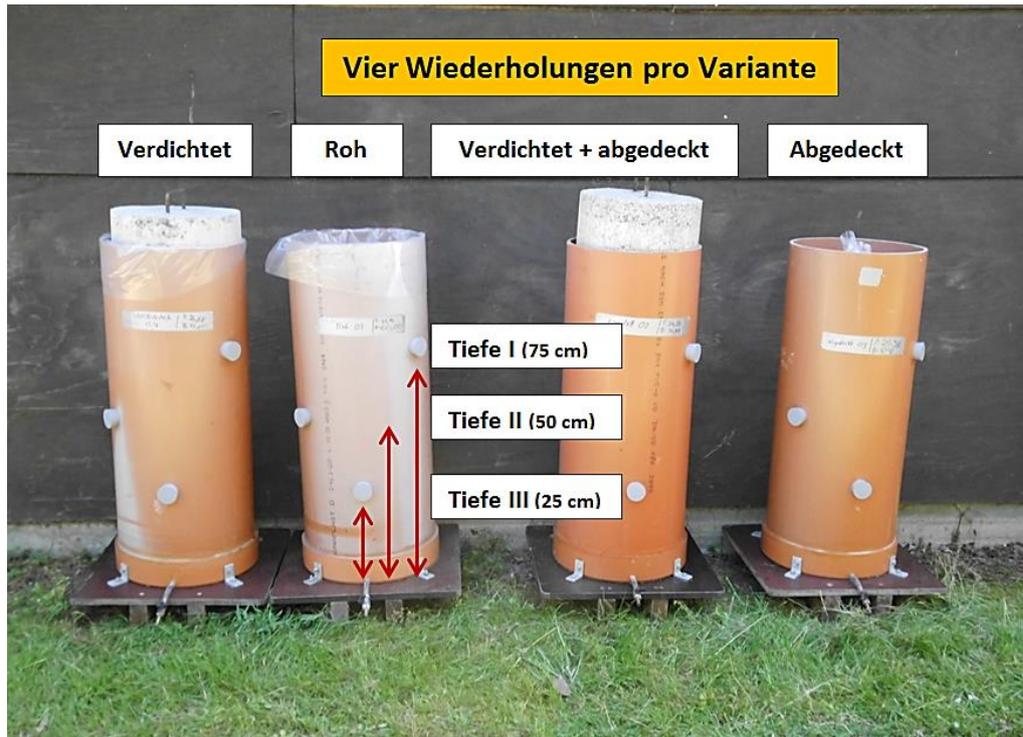


Abbildung 5: Versuchsvarianten und Aufbau zur Bewertung vier unterschiedliche Verfahren zur Lagerung von festen separierten Gärresten in jeweils vier Wiederholungen und drei Probenahmetiefen.

Zu Versuchsbeginn wurde das frisch separierte Probenmaterial (feste Phase) von der Pilotbiogasanlage geholt (Anlage 16 im LfL-Monitoring; Ebertseder et al., 2012 und Streicher et al., 2015). Dabei wurden zwei Big Packs gefüllt und bereits vor Ort sowie am Institut vor dem Versuchsansatz zwei repräsentative Stichproben (Mischproben) gezogen, um mögliche Verluste während des Transports erfassen zu können.

Der Versuchsansatz gestaltete sich folgendermaßen:

Zu Beginn wurden alle Behälter mit einer Folie aus Plastik ausgekleidet.

Die Versuchs-Silobehälter wurden per Hand mit fest separiertem Biogasgärrest befüllt und jeweils Leer sowie Brutto nach der Befüllung gewogen. Während der Befüllung eines jeden Behälters wurden Mischproben gezogen, die somit den Start-Nährstoffgehalt repräsentierten. Je nach Variante wurden die Gärreste während des Einfüllens bereits per Hand verdichtet oder anschließend mit der Folie verschlossen (abgedeckt).

Die Varianten mit Verdichtung erhielten Betongewichte oben auf den Behälterinhalt gestellt, wobei diese zur ersten Probenahme nach 7 Tagen entfernt wurden (Abbildung 5).

Die Versuchsvarianten sind wie folgt definiert:

Roh: Substrat ohne Verdichtung und Abdeckung in Behälter gefüllt

Abgedeckt: Substrat ohne Verdichtung, mit Folie abgedeckt und mit Kabelbinder verschlossen.

Verdichtet: Substrat ohne Abdeckung mit Gewichten verdichtet. Bereits während des Befüllens wurde immer wieder Zwischenverdichtet.

Verdichtet + abgedeckt: Substrat wurde mit Gewichten verdichtet, mit Folie abgedeckt und mit Kabelbinder verschlossen. Bereits während des Befüllens wurde immer wieder Zwischenverdichtet.

Jeder Behälter wurde in drei Tiefen (I, II, III) zu drei Terminen (nach 7, 14 und 47 Tagen) beprobt:

Tiefe I: oberste Probenahmestelle (75 cm von Bodenbasis)

Tiefe II: mittlere Probenahmestelle (50 cm von Bodenbasis)

Tiefe III: unterste Probenahmestelle (25 cm von Bodenbasis)

Bei jeder Probenahmestelle wurde die Innenfolie mit einem Messer aufgeschnitten und die Probe mit einem Spatel entnommen. Anschließend wurde der Hohlraum mit einer mit Papier gefüllten Plastiktüte ausgefüllt, um die Luft herauszudrücken. Am Ende wurde die Öffnung noch mit einem Gummistopfen verschlossen.

Abschließend wurde jede Probe in eine Tüte verpackt (Emissionsminderung durch fehlenden Kopfraum) und im Kühlschrank (4°C) gelagert.

4.3 Analysen und Auswertung

Die Ausgangsgülle, die Gärreste sowie die jeweiligen Separationsprodukte wurden auf folgende Parameter nasschemisch untersucht: pH-Wert, Trockensubstanz (TS), Org. Substanz, Gesamt Stickstoff (N_t), Ammoniumstickstoff (NH_4-N), Kalium (K_2O), Magnesium (MgO), Calcium (CaO), Phosphor (P_2O_5), Gesamt Schwefel (S) (VDLUFA, 1995; VDLUFA, 2000). Die bei der Analyse der Proben angewandten Methoden sind in Tabelle 2 aufgelistet und kurz beschrieben.

Tabelle 2: Übersicht der Methoden zur Analyse der Gärreste im Labor

Parameter	Methode	Enthalten in	Kurze Beschreibung
TS	DIN 12880	Handbuch der Boden-	Trocknung bei (105±2)°C
	DIN 38414-S2	untersuchung; DEWAS*	bis zur Gewichtskonstanz,
oTM	DIN 12879	Handbuch der Boden-	Veraschung der TS bei
	DIN 38414-S3	untersuchung; DEWAS	550°C, TS – Asche = oTM
pH	DIN 38404-C5	DEWAS	Elektrode
	DIN 12176		
TAC	DIN 38409 H7	DEWAS	Titration
FOS/TAC		Nordmann (1977)	Titration
FFS-GC	Hausmethode, verändert nach Methode der SCHMACK BIOGAS AG		Gas-Chromatograph
FFS	DIN 38414-19	DEWAS	Titration
NH ₄ ⁺	verändert nach DIN 38406 E5-2	DEWAS	Wasserdampfdestillation, anschließende Titration

*) Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung

Die Batch-Versuche zur Erfassung der Methanausbeuten wurden entsprechend der VDI-Richtlinie 4630 (Anonymus, 2006) mit einer automatischen Gaserfassung durch Miligas-counter und einer regelmäßigen Gasanalyse durchgeführt. Die Details des technischen Aufbaus und das Standardvorgehen am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der LfL sind bei Kaiser (2007) beschrieben. Im Unterschied zu dessen Beschreibung werden mittlerweile stündlich kumulierte Daten ausgewertet und prinzipiell nur drei Parallelen angesetzt.

Eine intensive Beprobung (ausreichend Stichproben) der gelagerten Materialien soll darüber hinaus eine Modellberechnung zum Verlustverhalten von Lagerstätten im Praxisumfang mit geringen Konfidenzintervallen ermöglichen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software SAS 9.3 (SAS Institute). Als Signifikanzniveau wurde $p \leq 5\%$ gewählt.

Die Daten wurden im ersten Schritt mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 5\%$ auf Normalverteilung getestet. Des Weiteren wurden diese auf Plausibilität überprüft, in dem der Rahmen der zu verwendenden Daten auf 5 % und 95 % der Streuung begrenzt wurden.

In einem weiteren Schritt wurden Varianzanalysen durchgeführt, um die Signifikanz der getesteten Parameter zu prüfen. Darüber hinaus wurde ein lineares Regressionsmodell (LR) errechnet, um die Möglichkeit zu testen, ein Modell zur Vorhersage der Höhe des Emissionspotential zu entwickeln. Die Parameter, Bestimmtheitsmaß (R^2) (Gleichung 1), der mittlere quadratische Fehler (RMSE) (Gleichung 2) und der Variationskoeffizient der RMSE (CVRMSE) (Gleichung 3) wurden für die Auswertung und zur Überprüfung der Aussagekraft sowie der Robustheit des Modells verwendet.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad \text{Gleichung 1}$$

y_i : gemessener Referenzwert

\hat{y}_i : vorhergesagter Wert

\bar{y}_i : Mittelwert der y-Werte

n: Anzahl der Beobachtungswerte

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{Gleichung 2}$$

y_i : gemessener Referenzwert

\hat{y}_i : vorhergesagter Wert

n: Anzahl der Beobachtungswerte

$$CVRMSE = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad \text{Gleichung 3}$$

\bar{y}_i : Mittelwert der y-Werte

5 Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend werden zuerst die Ergebnisse zur Massenbilanzierung sowie zur Nährstoffverteilung und -abtrenngrade dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse des Lagerungsversuchs in einem eignen Unterkapitel dargestellt und diskutiert.

Mit zunehmender Aufbereitungstiefe steigen sowohl die Anforderungen an den Betreiber hinsichtlich Logistik und Management, als auch der Energieaufwand, der Investitionsbedarf und die Kosten für den landwirtschaftlichen Betrieb.

5.1 Massenbilanzen

In den bisherigen Untersuchungen wurde ein durchschnittlicher Abtrennungsgrad der festen Phase von 10 Masse-% ermittelt (Abbildung 6), wie auch Brauckmann et al. (2009) für Biogasgärreste bestätigen. Van den Weghe et al. (2006) berichten von einer Abtrennung von 12 Masse-% bei vergorener Schweinegülle. Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch Döhler und Schliebner (2006) bei mit Rindergülle und Grassilage betriebenen Biogasanlagen. Dies verdeutlicht, dass der Abtrennungsgrad von Feststoffen unter Ceteris-paribus-Bedingungen nur sekundär von den Inputstoffen bestimmt wird.

Messungen zur energetischen Bewertung ergaben für die Stromaufnahme, dass diese je nach Vorpressdruck zwischen 0,3 – 1,2 kWh/m³ Rohgülle lag. Die Durchsatzleistung der geprüften Separatoren lag bei Rindergüllen zwischen 6,4 - 23,5 m³/h und bei Biogasgärresten zwischen 10,2 – 14,6 m³/h. Dies bestätigten auch die Arbeiten von Amon (1995) sowie Döhler und Schliebner (2006).

5.2 Nährstoffverteilung und -abtrenngrade

Die Ergebnisse aus den Versuchen mit verschiedenen Pressschneckenseparatoren zeigen eine Verteilung der Nährstoffe sowie die Abscheidegrade von aufbereiteten Wirtschaftsdüngern (Abbildung 6 und auch Abbildung 7), welche mit anderen Arbeiten vergleichbar sind (Fuchs et al, 2010; Bauer et al., 2009, Amon, 1995). Der TS-Gehalt der Ausgangsgülle von 4,7 % teilte sich nach der Separierung mit maximaler Gegendruckeinstellung in 24,2 % in der festen und 3,2 % in der flüssigen Phase auf. Bei einem Abtrenngrad von 10 % bezogen auf die Frischmasse, würden mit der festen Phase 18 % des anfallenden Gesamt-Stickstoffs, 12 % des Ammonium-Stickstoffs und vor allem Phosphor mit im Mittel 33 % den Betrieb verlassen (Abbildung 6).

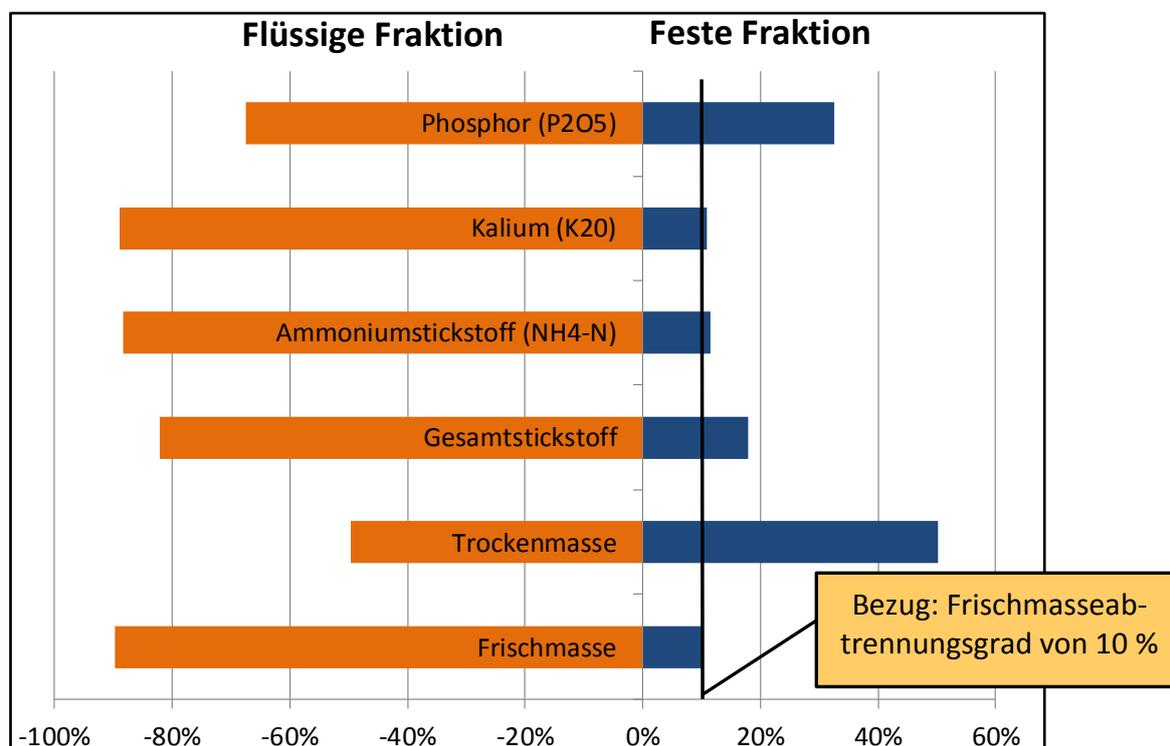


Abbildung 6: Verteilung ausgewählter Nährstoffe sowie Frisch- und Trockenmasse auf die Flüssig- bzw. Festfraktion nach Aufbereitung von Rindergülle aus drei Versuchen

Die Ergebnisse zur Nährstoffverteilung in den Wirtschaftsdüngern vor und nach der Aufbereitung mit verschiedenen mobilen Pressschneckenseparatoren erbrachten mittlere Massenabtrenngrade von 9 bis 12 % (Abbildung 7). Des Weiteren bestätigte sich, dass sich zum einen Phosphat (P₂O₅) vorwiegend in der festen Phase akkumuliert sowie Ammoniumstickstoff (NH₄-N) und Kalium (K₂O) nur geringfügig abtrennen lassen (Abbildung 7). Durch den pH-Wert-Anstieg bei gleichbleibend hohen NH₄-N-Gehalten in der festen Phase wird das Gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak hin zum Ammoniak verschoben und somit das Emissionsrisiko gerade für die Lagerung dieser separierten Phase erhöht.

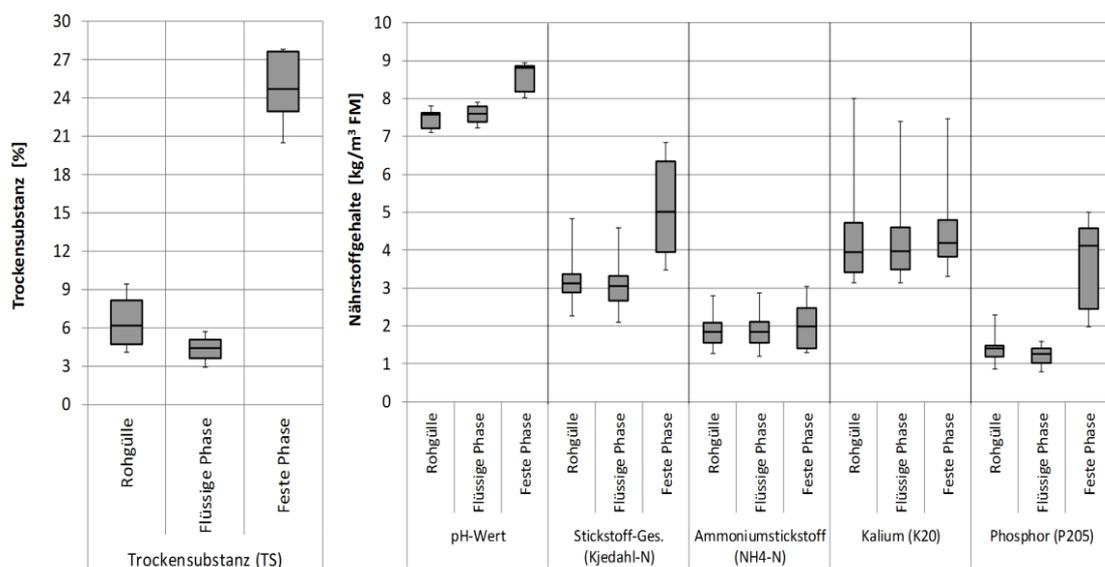


Abbildung 7: Nährstoffverteilung in den Wirtschaftsdüngern vor und nach der Aufbereitung mit mobilen Pressschneckenseparatoren, wobei als Ausgangsprodukt „Rohgülle“, vier Rindergüllen und drei Biogasgärreste untersucht wurden ($n = 7$)

5.3 Ergebnisse der Quantifizierung der Stickstoffverluste aus der Lagerung der festen Phase separierter Gärreste

Mit zunehmender Aufbereitungstiefe steigen sowohl die Anforderungen an den Betreiber hinsichtlich Logistik und Management, als auch der Energieaufwand, der Investitionsbedarf und die Kosten für den landwirtschaftlichen Betrieb.

In vorangegangenen Versuchen mit Pressschneckenseparatoren konnten die Verteilung der Nährstoffe sowie die Abscheidegrade aufbereiteter Wirtschaftsdünger erhoben werden (Ebertseder et al., 2015), wobei diese mit anderen Arbeiten vergleichbar sind (Fuchs et al., 2010). Die physikalische Separation hat zur Folge, dass in der Frischmasse der abgetrennten festen Phase noch ein fast unverändert hoher Ammoniumstickstoffgehalt zu finden ist.

Ergebnisse von Versuchen mit Biogasgärresten zeigen, dass diese im Vergleich zu anderen Wirtschaftsdüngern einen etwas höheren Ammoniumanteil (60 – 70 %) aufweisen, jedoch das Emissionspotential bei der flüssigen Phase durch die höhere Infiltrationsleistung reduziert wird. Andererseits steigen gerade bei der offenen Lagerung von fest separierten Biogasgärresten aufgrund des erhöhten pH-Wertes (bis 9,0) sowie den hohen Ammoniumgehalten bei hohen Temperaturen die Ammoniakemissionen erheblich an. Diese können jedoch mit geeigneter Lagerung (Verdichtung sowie Folienabdeckung) erheblich reduziert werden (Abbildung 8).

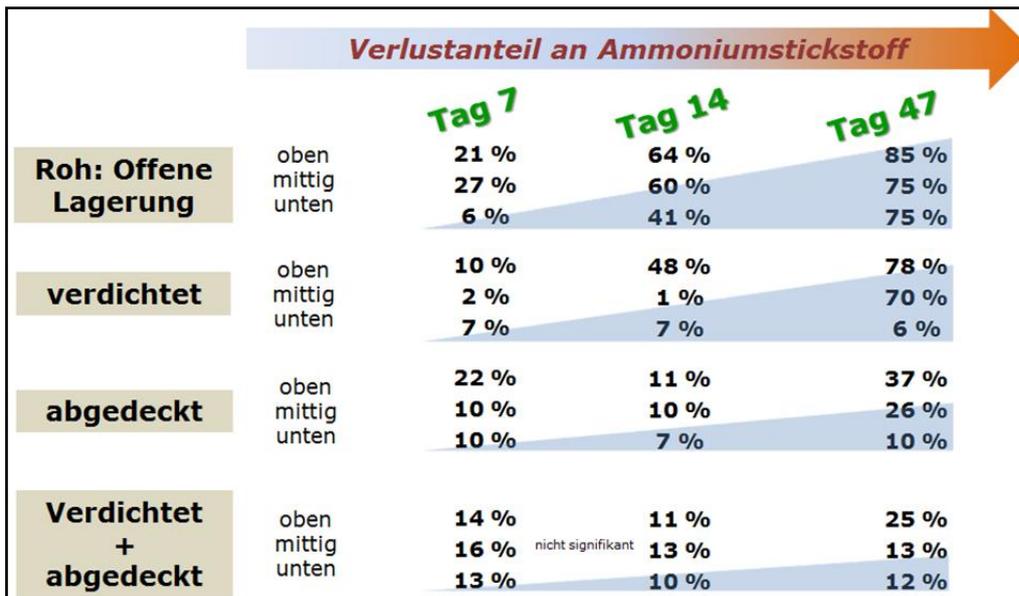


Abbildung 8: Reduktion der Stickstoffemissionen durch unterschiedliche Lagerungsverfahren von separierten Gärresten (feste Phase) nach 7, 14 und 47 Tagen

Die Ergebnisse der Untersuchung zur Quantifizierung der Stickstoffverluste aus der Lagerung der festen Phase separierter Gärreste zeigen für die Variante „Lagerung als loser Haufen“, dass diese bereits nach 14 Tagen zu rund 60 % (oberste Schicht) und nach 47 Tagen ca. 80% $\text{NH}_4\text{-N}$ Verlusten führte im Vergleich zu Beginn des Versuchs. Die Tiefe der gewählten Lagercontainer war hierbei unabhängig (Abbildung 8 und Abbildung 9).

Die Variante mit verdichteter Lagerung führte nach 14 Tagen zu 48 % (oberste Schicht) $\text{NH}_4\text{-N}$ Verluste und nach 47 Tagen wurden wieder Verluste von rund 75 % für die obersten beiden Probenahmestellen gemessen (Abbildung 8). Dabei ist jedoch schon der abnehmende Verlustgradient in die Tiefe zu erkennen, welcher sich für die Varianten mit „Abdeckung“ und „Verdichtung + Abdeckung“ verstärkt (Abbildung 9).

Die abgedeckte Lagerung reduzierte die $\text{NH}_4\text{-N}$ Verluste daher nach 14 Tagen auf 10 % (oberste Schicht) und nach 47 Tagen auf 37 %. Durch die Variante „verdichtet und abgedeckt“ konnte die größte Reduktion erreicht werden, wobei nach 14 Tagen 10 % (alle Schichten) und nach 47 Tagen je nach Tiefe zwischen 10 – 25 % $\text{NH}_4\text{-N}$ Verluste gemessen wurden (Abbildung 8 und Abbildung 9).

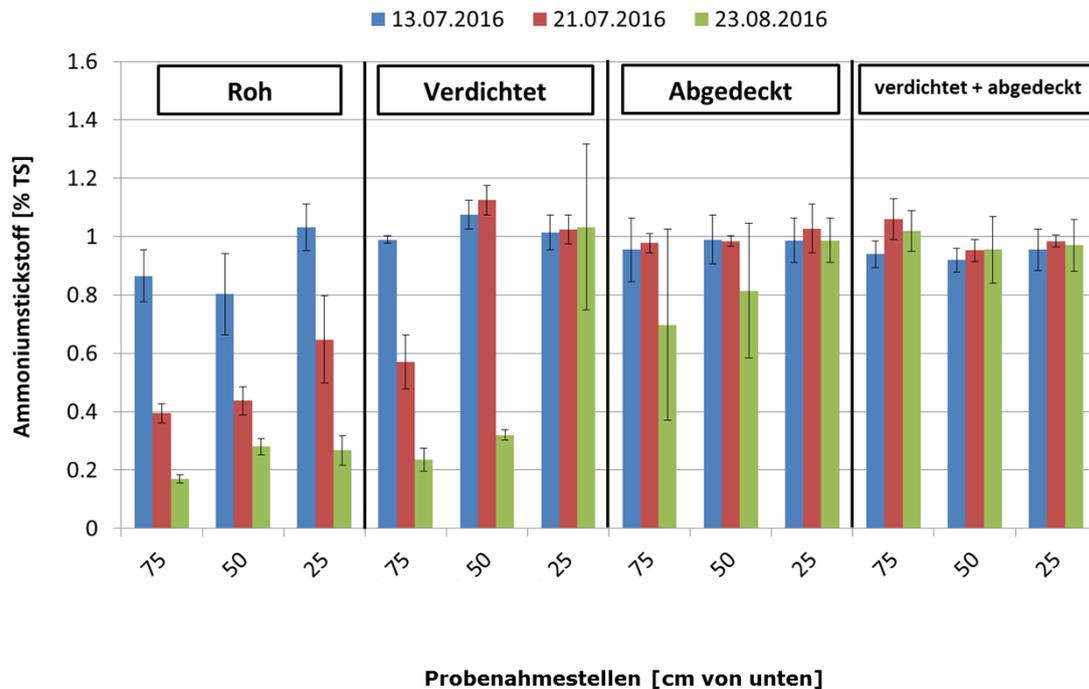


Abbildung 9: Ergebnisse zur Bewertung unterschiedlicher Lagerungsverfahren von separierten Gärresten (feste Phase) hinsichtlich der Reduktion von Stickstoffemissionen in drei Probenahmetiefen nach 7, 14 und 47 Tagen

6 Fazit

Vor der Entscheidung zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern muss das geeignete Verfahren nach einer gründlichen Zieldefinition ausgewählt werden (Lagerungsraumreduktion, Nährstoff- oder Energieexport, Einstreuprodukt oder Vollaufbereitung). Grundsätzlich ist Fest-Flüssig-Trennung die Basis eines jeden weiteren Aufbereitungsschrittes, welches auch Folgen für die nachgelagerte Mechanisierung hat. Die hier untersuchten mechanischen Separatoren sind dazu in der landwirtschaftlichen Praxis seit Langem bewährt. Die erzielten Massenabtrenngrade von rund 10 % können in manchen Fällen jedoch nur zu einer teilweisen Entlastung der Nährstoffsituation führen.

Hinsichtlich der Nährstoffverteilung nach der Separation kann festgestellt werden, dass auch in der festen Phase noch erhebliche Anteile an Ammoniumstickstoff zu finden sind und sich lediglich Phosphor vorwiegend in der festen Phase akkumuliert. Hier könnte eine Chance zur Entlastung von P-Bilanzen liegen. Während das Ammoniakemissionspotential bei der flüssigen Phase durch die höhere Infiltrationsleistung reduziert wird, ist das Verlustpotential bei der offenen Lagerung der festen Phase zum Teil erheblich. Gerade bei Biogasgärresten besteht aufgrund des höheren pH-Wertes sowie der Temperatur ein hohes Risiko.

Versuche mit separierten Gärresten (feste Phase) zeigen, dass die Lagerung als loser Haufen zu erheblichen Stickstoffverlusten auch in tieferen Lagerungsschichten führt und durch eine Abdeckung diese Verluste signifikant reduziert werden können. Problematisch ist jedoch, dass im Praxiseinsatz in vielen Fällen kontinuierlich separiert festes Material anfällt und somit eine dauerhafte Abdeckung nach einmaliger Separation bis zur Ausbringung nur in wenigen Fällen umgesetzt werden kann. Dennoch zeigen die Versuchsergebnisse, dass durch eine Minimierung der „offenen“ Lagerzeiten am Separator und diskontinuierliche Füllung eines abgedeckten Lagers Potential zur Reduktion von Ammoniakverlusten am Lager besteht. Des Weiteren wird deutlich, dass bereits eine Verdichtung des Materials nach jedem Separiervorgang zur Reduktion der Emissionen führt.

Die tatsächliche Höhe des Gesamtpotentials zur Reduktion von Ammoniakverlusten bei der Lagerung separiert fester Wirtschaftsdünger hängt jedoch von einer Vielzahl an Einflussfaktoren ab. Die durchgeführten Versuche dienen ausschließlich zur Beurteilung des Verlustreduktionspotentials und sollten nicht einer quantitativen Beurteilung unterzogen werden.

Generell muss das Verlustrisiko immer in Verbindung aller Einflussfaktoren auf die Umwelt bewertet werden. Dabei spielen auch Lachgas- und Methanemissionen eine Rolle, die mit sehr viel höheren Faktoren für das Treibhausgaspotential in die CO₂-Bilanz eingehen (N₂O: 265 und CH₄: 28), als wenn nur die Ammoniakemissionen der Systeme verglichen werden. Hierbei sind neben der Lagerung dann auch die Applikation der Dünger sowie die Effizienz des veränderten Düngesystems in die Bewertung miteinzubeziehen.

7 Ausblick

Wie bereits in vorangegangenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass bei der Lagerung von separiert festen Wirtschaftsdüngern erhebliche Ammoniakverluste auftreten können. Diese Verluste gilt es jedoch im Gesamtkontext der Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern zu bewerten und einzuordnen, da bspw. einer separiert festen Phase mit erhöhtem Verlustpotential ein flüssiger Wirtschaftsdünger mit einem höheren Nährstoffpotential gegenüber steht. Dennoch müssen Möglichkeiten zur Minimierung von Verlustpfaden genutzt werden. Gerade im Bereich der Wirtschaftdüngeraufbereitung haben sich hier in den vergangenen Jahren eine Vielzahl an technischen Lösungen zur Minderung der Ammoniakemissionen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und der Verringerung von Verlusten in Stall und Lager etabliert. Neben rein technischen Maßnahmen wie der Abdeckung von Güllelagern und geschlossenen Systemen oder der Anwendung emissionsarmer Applikationstechniken spielen auch Anpassungen in der Stallhaltung oder die Konditionierung von Wirtschaftsdüngern durch bspw. Zugabe von Säuren eine wichtige Rolle mit erheblichem Forschungsbedarf. Die große Herausforderung liegt allen voran in der Prüfung der Verträglichkeit ökologischer, ökonomischer aber auch sozialer Aspekte landtechnischer Problemlösungsansätze.

Literaturverzeichnis

AMON, T. (1995): Prozesssteuerung der Flüssigmistseparierung mit einem Pressschneckenseparator. Dissertation an der Technischen Universität München (TUM) 1995.

AMON, B., AMON, T., BOXBERGER, J., ALT, CH. (2001): Emission of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 60; P. 103-113.

ANONYMOS (2006): Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI Richtlinie 4630, Verein Deutscher Ingenieure.

BAUER, A., MAYR, H., HOPFNER-SIXT, K., AMON, T. (2009): Detailed monitoring of two biogas plants and mechanical solid-liquid separation of fermentation residues. *Journal of Biotechnology*, 142, 56-63.

BRAUCKMANN, H.-J., WARNECKE, S., BROLL, G. (2009): Nährstoffstromanalyse einer Biogasanlage mit Gärrestaufbereitung. In: FNR (Hrsg): Gärrestaufbereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf. Gülzower Fachgespräche, Band 30, Gülzow.

DEWES, T. (1996): Effect of pH, temperature, amount of litter and storage density on ammonia emission from stable manure. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 127, P. 501-509.

DEWES, T. (1999): Ammonia emissions during the initial phase of microbial degradation of soil and liquid cattle manure. *Bioresource Technology*, Vol. 70, P. 245-248.

DOSCH, P. (1996): Optimierung der Verwertung von Güllestickstoff durch Separiertechnik und kulturartenspezifische Applikationstechniken, Dissertation an der Technischen Universität München (TUM) 1996.

DÖHLER, H., SCHIEBNER, P. (2006): Verfahren und Wirtschaftlichkeit der Gärrestaufbereitung. *KTBL-Schrift 444*, 199-212.

EBERTSEDER F., KISSEL, R., RIVERA-GRACIA, E., LEHNER, A., BACHMAIER, H., EFFENBERGER, M. (2012): Monitoring und Dokumentation von Praxis-Biogasanlagen – Abschlussbericht. *LfL-Schriftenreihe /2012*, Freising, ISSN: 1611-4159

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., OCHSENBAUER, M., LICHTI, F. (2015a): Neue Techniken zur Wirtschaftsdüngeraufbereitung und -ausbringung. In: Tagungsband „Milchviehhaltung nachhaltig und zukunftsorientiert“ Landtechnisch-bauliche Jahrestagung am 26. November 2015 in Marktoberdorf des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. *LfL-Schriftenreihe*, ISSN 1611-4159, S. 91-101

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., LICHTI, F (2015b): Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern. Comparison of slurry separation techniques with partial relevance. In: Tagungsband „12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der land-wirtschaftlichen Nutztierhaltung 2015“ 8. – 10. September 2015 in Freising. Hrsg.:

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), ISBN 978-3-945088-09-8, S. 420-425

EBERTSEDER, F., LICHTI, F. (2016): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der tatsächlichen Restgasbildung von Gärrestlagern und dessen Validierung in der Praxis – Abschlussbericht. Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. StMELF und StMWI, München.

FLESSA, H., GREEF, J-M., HOFMEIER, M., DITTERT, K., RUSER, R., OSTERBURG, B., PODDEY, E., WULF, S., PACHOLSKI, A. (2014): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft – Empfehlung für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. Forschung Themenheft 1/2014. Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), Berlin.

FUCHS, W., DORSCH, B. (2010): Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten. Universität für Bodenkultur Wien (Hrsg.), 2010, Tulln.

KAISER, F.L. (2007): Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation an der Technischen Universität München (TUM) 2009.

RÖSEMANN, C., HAENEL, H-D., PODDEY, E., DÄMMGEN, U., DÖHLER, H., EURICH-MENDEN, B., LAUBACH, P., DIETERLE, M., OSTERBURG, B. (2011): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2011. Landbauforschung Sonderheft 342. vTI, Braunschweig.

https://www.ti.bund.de/media/publikationen/landbauforschung-sonderhefte/lbf_sh342.pdf

RÖSEMANN, C., HAENEL, H-D., DÄMMGEN, U., PODDEY, E., FREIBAUER A, WULF S, EURICH-MENDEN, B., DÖHLER, H., SCHREINER, C., BAUER, B., OSTERBURG, B. (2013): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2011. Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2013. Thünen Report 1. vTI, Braunschweig.

http://www.ti.bund.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_01.pdf

STREICHER, G., KLICHE, R., BUSCHMANN, A., POHL, A., EFFENBERGER, M. (2015): Monitoring von Biogasanlagen – Diversifizierung der Einsatzstoffe und Verfahrenstechnik -Abschlussbericht-. LfL-Schriftenreihe /2015, Freising.

UMWELTBUNDESAMT (2015): Reaktiver Stickstoff in Deutschland; Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen, UBA Dessau.

VDLUFA (1995): VDLUFA-Methodenbuch Band II.1: Die Untersuchung von Düngemitteln. 4. Auflage 1995, 6. Ergänzt.lief. 2014, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

VDLUFA (2000): VDLUFA-Methodenbuch Band II.2: Die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen. 1. Aufl. 2000, 2. Ergänzt.lief. 2014, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

WULF, S., MAETING, M., CLEMENS, J. (2002): Application Technique and Slurry Co-Fermentation Effects on Ammonia, Nitrous Oxide, and Emissions after Spreading: Greenhouse Gas Emissions. Journal of Environmental Quality, Vol. 31, P. 1795–1801.

Veröffentlichungen

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., OCHSENBAUER, M., LICHTI, F. (2015): Neue Techniken zur Wirtschaftsdüngeraufbereitung und -ausbringung. In: Tagungsband „Milchviehhaltung nachhaltig und zukunftsorientiert“ Landtechnisch-bauliche Jahrestagung am 26. November 2015 in Marktoberdorf des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. LfL-Schriftenreihe, ISSN 1611-4159, S. 91-101

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., LICHTI, F. (2015): Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern. Comparison of slurry separation techniques with partial relevance. In: Tagungsband „12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2015“ 8. – 10. September 2015 in Freising. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), ISBN 978-3-945088-09-8, S. 420-425

Vorträge

EBERTSEDER, F. (2016): Einfluss verschiedener Lagerverfahren separierter fester Biogasgärreste auf das Restgas- und Emissionspotential. Jour Fixe – Projektseminar StMELF am 02.12.2016 in München.

EBERTSEDER, F. (2016): Quo vadis?!? – Emissionsmindernde Wirtschaftsdüngerausbringung; ALB-Mitgliederversammlung am 28.11.2016 in Ergolding.

EBERTSEDER, F. (2016): Energie- und Nährstoffeffizienter Einsatz von Wirtschaftsdüngern; Vortrag am Betreiberseminar der Projektgruppe Biogas-Monitoring ILT 2c, am 25.02.2016 in Freising.

EBERTSEDER, F. (2016): Emissionsmindernde Wirtschaftsdüngerausbringung. Pflanzenbautag Süd des AELF Rosenheim am 10.02.2016 in Rohrdorf.

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., OCHSENBAUER, M., LICHTI, F. (2015): Neue Techniken zur Wirtschaftsdüngeraufbereitung und -ausbringung. In: Tagungsband „Milchviehhaltung nachhaltig und zukunftsorientiert“ Landtechnisch-bauliche Jahrestagung am 26. November 2015 in Marktoberdorf.

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., LICHTI, F. (2015): Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern. Alpenländisches Landtechnikertreffen am 06.10.2015 in Freising.

EBERTSEDER, F., SCHOBER, J., LICHTI, F. (2015): Vergleich praxisrelevanter Verfahren zur Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern. Comparison of slurry separation techniques with partial relevance. In: Tagungsband „12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2015“ 8. – 10. September 2015 in Freising.

EBERTSEDER, F. (2015): Effizienter und umweltschonender Einsatz von Wirtschaftsdüngern. „Verlustmindernde Wirtschaftsdüngerausbringung“ in Loh am 17.07.2015 Vilsbiburg.

EBERTSEDER, F. (2015): Ergebnisse des KTBL/VDLUFA Ringversuch Biogas 2014; Vortrag vom Projekttreffen der KTBL-Arbeitsgruppe „Ringversuch Biogaserträge“ in Fulda am 11.05.2015 in Freising.

EBERTSEDER, F. (2015): Umweltwirkungen organischer Düngemittel. Jahreshauptversammlung Ring-Junger-Landwirte-Rothalmünster am 23.02.2015 in Rothalmünster.

EBERTSEDER, F., NESER, S., LICHTI, F. (2015): Aufbereitung flüssiger Wirtschaftsdünger. Milchviehhaltertagung 2015, Oberhöcking, Landau an der Isar.

EBERTSEDER, F., NESER, S., LICHTI, F. (2014): Aufbereitung flüssiger Wirtschaftsdünger – Technikübersicht und Umweltwirkung. Gülletag 2014 am 17.12.2014, Langweid am Lech.

