



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nachhaltige
Agrarsysteme, Institut für Landtechnik

Einfluss von „Effektiven Mikroorganismen (EM)“ auf Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen und auf das Geruchsemissionspotential während der Lagerung von Schweineflüssigmist und -festmist

Endbericht
August 2005

Dr. Barbara Amon
Dr. Vitaliy Kryvoruchko
Dipl.-Ing. Martina Fröhlich
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Amon

Im Auftrag von Multikraft Produktions- und HandelsGmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Material und Methode	3
2.1	Versuchseinrichtung des ILT in Groß-Enzersdorf	3
2.2	Ablauf der Versuche	8
2.2.1	Schweineflüssigmist	8
2.2.2	Schweinefestmist.....	9
3	Ergebnisse	10
3.1	Flüssigmist.....	10
3.1.2	Gaskonzentrationen im Versuchsverlauf	10
3.1.2	Kumulierte Emissionen	13
3.2	Festmist.....	18
3.2.1.	Gaskonzentrationen im Versuchsverlauf	18
3.2.2	Kumulierte Emissionen	21
4	Schlussfolgerungen	26
	Literatur	27

1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung muss tiergerecht und umweltgerecht sein. Die Umweltgerechtigkeit kann nur bewertet werden, wenn Emissionen von umwelt- und klimarelevanten Gasen aus der gesamten Verfahrenskette vom Stall über die Wirtschaftsdüngerlagerung bis hin zur Wirtschaftsdüngerabfuhr berücksichtigt werden. Das Haltungssystem beeinflusst sowohl Emissionen aus dem Stall als auch Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung. Die Wirkung von „Effektiven Mikroorganismen (EM)“ auf Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine wurde bereits untersucht und dokumentiert (AMON ET AL. 2004a). Nun galt es in einem weiteren Schritt, den Einfluss von EM während der Lagerung von Schweineflüssigmist und –festmist zu quantifizieren.

Ein Schrägbodenstall kommt mit sehr geringen Mengen an Stroh aus, so dass er als Flüssigmistsystem betrieben werden kann. Es ist jedoch möglich, dass aus dem mit Stroh angereicherten Flüssigmist während der Lagerung höhere Emissionen freigesetzt werden. Dies galt es zu prüfen. Ein Schrägbodenstall kann aber auch – wenn eine höhere Einstreumenge verwendet wird – als Festmistsystem betrieben werden. Emissionen während der Festmistlagerung sind ebenfalls von großem Interesse. Sowohl bei Flüssigmist als auch bei Festmist sollte der Einfluss von EM-Zusatz am Beginn der Lagerung untersucht werden.

2 Material und Methode

2.1 Versuchseinrichtung des ILT in Groß-Enzersdorf

Das ILT hat im Rahmen des Projektes „Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures (Research project no. 1107, BMLF GZ 24.002/24-IIA1a/98 and extension GZ 24.002/33-IIA1a/00)“ an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf eine Versuchseinrichtung entwickelt, mit der Emissionen während der Lagerung von Fest- und Flüssigmist hochexakt bestimmt werden können (AMON ET AL. 2002).

Versuchsstandort Groß-Enzersdorf. Die Emissionsmessungen werden auf der Versuchsstation der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf, nahe Wien durchgeführt. In Groß-Enzersdorf ist pannonisches Klima vorherrschend. Im Sommer ist es meist heiß und trocken. Die Winter sind kalt mit nur wenig Schneefall. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von durchschnittlich 75 %. Im Mittel fallen 547 mm Regen pro m² und Jahr. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) stellte Stundenmittelwerte für die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, Niederschläge und den Luftdruck während der Messungen in Groß Enzersdorf zur Verfügung.

Flüssigmistlagerbehälter und Kompostierungsplatte. Im März 1999 wurden fünf Flüssigmistlagerbehälter und eine Kompostierungsplatte auf der Versuchsstation in Groß Enzersdorf errichtet. Die Flüssigmistlagerbehälter sind 2,5 m tief und haben einen Durchmesser von 2,5 m. Sie sind aus Beton und in die Erde versenkt. Neben den Flüssigmistlagerbehältern befindet sich eine 4 * 10 m große Kompostierungsplatte, auf der Festmist kompostiert werden kann. Abbildungen 1 und 2 zeigen schematisch den Aufbau der Versuchseinrichtung. Parallel zu den Flüssigmistlagerbehältern verläuft eine Holzschiene. Auf ihr kann der mobile Emissionsmessraum von einem Behälter zum nächsten verschoben werden.

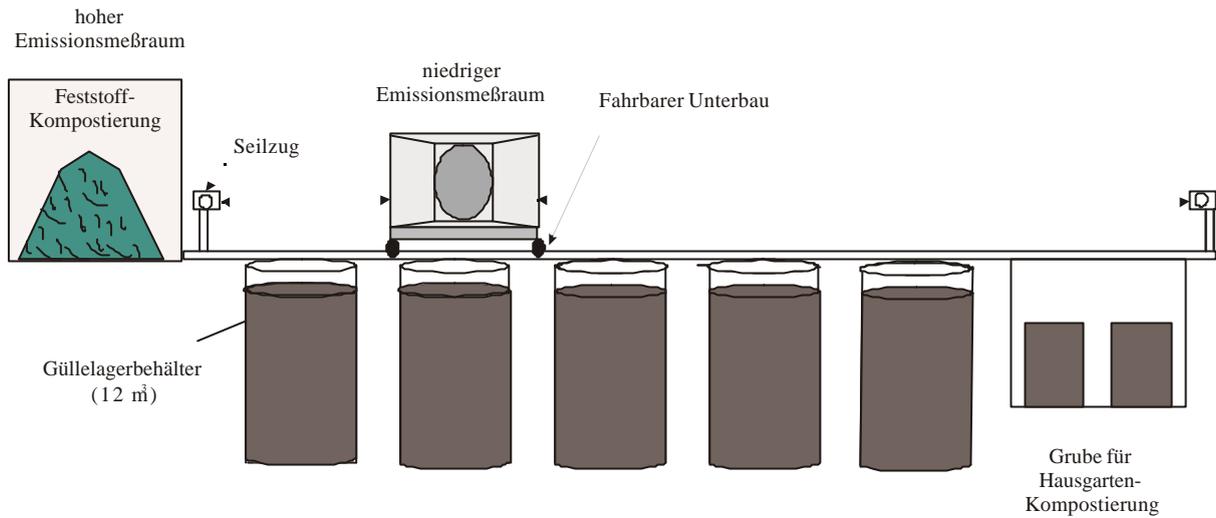


Abbildung 1. Versuchseinrichtung zum Quantifizieren von Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung (Seitenansicht) (nach AMON ET AL 2002)

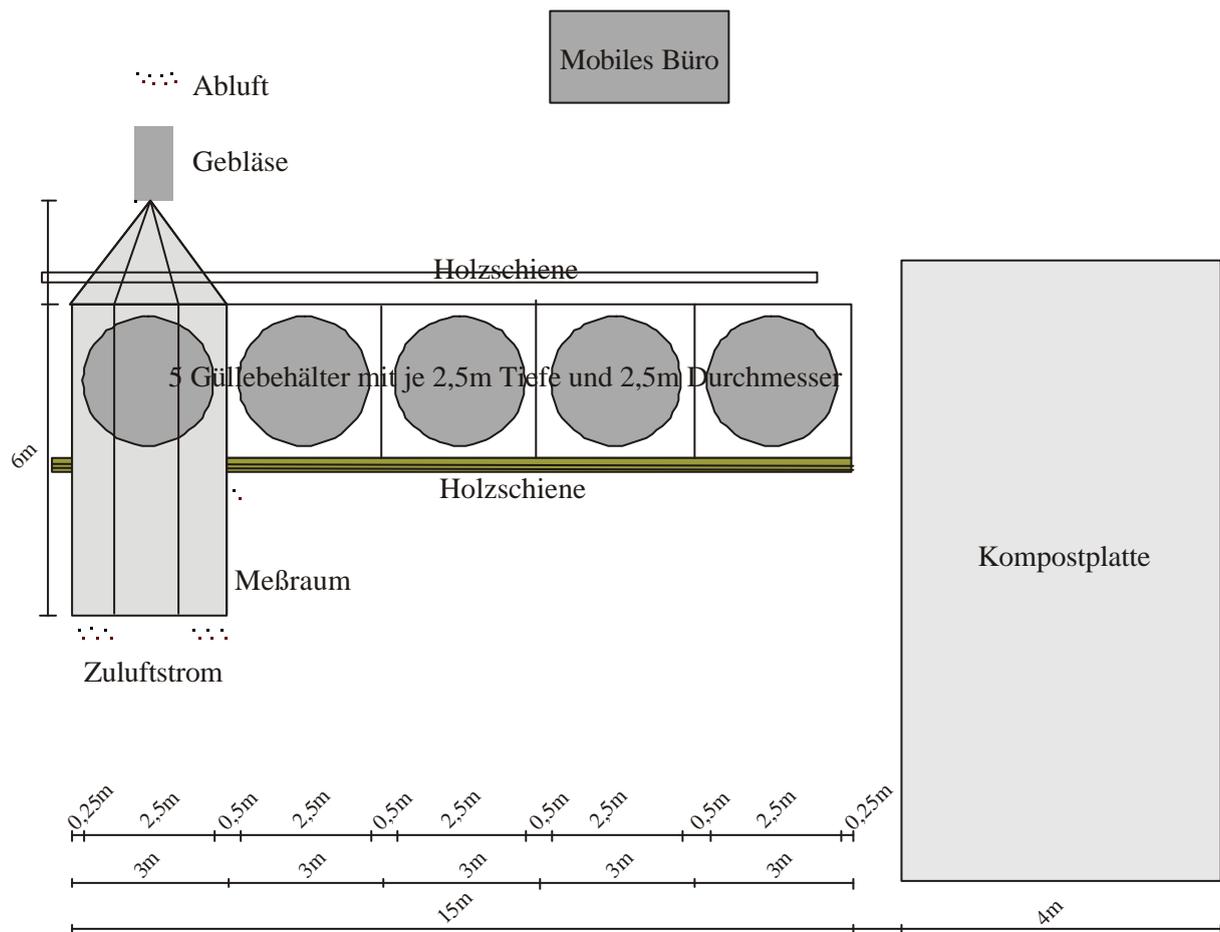


Abbildung 2. Versuchseinrichtung zum Quantifizieren von Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung (Draufsicht) (nach AMON ET AL 2002)

Jeder Lagerbehälter ist mit rund 10 m³ Flüssigmist gefüllt. NH₃-, N₂O-, CH₄- und TOC-Emissionen werden quantifiziert, in dem der mobile Emissionsmessraum auf einen Lagerbehälter gestellt wird und die frei werdenden Emissionen sammelt. Da die Emissionen eine ausgeprägte zeitliche Variabilität aufweisen, ist es notwendig, jede Variante möglichst oft zu messen und die Zeitabstände zwischen den Messintervallen gering zu halten. Jede Variante wird mindestens zweimal pro Woche gemessen. Während jeder Messung werden die Emissionen für jeweils 8 – 12 Stunden kontinuierlich erfasst. Die Versuchseinrichtung ermöglicht es, den mobilen Emissionsmessraum innerhalb weniger Minuten von einem Lagerbehälter auf den nächsten zu verschieben.

mobiler Emissionsmessraum. Um Emissionsraten quantifizieren zu können, müssen sowohl die Gaskonzentration als auch der Luftvolumenstrom bekannt sein. Die Emissionsrate errechnet sich wie folgt:

$$\text{Emissionsrate [g/h]} = \text{Gaskonzentration [g/m}^3\text{]} * \text{Volumenstrom [m}^3\text{/h]}$$

Um den Luftvolumenstrom über freibelüfteten Flächen, wie beispielsweise Flüssigmistlagerbehältern, bestimmen zu können, entwickelte das ILT einen großen mobilen Emissionsmessraum (Abb. 3). Er bedeckt eine Fläche von 27 m² und kann als 2 m hohe oder als 0,5 m hohe Variante errichtet werden. Zuluftseitig gelangt Frischluft in den Messraum hinein. Im Messraum reichert sich die Luft mit Gasen an und verlässt den Messraum abluftseitig wieder. Gaskonzentrationen werden abwechselnd in der Zuluft und in der Abluft gemessen. Die Differenz zwischen der Konzentration in Zu- und Abluft ist auf die Emissionen aus dem zu untersuchenden Material zurückzuführen. Der Luftvolumenstrom wird abluftseitig kontinuierlich mit einem Schleppflügelanemometer gemessen.

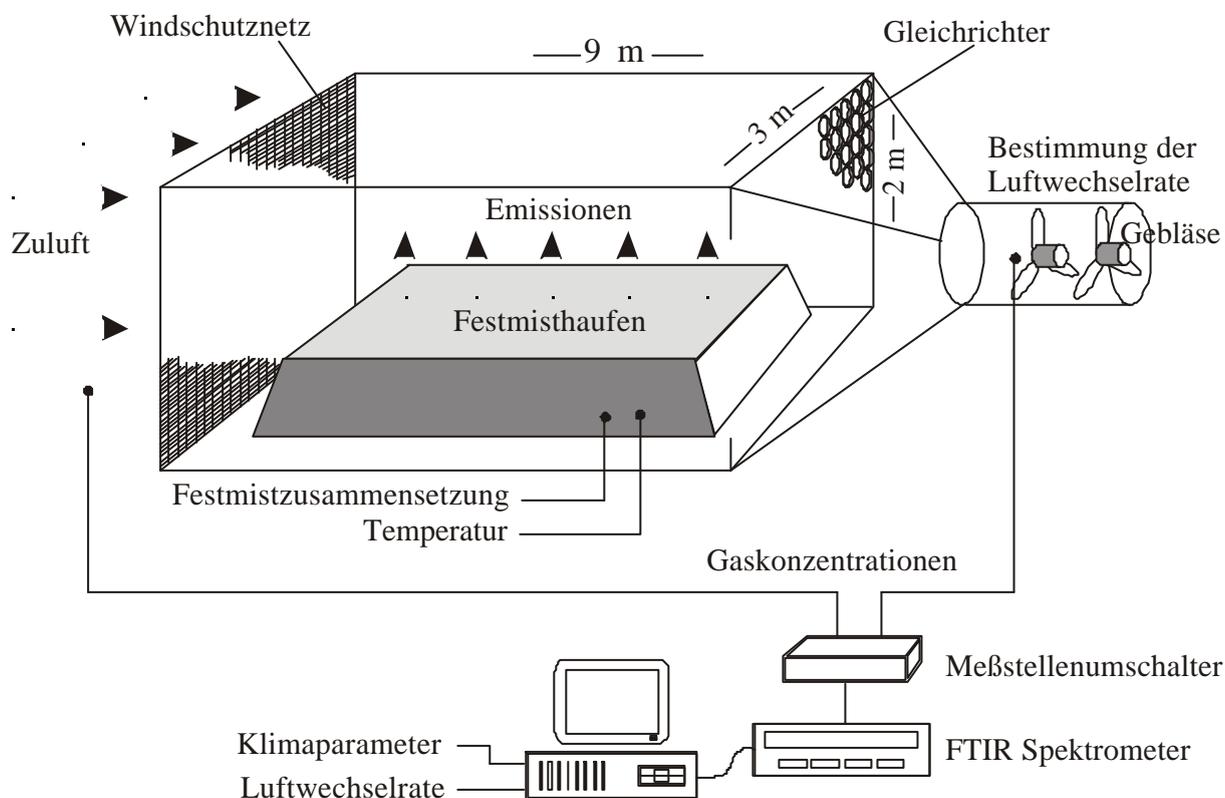


Abbildung 3. Großer mobiler Emissionsmessraum, der vom ILT entwickelt wurde (nach AMON ET AL 1996)

Der mobile Emissionsmessraum verändert die natürlichen Umgebungsbedingungen nicht, wenn er auf die emittierenden Substrate gestellt wird. Durch den kontinuierlichen Luftdurchfluss kommt es zu keiner Erwärmung im Inneren des Messraumes. Die Lufrate kann zwischen 1.000 und 11.000 m³/h variiert werden. Der Messraum ist aus lichtdurchlässigen Polycarbonatplatten gemacht. Ammoniakemissionen adsorbieren nicht an den Polycarbonatplatten.

Für Emissionsmessungen während der Flüssigmistlagerung wird der mobile Emissionsmessraum verwendet, der eine Höhe von 0,5 m hat. Die Luftgeschwindigkeit in diesem Messraum kann zwischen 0,18 und 2,04 m/s variiert werden.

FTIR Spektrometer. Die Umweltwirkung von Tierhaltungs- und Wirtschaftsdüngersystemen kann nur dann umfassend beurteilt werden, wenn ein ganzheitlicher Bewertungsansatz verfolgt wird. Das bedeutet, alle Gaskomponenten, die eine negative Umweltwirkung haben, müssen gleichzeitig betrachtet werden. Mit der FTIR Spektroskopie ist es möglich, die Konzentrationen von NH₃, N₂O und CH₄ hochexakt online unter Praxisbedingungen zu messen.

Die FTIR Spektroskopie beruht auf dem Prinzip, dass Gase infrarotes Licht in für sie charakteristischen Wellenlängenbereichen absorbieren. Dadurch kann die Konzentration mehrerer Gase mit nur einem Messgerät erfasst werden. Jedes IR Spektrum enthält die Information aller Gase, die Licht zwischen einer IR Quelle und einem Detektor absorbiert haben.

Abluft aus Stallungen und von Lagerstätten für Wirtschaftsdünger ist eine Mischung aus bis zu 200 verschiedenen Gaskomponenten. Um Querempfindlichkeiten zwischen diesen Gasen zu vermeiden, die zu falschen Konzentrationswerten führen würden, muss das verwendete FTIR Spektrometer ein hohes Auflösungsvermögen haben. Das in den Messungen verwendete Spektrometer hat ein Auflösungsvermögen von 0,25 cm⁻¹. Es wird mit einer Gaszelle betrieben, in der die Spiegel nach White angeordnet sind. Die optische Pfadlänge beträgt 8 m. Die Nachweisgrenze für NH₃ beträgt 0,5 ppm. Für CO₂, CH₄ und N₂O liegt sie im Bereich der atmosphärischen Hintergrundkonzentration dieser Gase oder darunter. Die mit dem FTIR Spektrometer aufgenommenen Absorptionsspektren werden mit multivariaten Kalibriermethoden ausgewertet.

Gesamtkohlenwasserstoffanalysator. Die organischen Spurengasemissionen (TOC = total organic carbons) wurden als Summenparameter mit einem Gesamtkohlenwasserstoffanalysator (J.U.M Engineering®, Gesamtkohlenwasserstoff Analysator Model VE 7) gemessen. Der Analysator hat einen Flammenionisationsdetektor, der flüchtige organische Substanzen im Messgas misst. Mittels einer Gaspumpe wird ständig Messgas in eine Brennkammer geführt, die eine sehr kleine Wasserstoffflamme beinhaltet. Die Brennkammer ist auf 190°C geheizt. Die Kohlenwasserstoffe werden aufgespalten und erzeugen elektrisch aktive Kohlenstoffionen, die in einem elektrischen Feld einen geringen Ionenstrom bewirken. Die Stärke des Ionenstroms ist abhängig von der Menge an oxidierten Kohlenwasserstoffen. Der im Detektor erzeugte Ionenstrom wird dem Elektrometerverstärker zugeführt und als Analogsignal in Form einer Gleichspannung am Gerätedisplay angezeigt sowie in einem Datalogger (Keithley® Integra Hochleistungs – DMM – Datenerfassungssystem Modell 2700 mit 20 Kanal Multiplexer Model 7700) alle 5 Minuten abgespeichert. Der TOC-Analysator wird jeden zweiten Tag mit einem Nullgas (N₂) und einem Prüfgas (CH₄) kalibriert. Mit der Kalibrierung kann die ausgegebene Gleichspannung direkt in eine Konzentrationsangabe in ppm umgerechnet werden.

Der TOC-Gehalt in der Abluft kann als Indikator für das Potential von Geruchsemissionen herangezogen werden. Je höher der TOC-Gehalt, desto höher ist das Potential für Geruchsemissionen.

Computerprogramm für die Datenaufnahme. Ein Computerprogramm ermöglicht die kontinuierliche Messung der Gaskonzentrationen. Das Programm kontrolliert einen Messstellenumschalter und das FTIR Spektrometer. Es startet mit der Analyse der Gaskonzentrationen in der Zuluft. Zuluft wird mit einem Durchsatz von rund 1 l/min durch die Gaszelle des FTIR Spektrometers und des TOC-Analysators gesaugt. Für die Gaskonzentrationsanalyse wird drei Mal die Zuluft gemessen. Anschließend öffnet das Computerprogramm das Abluftventil. Die Gaszelle des FTIR und der TOC-Analysator werden 10 Minuten lang mit Abluft gespült, dann wird wieder dreimal die Gaskonzentration bestimmt. Nun startet das Programm wieder die Zufuhr von Zuluft. Dieser Zyklus wird kontinuierlich wiederholt, so lange, bis das Programm von Hand gestoppt wird.

Berechnung der Emissionsrate. Die Emissionsrate (g/h) wird berechnet durch Multiplikation von Gaskonzentration (g/m^3) und Luftwechselrate, die am mobilen Emissionsmessraum gemessen wird (g/m^3). Das FTIR Spektrometer gibt die Gaskonzentrationen in ppm an. Diese Einheit muss in g/m^3 umgerechnet werden. Dazu muss das molare Volumen der Gase bekannt sein, das u.a. vom Luftdruck und von der Temperatur abhängig ist. Die Temperatur in den Gasleitungen und in der Gaszelle wurde konstant auf 45 °C gehalten. Der Luftdruck wurde stündlich gemessen und zur Berechnung der Gaskonzentrationen herangezogen.

Gaskonzentrationen wurden abwechselnd in der Zuluft und in der Abluft gemessen. Die Emissionsrate ergibt sich aus der Differenz zwischen Zuluft- und Abluftkonzentration multipliziert mit der Luftwechselrate.

Messparameter. Im Rahmen der Versuche wurden NH_3 -, N_2O -, CH_4 - und TOC-Emissionen gemessen. Die Analyse der Gaskonzentrationen erfolgte mit einem hochauflösenden FTIR Spektrometer. TOC-Konzentrationen wurden mit einem Flammenionisationsdetektor gemessen.

Die Flüssigmisttemperatur wurde in jedem Behälter auf zwei Höhen kontinuierlich gemessen. Die Probenahme für die Flüssigmistanalyse erfolgte alle zwei Wochen. Für eine repräsentative Probe war es erforderlich, bei jeder Probenahme aus fünf verschiedenen Höhen Flüssigmist zu entnehmen und daraus eine Mischprobe zu erstellen. Diese wurde bis zur Analyse tiefgefroren gelagert. Die Analysen umfassten folgende Inhaltsstoffe:

- Trockensubstanzgehalt
- Gehalt an organischer Trockensubstanz
- Aschegehalt
- pH-Wert
- NH_4 -N-Gehalt
- Gesamtstickstoffgehalt
- Gesamtkohlenstoffgehalt.

2.2 Ablauf der Versuche

2.2.1 Schweineflüssigmist

Die Multikraft Produktions- und HandelsGmbH stellte den Zusatz „Effektive Mikro-organismen (EM)“ zur Verfügung. Die Untersuchungen zum Einfluss von „Effektiven Mikro-organismen (EM)“ auf Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist umfassten folgende zwei Varianten:

- Schweineflüssigmist aus einen Schrägbodenstall ohne Abdeckung des Lagerbehälters
- Schweineflüssigmist aus einen Schrägbodenstall ohne Abdeckung, mit EM-Zusatz

Der Schweineflüssigmist wurde aus einem Schrägbodenstall in Oberösterreich bezogen. Die Stallfläche besteht aus 270 m² planbefestigter Schrägbodenfläche und 54 m² Vollspalten, die sich jeweils im hinteren Teil der Bucht befinden. Der Stall beherbergt 250 Mastschweine (ÖHYB-Ferkel). Täglich werden rund 300 g Langstroh je Schwein in der Strohraufe am vorderen Rand der Bucht bereit gestellt. Das Futter besteht aus 55 % Mais, 20 % Weizen und 25 % Maiscombi 25 (Soja und Mineralstoffmischung). Eine Phasenfütterung wird nicht durchgeführt. Die täglichen Zunahmen betragen 750 bis 800 g. Einmal täglich wird der Flüssigmist mittels Umspülverfahren entmistet.

Bei der Variante „unbehandelter Schweineflüssigmist“ wurden 7,70 m³ Flüssigmist eingelagert. Die Menge an Flüssigmist mit EM-Zusatz betrug 7,65 m³. Hier wurden am 02.06.2004 16 l EM zugesetzt. Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der Flüssigmistes am Beginn und am Ende der Versuche. Die Emissionsmessungen begannen am 01.06.2004. Ursprünglich war geplant, Emissionen während der Flüssigmistlagerung drei Monate lang zu verfolgen. Im Laufe der Versuche zeigte sich, dass auch nach drei Monaten noch beträchtliche Emissionen messbar waren. Deshalb wurde die Lagerungsperiode bis Mitte Dezember 2004 ausgedehnt. Die zusätzlichen Messungen werden aus Eigenleistungen des ILT getragen.

Tab. 1 Flüssigmistzusammensetzung zu Versuchsbeginn und –ende

		N _t [g/(kg FM)]	NH ₄ -N [g/(kg FM)]	TS [% FM]	oTS [% FM]	pH
Schwein_ohneEM	Beginn	2,47	1,23	4,83	3,61	6,51
	Ende	1,70	1,27	2,46	1,79	7,22
Schwein_EM	Beginn	2,34	1,40	4,08	3,01	6,51
	Ende	2,27	1,79	2,67	1,97	7,24

2.2.2 Schweinefestmist

Ein Schrägbodenstall für Mastschweine wird bei geringer Einstreumenge als Flüssigmistsystem betrieben. Bei höherer Einstreumenge entsteht Festmist in diesem System. Für eine Bewertung der Umweltverträglichkeit des Schrägbodenstalls ist es wichtig, die Emissionen sowohl aus dem Flüssigmistsystem als auch aus dem Festmistsystem zu kennen. Deshalb wurde das Forschungsprojekt „Umwelt- und klimarelevante Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ im Bereich der Lagerung um Emissionsmessungen während der Festmistlagerung ergänzt. Zwei Varianten wurden untersucht:

- anaerobe Festmistlagerung ohne EM-Zusatz und
- anaerobe Festmistlagerung mit EM-Zusatz.

Der Schweinefestmist wurde von einem Schrägbodenstall in Oberösterreich bezogen. Der Stall beherbergt 540 Mastschweine (ÖHYB-Ferkel). Jedem Tier steht eine Fläche von 0,84 m² zur Verfügung. Täglich werden pro Schwein 300 g Langstroh in der Strohraufe angeboten. Das Futter besteht aus 30 % Mais, 24 % Gerste, 20 % Weizen, 13 % Soja, 10 % Erbsen und 3 % Mineralstoffmischung. Die Zusammensetzung ändert sich im Laufe der Mast nicht. Die durchschnittliche tägliche Zunahme beläuft sich auf 790 g bei einer Futtermittelfermentation von 1 : 2,7. Zweimal pro Woche wird der Festmist mittels Hoftrac aus dem Stall entfernt.

Die Versuchseinrichtung des ILT besteht aus fünf Flüssigmistlagerbehältern und einer Kompostplatte (siehe Abb. 1 und 2). Auf der Kompostplatte wurde Festmist aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine in einer Dreiecksmiete aufgesetzt. Der Festmist (8 to) wurde gleichmäßig mit 26 Litern EM besprüht und ohne weitere Manipulation gelagert. Die Lagerungsperiode dauerte von 02.06. bis 16.08.2004. Am 16.08.2004 wurde wieder Festmist aus dem gleichen Schrägbodenstall angeliefert und diesmal ohne Zugabe von EM gelagert. Die Messungen dauerten bis zum 09.12.2004. Tabelle 2 zeigt die Zusammensetzung des Festmistes am Beginn und am Ende der Versuche. Die Emissionen aus dem Festmist wurden mit dem großen mobilen Emissionsmessraum des ILT gemessen.

Tab. 2 Festmistzusammensetzung zu Versuchsbeginn und –ende

		N _t [g/(kg FM)]	NH ₄ -N [g/(kg FM)]	TS [% FM]	oTS [% FM]	pH
Festmist_EM	Beginn	8,96	4,94	23,08	19,09	8,60
	Ende	14,64	4,43	29,15	18,95	7,87
Festmist_ohneEM	Beginn	11,05	6,11	26,88	21,89	9,31
	Ende	18,81	5,38	31,43	18,80	8,14

3 Ergebnisse

Der Ergebnisteil gliedert sich in die Darstellung der Emissionen von CO₂, CH₄, NH₃, N₂O und TOC während der Lagerung von Schweineflüssigmist und Schweinefestmist. Dargestellt sind der Verlauf der Emissionen während der Lagerdauer sowie die kumulierten Emissionen.

3.1 Flüssigmist

Etwa 8 m³ Schweineflüssigmist ohne EM-Zusatz und etwa 8 m³ Schweineflüssigmist mit EM-Zusatz wurden unter praxisnahen Bedingungen in Betonbehältern gelagert. Die Lagerdauer betrug 200 Tage. Die Messungen begannen im Juni 2004 und dauerten bis Mitte Dezember 2004.

Abbildung 4 zeigt den Temperaturverlauf im Flüssigmist während der Versuchsdauer. Zwischen beiden Varianten traten nur geringe Unterschiede in der Flüssigmisttemperatur auf. Während der warmen Sommermonate stieg die Temperatur im Flüssigmist auf über 20 °C an. Ab September sank sie kontinuierlich ab und erreichte am Ende der Versuche Werte von rund 7 °C.

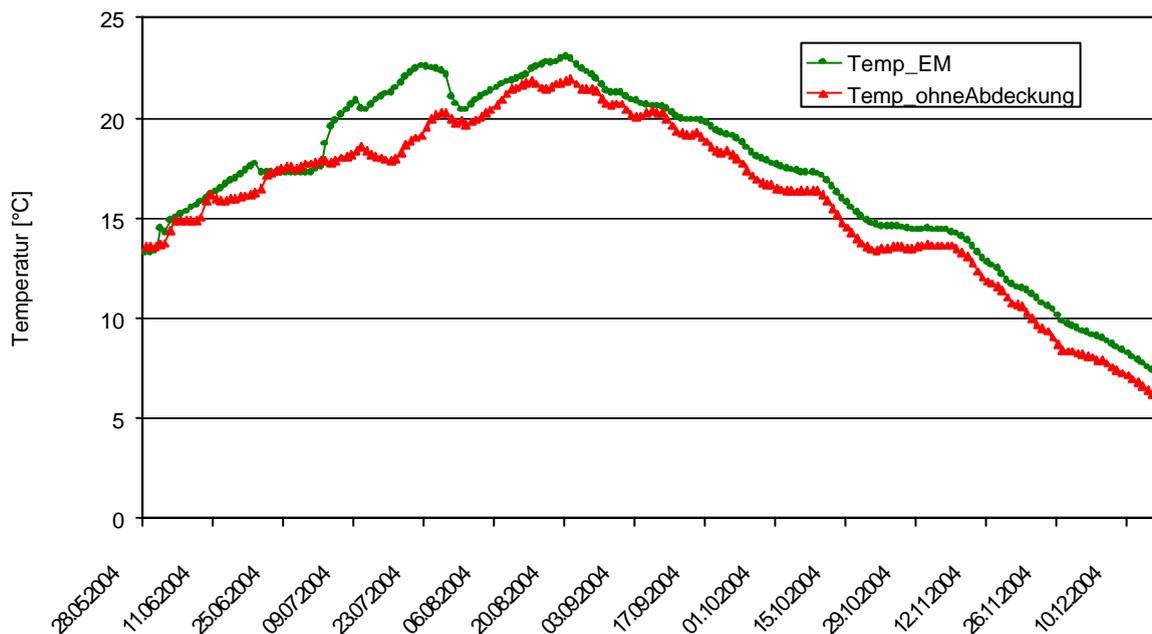


Abbildung 4. Temperatur im Flüssigmist während der Lagerung von Juni bis Dezember 2004

3.1.2 Gaskonzentrationen im Versuchsverlauf

Abbildungen 5 bis 8 zeigen die CO₂-, CH₄-, NH₃- und N₂O-Freisetzung während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz. Jede Variante wurde rund 60-mal für jeweils etwa 6 – 12 Stunden beprobt. Die nachfolgend dargestellten Gaskonzentrationen wurden aus der Differenz zwischen gemessener Gaskonzentration in der Abluft und gemessener Gaskonzentration in der Zuluft gebildet. Sie zeigen den Verlauf der Emissionen, geben aber noch keine Auskunft über die Menge an gasförmigen Verlusten.

Die CO₂-Freisetzung war zu Beginn der Versuche mäßig hoch und zeigte etwa in der Mitte der Messperiode ein Maximum. Hier herrschten gleichzeitig die höchsten Temperaturen. Gegen Ende der Messperiode sanken die CO₂-Emissionen auf Werte nahe null ab (Abb. 5).

Die CH₄-Freisetzung stieg im Laufe der Versuche deutlich an (Abb. 6). Als Ursache kann der Anstieg der Außentemperatur gesehen werden. In der Mitte der Messperiode blieben die CH₄-Emissionen auf hohem Niveau. Im letzten Drittel fielen sie langsam ab. Auch am Ende der Versuche waren bei beiden Varianten noch geringe CH₄-Emissionen messbar.

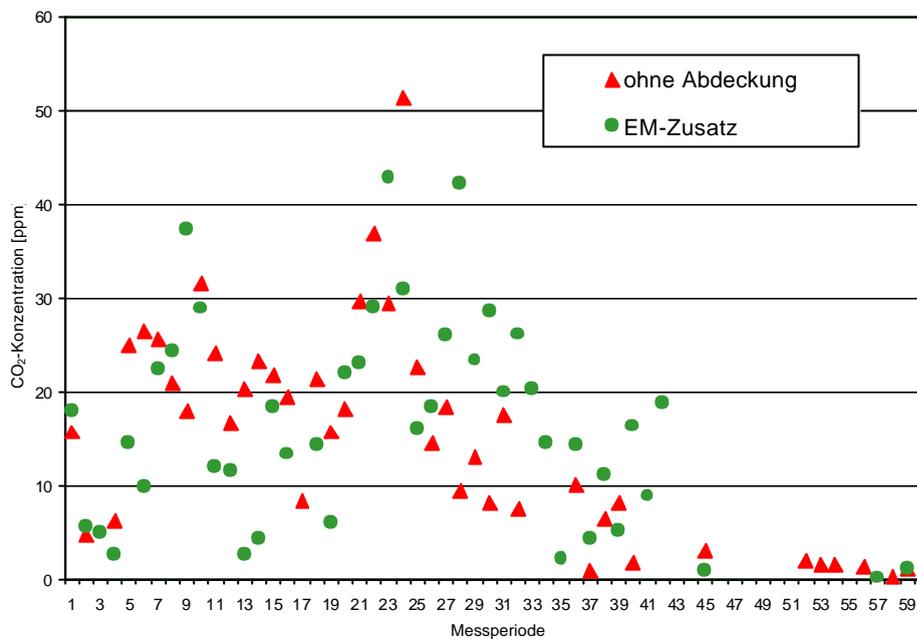


Abbildung 5. CO₂-Freisetzung während der Flüssigmistlagerung

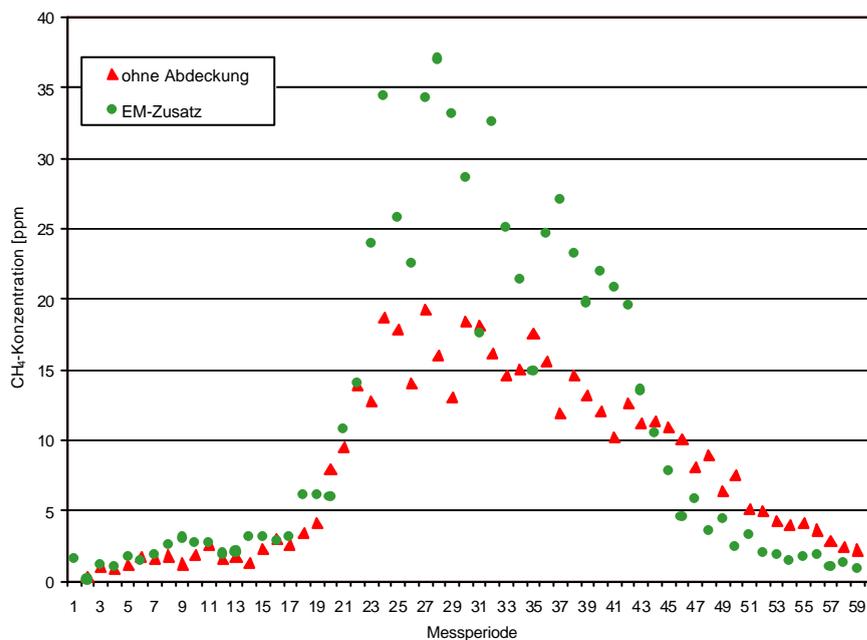


Abbildung 6. CH₄-Freisetzung während der Flüssigmistlagerung

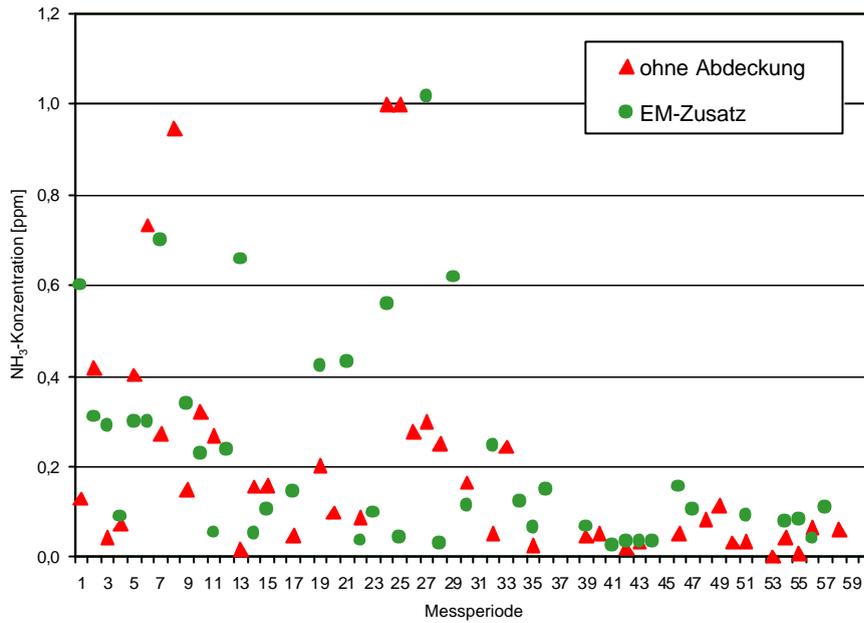


Abbildung 7. NH_3 -Freisetzung während der Flüssigmistlagerung

Bei der NH_3 -Freisetzung waren zwei Maxima zu beobachten, die aber weniger deutlich ausgeprägt waren als bei der CO_2 - und CH_4 -Freisetzung. Gegen Ende der Versuche pendelten sich die NH_3 -Emissionen auf geringem Niveau ein (Abb. 7).

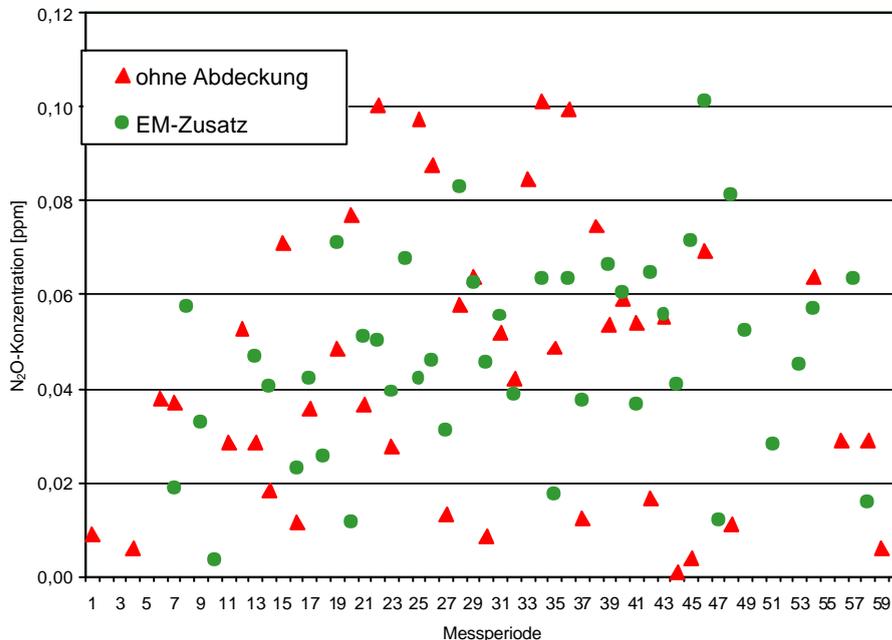


Abbildung 8. N_2O -Freisetzung während der Flüssigmistlagerung

Die N_2O -Freisetzung zeigte kein Maximum und keinen eindeutigen Trend im Versuchsverlauf. Die Differenz zwischen Abluft- und Zuluftkonzentration bewegte sich meist zwischen 0 und 0,1 ppm N_2O (Abb. 8).

3.1.2 Kumulierte Emissionen

Je Variante wurden im Versuchsverlauf rund 8.800 Emissionswerte erfasst. Aus den Rohdaten wurde zunächst die Emission pro Tag errechnet. Diese täglichen Emissionen wurden zu den kumulierten Emissionen addiert. Abbildungen 9 bis 13 zeigen den Verlauf der kumulierten Emissionen von CO₂, CH₄, NH₃, N₂O und TOC während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz.

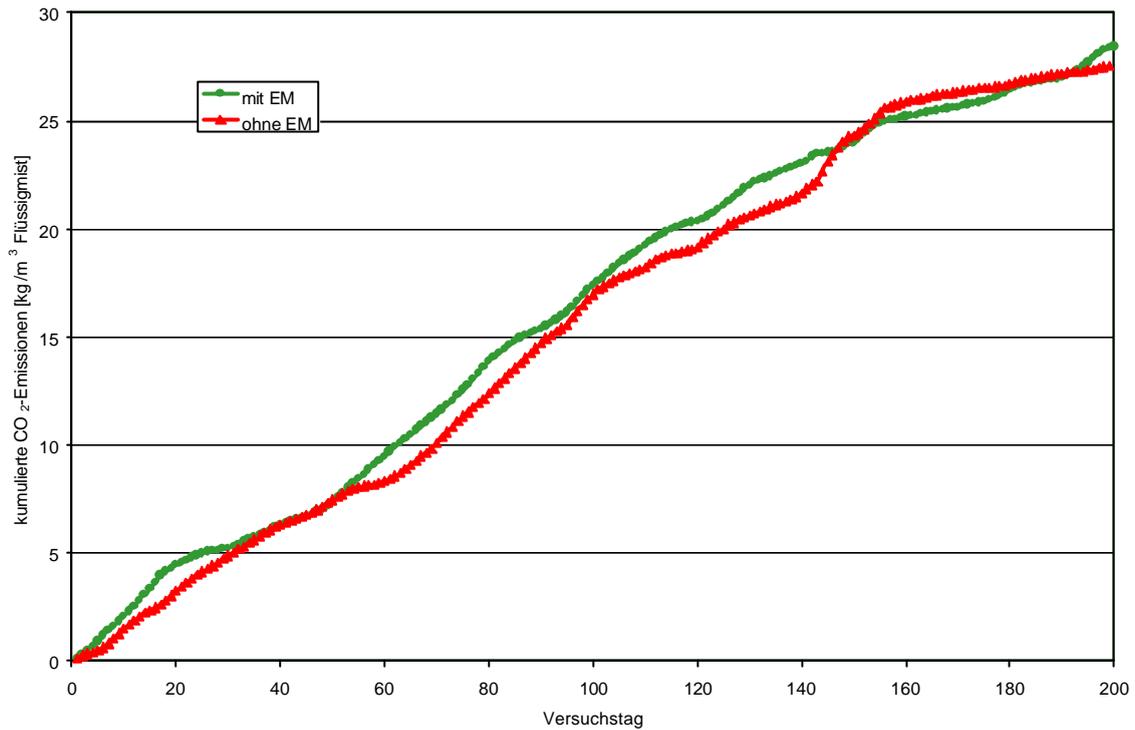


Abbildung 9. Kumulierte CO₂-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz

Die kumulierten CO₂-Emissionen stiegen bis etwa zum 160. Versuchstag bei beiden Varianten nahezu linear an. Danach sank die CO₂-Produktion deutlich ab und die kumulierten Emissionen erhöhten sich kaum mehr. Die Unterschiede in der CO₂-Emission zwischen Flüssigmist mit und ohne EM-Zusatz waren gering (Abb. 9).

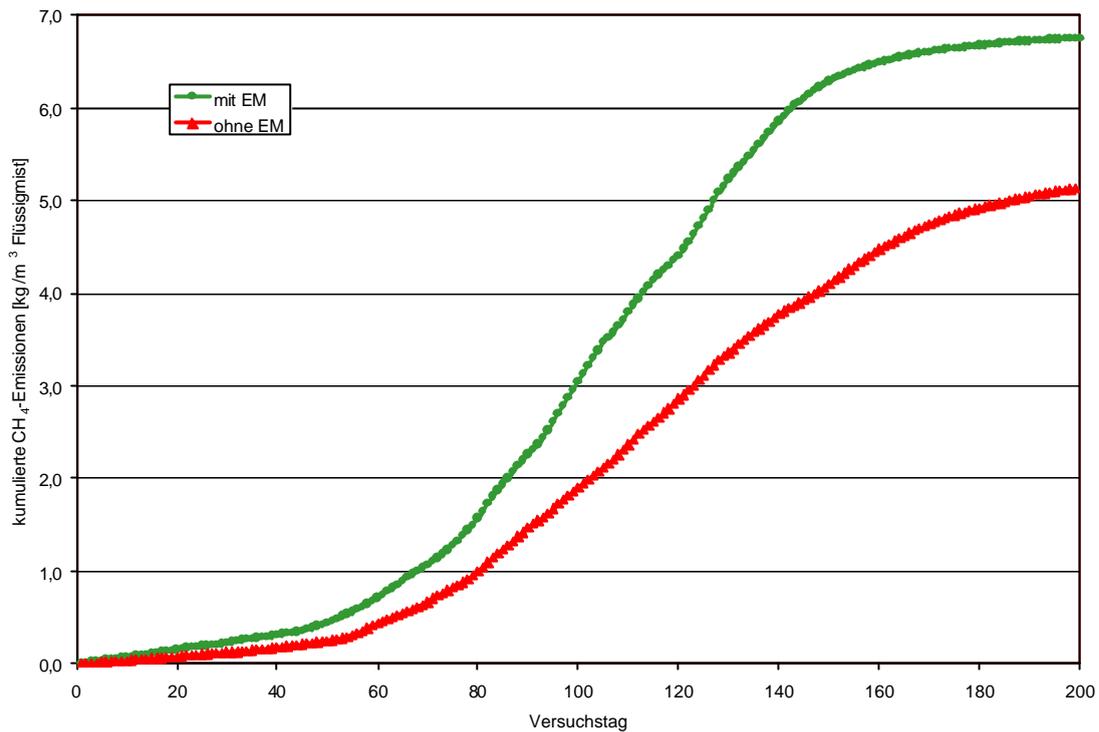


Abbildung 10. Kumulierte CH₄-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz

Die CH₄-Emissionen waren zu Beginn der Lagerung gering. Bis zum 60. Versuchstag beliefen sich die kumulierten CH₄-Emissionen auf 0,43 kg CH₄/m³ Flüssigmist (ohne EM-Zusatz) und 0,71 kg CH₄/m³ Flüssigmist (mit EM-Zusatz). Mit Zunahme der Außen- und Flüssigmisttemperatur stiegen die CH₄-Emissionen stark an. Erst nach dem 160. Versuchstag, als die Temperaturen wieder abnahmen, war ein Abflachen der kumulierten CH₄-Emissionen zu beobachten. Ohne EM-Zusatz betragen die kumulierten CH₄-Emissionen während der gesamten Lagerdauer 5,13 kg CH₄/m³ Flüssigmist. Die Variante mit EM-Zusatz emittierte 6,75 kg CH₄/m³ Flüssigmist während der 200-tägigen Lagerdauer (Abb. 10).

Abbildung 11 zeigt die kumulierten NH₃-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz. Auch hier wurden in der Mitte des Versuches höhere Emissionsraten gemessen als gegen Ende, als die Außen- und Flüssigmisttemperatur deutlich abnahm. Die Variante ohne EM-Zusatz emittierte in Summe 0,322 kg NH₃/m³ Flüssigmist. Durch den einmaligen Zusatz von EM am Beginn der Lagerung konnten die NH₃-Emissionen auf 0,286 kg NH₃/m³ Flüssigmist gesenkt werden.

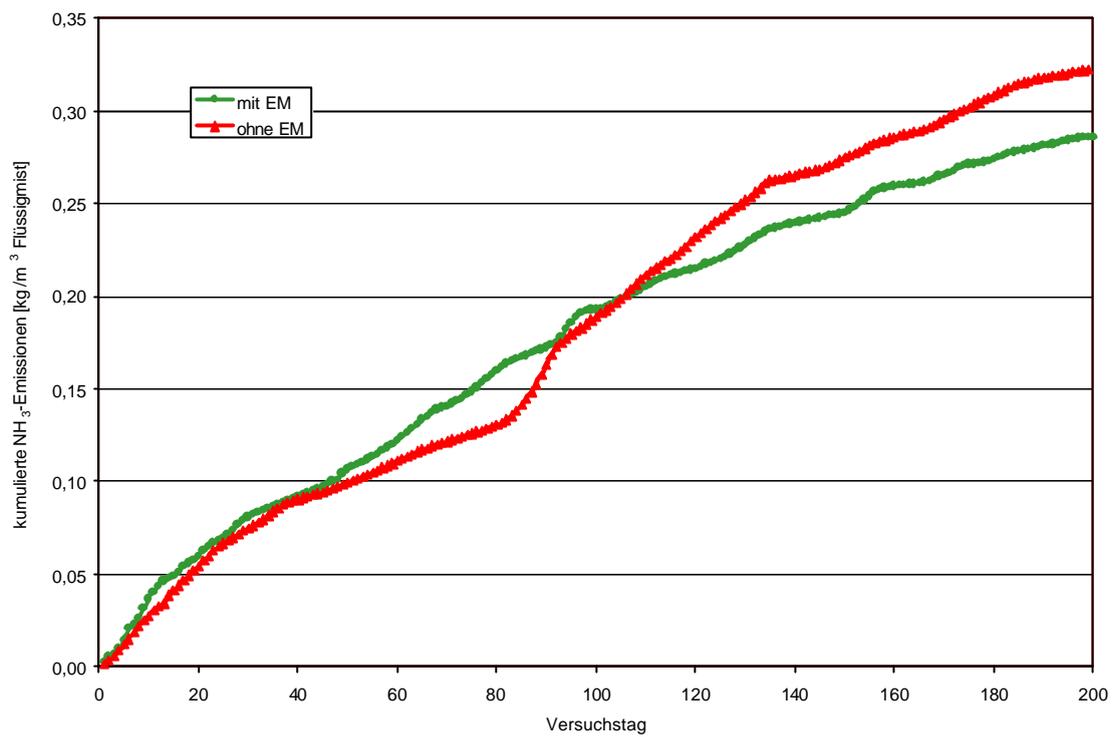


Abbildung 11. Kumulierte NH₃-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz

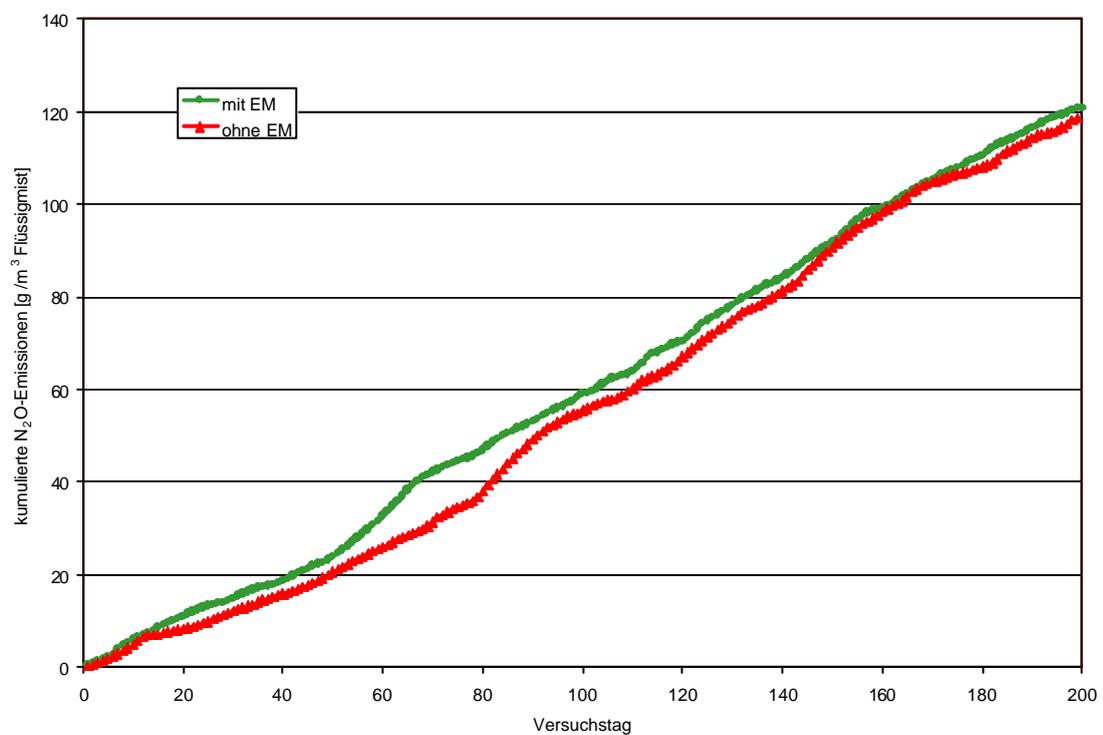


Abbildung 12. Kumulierte N₂O-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz

Die kumulierten N_2O -Emissionen stiegen während der gesamten Versuchsdauer nahezu linear an. Zwischen beiden Varianten wurde ein nur sehr geringer Unterschied in der Emissionssumme gemessen. Mit EM-Zusatz belief sich die Summe an N_2O -Emissionen auf $121 \text{ g N}_2\text{O/m}^3$ Flüssigmist. Ohne EM-Zusatz wurden Emissionen von $118 \text{ g N}_2\text{O/m}^3$ Flüssigmist gemessen (Abb. 12).

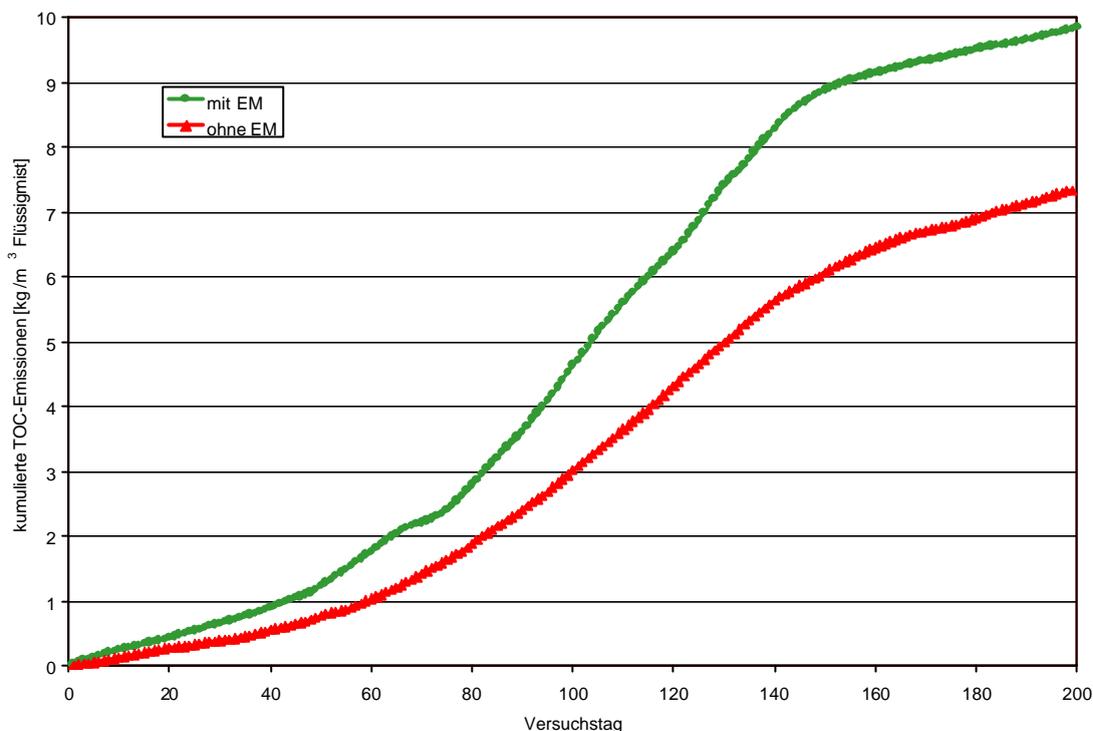


Abbildung 13. Kumulierte TOC-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz

Der Verlauf der kumulierten TOC-Emissionen war ähnlich dem der kumulierten CH_4 -Emissionen: geringe Emissionsraten zu Beginn der Lagerung, hohe Emissionsraten während der warmen Periode und ein Abflachen der Emissionen am Ende. Mit EM-Zusatz am Beginn der Lagerung wurde in Summe eine Emission von $9,83 \text{ kg CH}_4$ -Äquivalente je m^3 Flüssigmist gemessen. Der Flüssigmist ohne EM-Zusatz emittierte $7,34 \text{ kg CH}_4$ -Äquivalente je m^3 (Abb. 13).

Tabelle 3 zeigt zusammenfassend die Summe an CO_2 -, NH_3 -, N_2O - und TOC-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz. Aus den CH_4 - und N_2O -Emissionen wurde die Summe an klimarelevanten Emissionen errechnet. CH_4 hat eine 21fach höhere Klimawirksamkeit als CO_2 . Bei N_2O beträgt der CO_2 -Äquivalenzfaktor 310 (IPCC 1996).

Bei EM-Zusatz waren die CO_2 -Emissionen leicht erhöht. Da das hier emittierte CO_2 nicht aus fossilen Quellen stammt, ist es nicht als klimarelevant einzustufen. Vielmehr sind höhere CO_2 -Emissionen ein positives Zeichen für eine vermehrte mikrobielle Aktivität.

CH_4 -, TOC- und die Summe an klimarelevanten Gasen waren im Flüssigmist mit EM-Zusatz höher als bei unbehandeltem Flüssigmist. In den N_2O -Emissionen zeigte sich kein nennenswerter Unterschied. Die NH_3 -Emissionen wurden durch den EM-Zusatz deutlich um rund 11 % gesenkt.

Rechnet man die Summe an CH₄-Emissionen pro m³ frischen Flüssigmist auf Emissionen je kg oTS im Flüssigmist um, so ergeben sich Emissionen von 168,2 g CH₄-C / kg oTS bei Flüssigmist mit EM-Zusatz und 106,5 g CH₄-C / kg oTS bei unbehandeltem Flüssigmist. Diese Werte sind höher als in einem früheren Versuch gemessene Emissionen von 97,9 bzw. 99,8 g CH₄-C / kg oTS ohne und mit EM-Zusatz (AMON ET AL. 2004b). Hier waren sowohl der oTS-Gehalt im Flüssigmist als auch die Flüssigmisttemperatur deutlich niedriger als bei dem in diesem Bericht vorgestellten Versuch. Auch dauerte die Lagerung in den Versuchen von AMON ET AL. 2004b nur 100 Tage. Die kumulierten CH₄-Emissionen stiegen während dieser 100 Tage linear an und waren am Ende nicht zum Erliegen gekommen. Im hier dargestellten Versuch wurden die Emissionen 200 Tage lang verfolgt. Wurde EM bereits dem Schweinefutter zugesetzt, so zeigten die Versuche von AMON ET AL. (2004b) deutlich verringerte Emissionen während der Flüssigmistlagerung. Emissionsmessungen im Schweinestall ergaben eine Reduktion der CH₄-Emissionen in der zweiten Hälfte der Mast bei regelmäßigem Versprühen von EM im Stall. Dies können Hinweise darauf sein, dass EM dann seine Wirkung entfalten kann, wenn es möglichst frühzeitig und regelmäßig in die Wirtschaftsdünger-Kette eingebracht wird.

Die kumulierten NH₃-Emissionen waren ähnlich hoch wie bei einem früheren Versuch. Dort wurden Emissionen von 337,9 (ohne EM), 354,3 (mit EM) und 266,9 (Fütterung von EM-FKE) g NH₃/m³ Flüssigmist gemessen (AMON ET AL. 2004b). Eine Reduktion der NH₃-Emissionen nach EM-Zugabe wurde auch beim Einsatz im Schweinestall beobachtet (AMON ET AL. 2004a). Bei regelmäßigem Versprühen von EM im Schweinestall sanken die NH₃-Emissionen in der zweiten Masthälfte deutlich ab.

Die kumulierten Lachgasemissionen beliefen sich nach 200 Tagen Lagerung auf rund 120 g/m³ Flüssigmist. Bei AMON ET AL. (2004 b) wurden nach 100 Tagen kumulierte N₂O-Emissionen von 36 bis 41 g N₂O/m³ Flüssigmist gemessen. In dem hier vorgestellten Versuch hatten die N₂O-Emissionen nach 100 Tagen ein Niveau von rund 55 g N₂O/m³ Flüssigmist erreicht. In beiden Versuchen stiegen die N₂O-Emissionen während der gesamten Lagerung linear an. Das bedeutet, dass kontinuierlich N₂O emittiert wird und sich die Emissionsrate im Laufe der Lagerung kaum verändert.

Ein einmaliger Zusatz zu Beginn der Lagerung erhöhte auch in einem früheren Versuch die TOC-Emissionen. Ein Absinken war zu beobachten, wenn EM in Form von EM-FKE bereits dem Schweinefutter zugesetzt wurde (AMON ET AL. 2004b). Das regelmäßige Versprühen von EM im Schweinestall führte zu einer deutlichen Reduktion der TOC-Emissionen (AMON ET AL. 2004a). Es liegt die Vermutung nahe, dass EM TOC-Emissionen verringern kann, wenn es möglichst frühzeitig und regelmäßig eingesetzt wird.

Tab. 3 Kumulierte Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne EM-Zusatz.

Variante	Kumulierte Emission von...					
	CO ₂ [kg/m ³ FM]	CH ₄ [kg/m ³ FM]	NH ₃ [kg/m ³ FM]	N ₂ O [g/m ³ FM]	TOC [kg/m ³ FM]	GHG ^a [kg/m ³ FM]
Schwein_ohneEM	27,5	5,13	0,322	118	7,34	144,4
Schwein_EM	28,4	6,75	0,286	121	9,83	179,2

^aGreenhouse gas emissions = Summe an klimarelevanten Emissionen, CO₂-Äquivalenzfaktoren: N₂O = 310, CH₄ = 21 [IPCC 1996]

3.2 Festmist

Bei genügend hoher Einstreumenge kann in einem Schrägbodenstall für Mastschweine auch Festmist erzeugt werden. Das nachfolgende Kapitel beschreibt Emissionen während der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz.

Abbildung 14 zeigt den Temperaturverlauf im Festmist mit und ohne EM-Zusatz. Der Festmist mit EM-Zusatz wurde von Mai bis August 2004 gelagert. Im Anschluss daran wurde von August bis Dezember 2004 Festmist ohne EM-Zusatz gelagert und freiwerdende Emissionen gemessen. Mit EM-Zusatz stiegen die Temperaturen im Festmist zu Beginn der Lagerung auf rund 40 °C an. Nach diesem Maximum, welches eine Woche nach Versuchsbeginn erreicht wurde, fielen die Temperaturen langsam ab. Am Ende der Versuche wurden 31 °C im Festmist gemessen. Ohne EM-Zusatz war der Temperaturanstieg am Beginn der Versuche deutlich stärker. Nach einer Woche betrug die Temperatur im Festmisthaufen 54 °C. Erst nach 40 Tagen sank sie wieder unter 50 °C ab. Nach 80 Tagen wurden 41 °C gemessen. Selbst bei kühler Außentemperatur in den Monaten November und Dezember blieb die Temperatur im Festmisthaufen über 30 °C. Die Ursache ist die mikrobielle Aktivität und die damit verbundene Wärmeabgabe. Die Temperatur im Festmist ist weitgehend endogen bestimmt. Die Außentemperatur hat einen untergeordneten Einfluss.

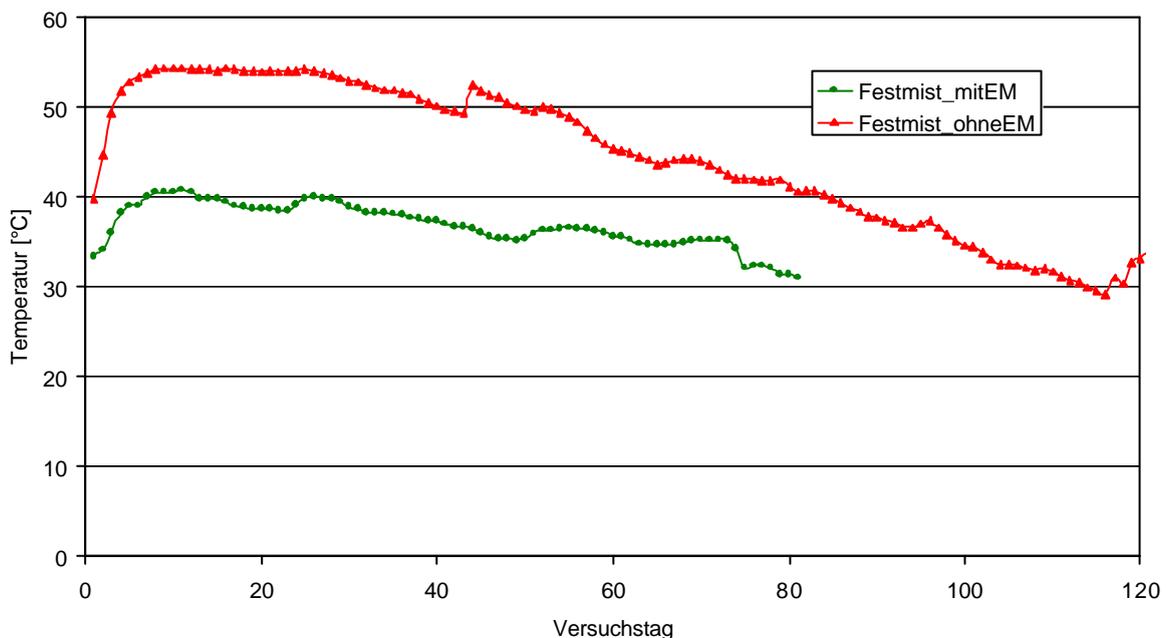


Abbildung 14. Temperatur im Festmist mit und ohne EM-Zusatz.

3.2.1. Gaskonzentrationen im Versuchsverlauf

Abbildungen 15 bis 18 zeigen die CO₂-, CH₄-, NH₃- und N₂O-Freisetzung während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz. Jede Variante wurde zwei bis dreimal pro Woche für jeweils etwa 12 – 18 Stunden beprobt. Die nachfolgend dargestellten Gaskonzentrationen wurden aus der Differenz zwischen gemessener Gaskonzentration in der Abluft und gemessener Gaskonzentration in der Zuluft gebildet. Sie enthalten noch keinen Bezug zur eingelagerten Menge an Festmist.

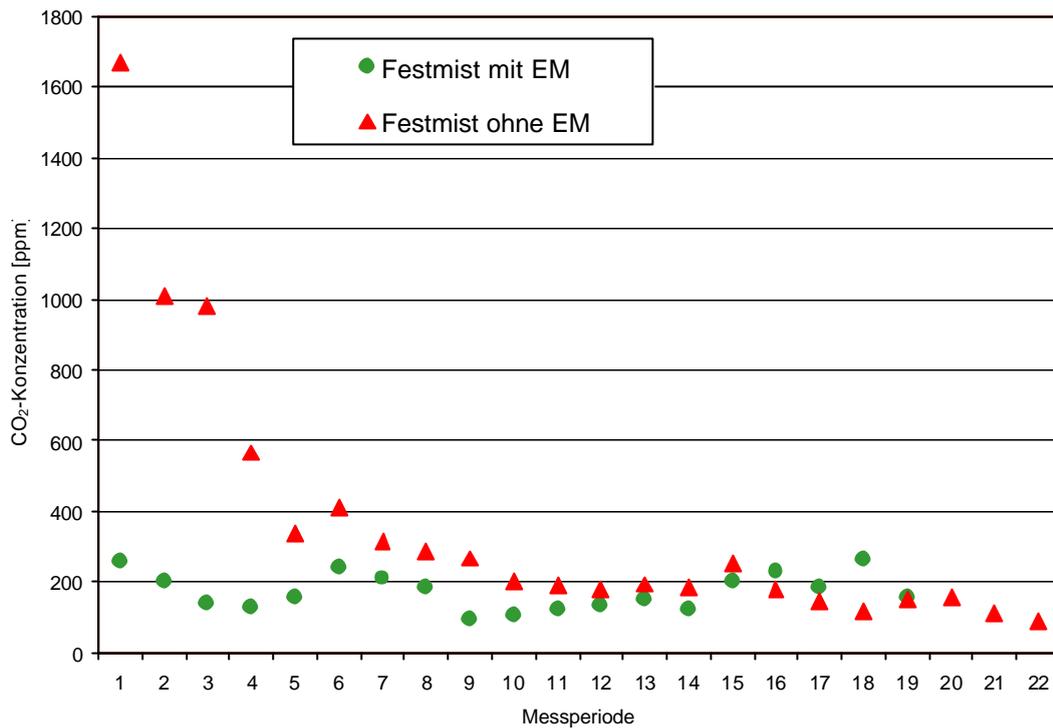


Abbildung 15. CO₂-Freisetzung während der Festmistlagerung

Der Festmist mit EM-Zusatz emittierte während der gesamten Lagerdauer CO₂-Emissionen ohne größere Schwankungen. Beim Festmist ohne EM-Zusatz wurden zu Beginn der Lagerung eine sehr hohe CO₂-Freisetzung beobachtet, die anschließend deutlich absank und am Ende der Lagerungsperiode auf sehr geringem Niveau war (Abb. 15).

Der Verlauf der CH₄-Freisetzung war bei Festmist mit und ohne EM unterschiedlich. Beim Festmist ohne EM-Zusatz stieg die CH₄-Freisetzung im ersten Drittel der Lagerung an, blieb kurzzeitig auf dem höchsten Niveau und sank dann bis zum Ende kontinuierlich ab. Auch beim Festmist mit EM-Zusatz stieg die CH₄-Freisetzung am Beginn der Lagerung an. Sie blieb dann etwa vier Wochen nahezu konstant. Anschließend wurde nochmals ein Anstieg der CH₄-Freisetzung beobachtet. Erst am Ende der Lagerung sank die CH₄-Freisetzung ab (Abb. 16).

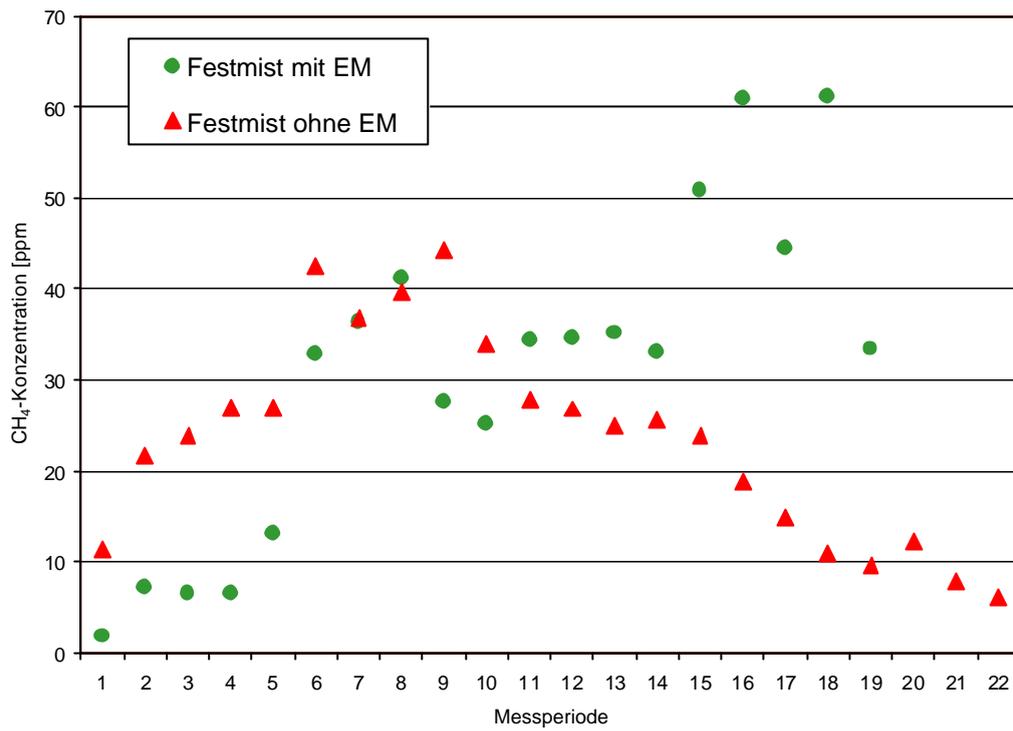


Abbildung 16. CH₄-Freisetzung während der Festmistlagerung

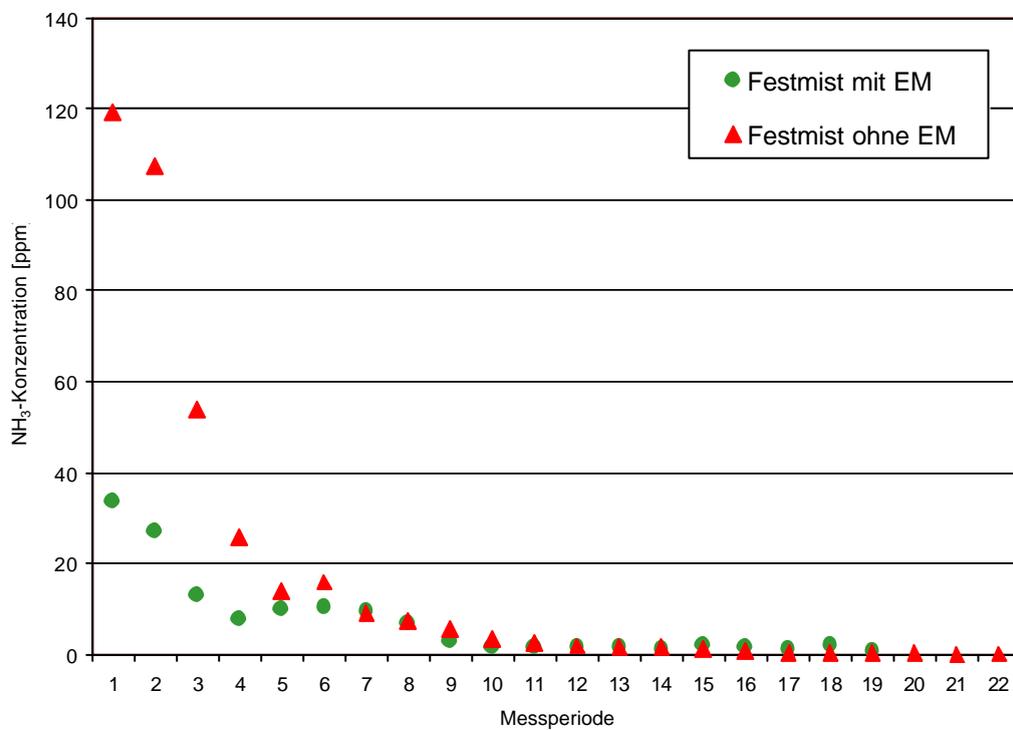


Abbildung 17. NH₃-Freisetzung während der Festmistlagerung

Sowohl bei Festmist mit EM-Zusatz als auch bei unbehandeltem Festmist war die NH_3 -Freisetzung am Beginn der Lagerung maximal, sank dann ab und bewegte sich ab etwa der Mitte der Lagerung bei nahezu null. Allerdings war das Maximum der NH_3 -Freisetzung bei unbehandeltem Festmist deutlich höher als bei Festmist, dem EM zu Beginn der Lagerung zugesetzt worden war (Abb. 17).

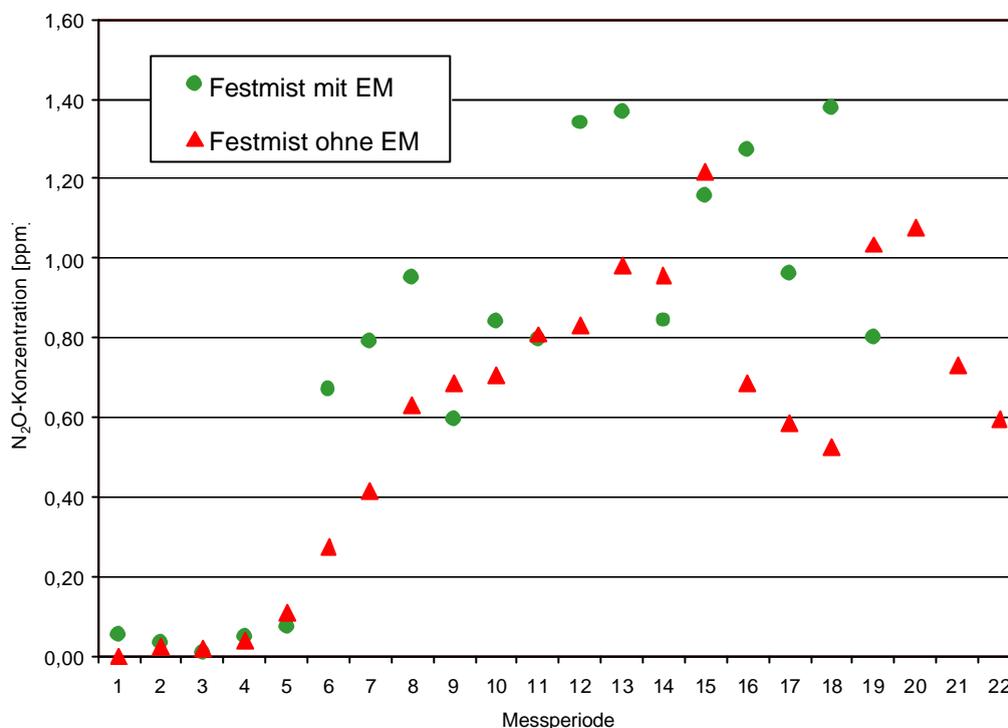


Abbildung 18. N_2O -Freisetzung während der Festmistlagerung

Die N_2O -Emissionen waren am Beginn der Lagerung bei beiden Varianten sehr gering. Sie stiegen erst nach rund 3 Wochen an. Im Gegensatz zu den anderen gasförmigen Emissionen blieb die N_2O -Freisetzung auch am Ende der Lagerung auf hohem Niveau. Der Unterschied zwischen beiden Varianten war gering (Abb. 18).

3.2.2 Kumulierte Emissionen

Festmist mit EM-Zusatz wurde vom 02.06. bis 16.08.2004 gelagert. In dieser Zeit wurden rund 3.200 Emissionswerte erfasst. Die Lagerung von Festmist ohne EM-Zusatz erstreckte sich vom 16.08. bis 09.12.2004. In dieser Zeit wurden rund 5.800 Emissionswerte erfasst. Aus den Rohdaten wurde zunächst die Emission pro Tag errechnet. Diese täglichen Emissionen wurden zu den kumulierten Emissionen addiert. Abbildungen 19 bis 23 zeigen den Verlauf der kumulierten Emissionen von CO_2 , CH_4 , NH_3 , N_2O und TOC während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz. Die längere Lagerungsdauer von unbehandeltem Festmist ist in den Abbildungen vollständig dargestellt. Der abschließende Vergleich der kumulierten Emissionen bezieht sich dann aber auf die kumulierten Emissionen nach 80 Tagen Lagerung, um vergleichbare Bedingungen zum Festmist mit EM-Zusatz zu erhalten.

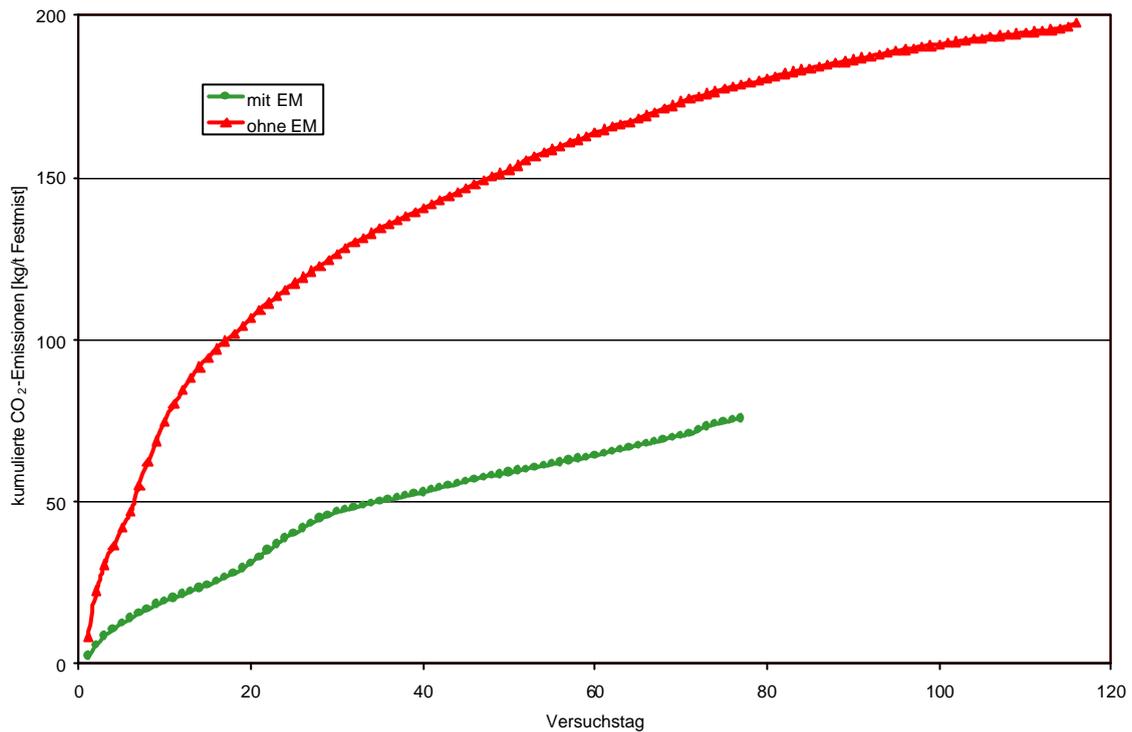


Abbildung 19. Kumulierte CO₂-Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz

Die kumulierten CO₂-Emissionen von unbehandeltem Festmist stiegen am Beginn der Lagerung stark an und flachten gegen Ende ab. Nach 80 Tagen hatten sie ein Niveau von 178,6 kg / t Festmist erreicht. Nach 115 Tagen waren es 197,8 kg CO₂ / t Festmist. Die CO₂-Emissionen bei Festmist mit EM-Zusatz blieben deutlich unter denen des unbehandelten Festmistes. In Summe wurden nach 80 Tagen Lagerungsdauer 75,7 kg CO₂ / t Festmist freigesetzt (Abb. 19).

Bei unbehandeltem Flüssigmist stiegen die kumulierten CH₄-Emissionen zu Beginn der Lagerung an. Ab etwa dem 80. Lagerungstag war nur noch eine geringe Zunahme in den CH₄-Emissionen festzustellen. Nach 80 Tagen waren 4,40 kg CH₄ / t Festmist freigesetzt worden. Nach 115 Tagen waren es 4,70 kg CH₄ / t Festmist. Auch bei Festmist mit EM-Zusatz stiegen die CH₄-Emissionen bis zum 80. Versuchstag an. Sie blieben mit 4,22 kg CH₄ / t Festmist aber leicht unter dem Niveau der CH₄-Emissionen aus unbehandeltem Festmist (Abb. 20).

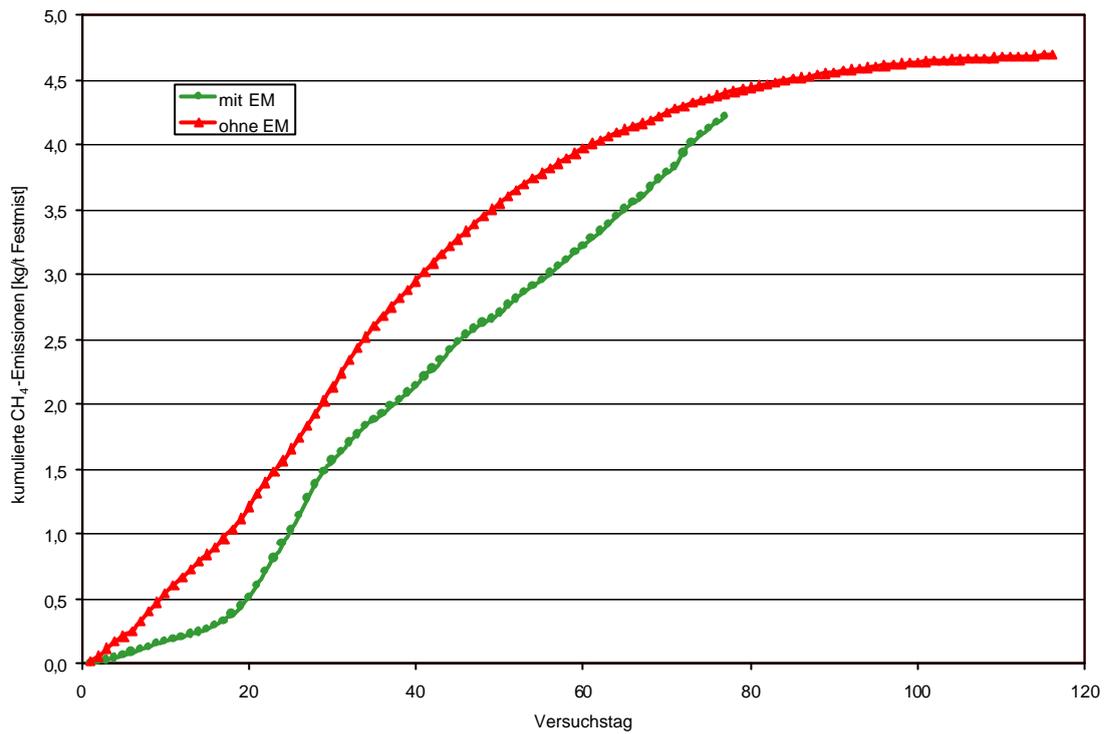


Abbildung 20. Kumulierte CH₄-Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz

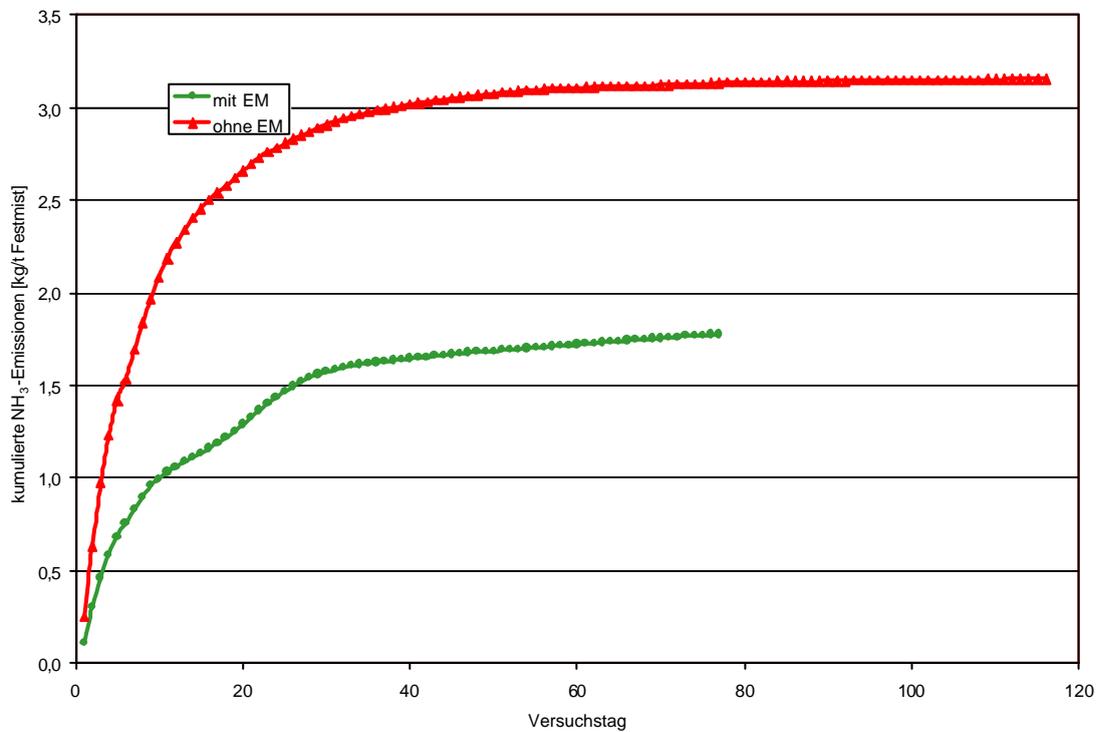


Abbildung 21. Kumulierte NH₃-Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz

Vor allem bei unbehandeltem Festmist war zu Beginn der Lagerung ein sehr starker Anstieg der kumulierten NH_3 -Emissionen zu beobachten. Nach dem 40. Lagerungstag war die weitere Zunahme der kumulierten NH_3 -Emissionen gering. Nach 80 Tagen belief sich die Summe an NH_3 -Emissionen auf 3,13 kg NH_3 / t Festmist, nach 115 Tagen auf 3,15 kg NH_3 / t Festmist. Der Zusatz von EM zu Beginn der Festmistlagerung führte zu einer starken Verminderung der kumulierten NH_3 -Emissionen auf 1,78 kg NH_3 / t Festmist. Dies ist rund 44 % weniger als bei unbehandeltem Festmist (Abb. 21).

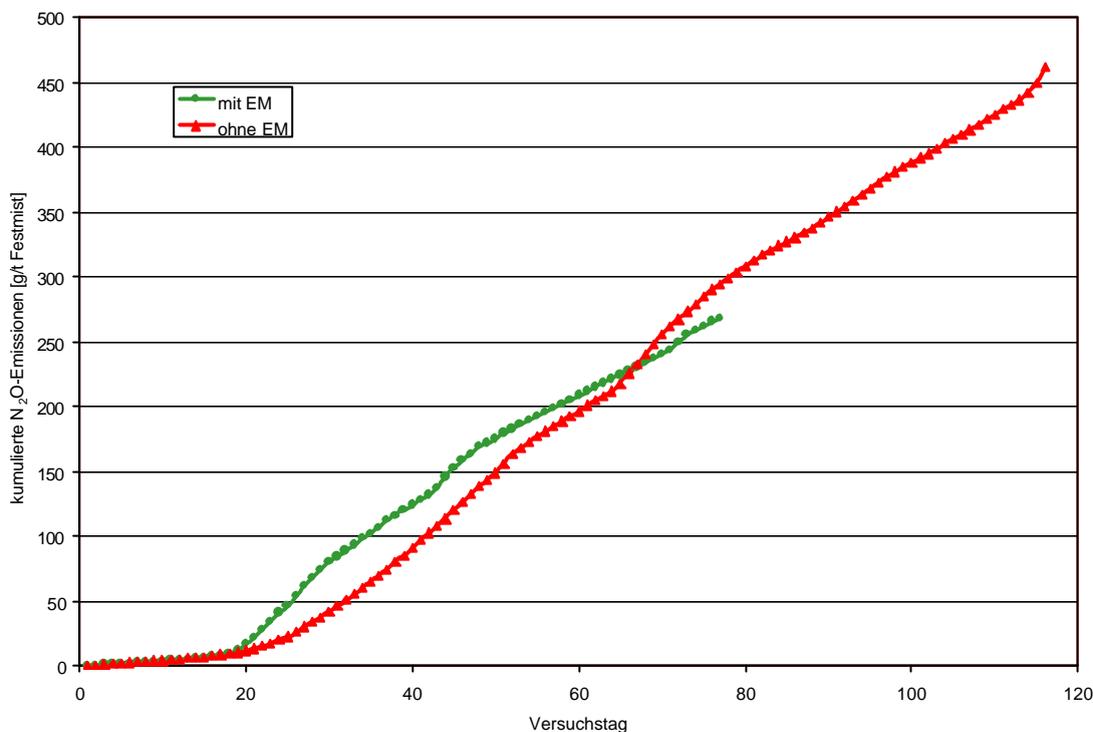


Abbildung 22. Kumulierte N_2O -Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz

Nach anfänglich geringen Emissionen stiegen die kumulierten N_2O -Emissionen etwa ab dem 20. Versuchstag nahezu linear an und blieben während der restlichen Lagerungsdauer auf etwa konstantem Niveau. Unbehandelter Festmist emittierte bis zum 80. Lagerungstag in Summe 295 g N_2O / t Festmist. Am Ende der Lagerung, nach 115 Tagen beliefen sich die kumulierten N_2O -Emissionen auf 462 g N_2O / t Festmist. Festmist mit EM-Zusatz emittierte bis zum 80. Versuchstag etwa 9 % weniger N_2O als unbehandelter Festmist: 268 g N_2O / t Festmist (Abb. 22).

Bei unbehandeltem Festmist waren die TOC-Emissionen zu Beginn der Lagerung hoch und flachten etwa ab dem 50. Lagerungstag ab. Danach waren bis zum Versuchsende geringe Emissionen von TOC nachweisbar. In Summe betrug die emittierte Menge an TOC bis zum 80. Lagerungstag 5,53 kg CH_4 -Äquivalente je t Festmist. Nach 115 Tagen waren 6,01 kg CH_4 -Äquivalente je t Festmist freigesetzt worden. Bei Festmist mit EM-Zusatz stiegen die TOC-Emissionen nach anfänglich geringen Freisetzungsraten ab etwa dem 20. Versuchstag an und nahmen im weiteren Verlauf der Lagerung nicht ab. Nach 80 Tagen belief sich die Summe an TOC-Emissionen auf 7,35 kg CH_4 -Äquivalente je t Festmist (Abb. 23).

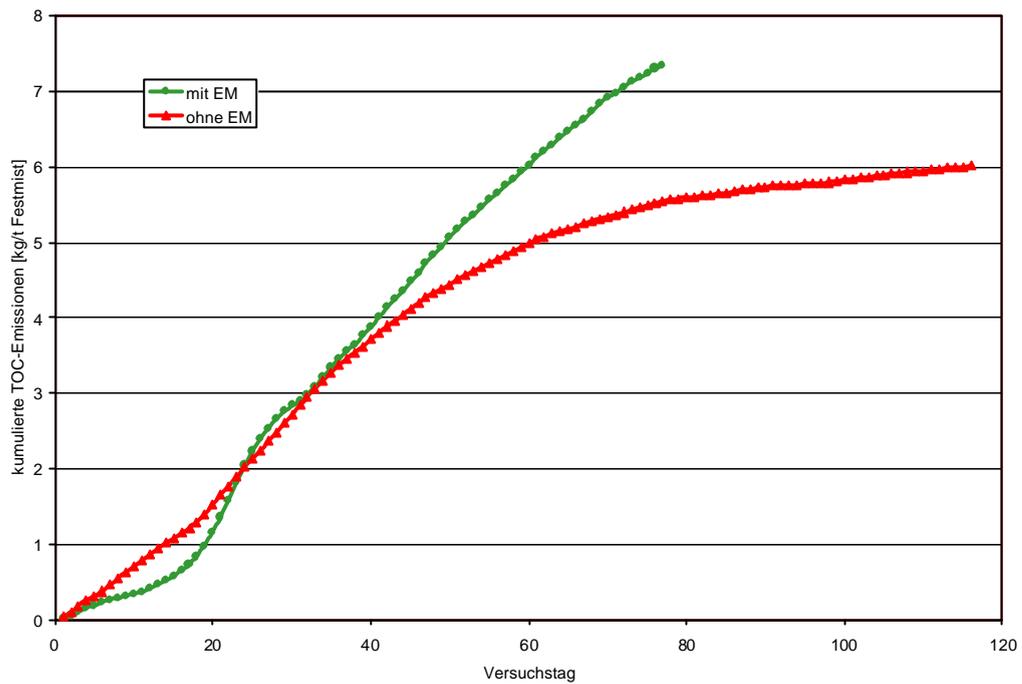


Abbildung 23. Kumulierte TOC-Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz

Tabelle 4 zeigt zusammenfassend die Summe an CO₂-, NH₃-, N₂O- und TOC-Emissionen nach 80 Tagen Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz. Aus den CH₄- und N₂O-Emissionen wurde die Summe an klimarelevanten Emissionen errechnet. CH₄ hat eine 21fach höhere Klimawirksamkeit als CO₂. Bei N₂O beträgt der CO₂-Äquivalenzfaktor 310 (IPCC 1996).

Bei unbehandeltem Festmist wurden ein deutlich höherer Temperaturanstieg zu Beginn der Lagerung (siehe Abb. 14) und höhere CO₂-Emissionen gemessen als bei Festmist, dem zu Beginn der Lagerung EM zugesetzt worden war. Dies sind Hinweise darauf, dass in unbehandeltem Festmist vermehrt aerobe Kompostierungsprozesse stattgefunden haben wohingegen die Umsetzungen im Festmist EM-Zusatz eher anaerob waren. CH₄- und N₂O-Emissionen waren bei EM-Zusatz geringer als bei unbehandeltem Festmist. Dies führte in der Summe zu niedrigeren klimarelevanten Emissionen: 171,7 kg/t Festmist im Vergleich zu 183,7 g/t Festmist. Die kumulierten NH₃-Emissionen waren bei Festmist mit EM-Zusatz rund 43 % geringer als bei unbehandeltem Festmist. Die TOC-Emissionen waren im Vergleich zu unbehandeltem Festmist erhöht. Sie sind ein Hinweis auf das mögliche Geruchsemissionspotential, können aber nicht direkt mit Geruchsemissionen korreliert werden. Hierfür wären gesonderte Messungen erforderlich. Auch enthält die Summe an TOC-Emissionen keine Aussagen über die Hedonik, also die Qualität der Geruchsemissionen.

Tab. 4 Kumulierte Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz.

Variante	Kumulierte Emission von...					
	CO ₂ [kg/t FM]	CH ₄ [kg/t FM]	NH ₃ [kg/t FM]	N ₂ O [g/t FM]	TOC [kg/t FM]	GHG ^a [kg/t FM]
Schwein_ohneEM	178,6	4,40	3,13	295	5,53	183,7
Schwein_EM	75,7	4,22	1,78	268	7,35	171,7

4 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Versuche widmeten sich der Frage nach dem Einfluss eines einmaligen EM-Zusatzes zu Beginn der Lagerung von Schweineflüssigmist und –festmist auf CO₂-, NH₃-, N₂O- und TOC-Emissionen. Kontinuierliche, mehrere Monate andauernde Emissionsmessungen an 10 m³ großen Flüssigmistlagerbehältern bzw. von rund 8 t Festmist lieferten folgende Ergebnisse:

- EM-Zusatz zu Beginn der Lagerung von *Schweineflüssigmist* erhöhte CO₂-Emissionen um 3 %, CH₄-Emissionen um 32 %, TOC-Emissionen um 34 % und die Summe an klimarelevanten Emissionen um 24 %.
- Die N₂O-Emissionen blieben durch den EM-Zusatz nahezu unbeeinflusst.
- Bei den NH₃-Emissionen bewirkte der Zusatz von EM eine deutliche Reduktion um 11 %.
- Die Ergebnisse decken sich mit denen früherer Versuche während der Lagerung von Schweineflüssigmist (AMON ET AL. 2004b) und im Schweinestall (AMON ET AL. 2004a). Bei einmaligem EM-Zusatz zu Beginn der Lagerung sind weniger positive Wirkungen zu beobachten, als wenn EM frühzeitig und regelmäßig in die Wirtschaftsdünger-Kette eingebracht wird.
- Bei *Schweinefestmist* wurden in der Variante ohne EM-Zusatz Hinweise auf vermehrte aerobe mikrobielle Aktivität gefunden: hoher Temperaturanstieg zu Beginn der Lagerung und höhere CO₂-Emissionen.
- EM-Zusatz am Beginn der Lagerung von Schweinefestmist verminderte CH₄-Emissionen um 4 %, NH₃-Emissionen um 43 %, N₂O-Emissionen um 9 % und klimarelevante Emissionen um 7 %. Bei den TOC-Emissionen wurde eine Erhöhung um 33 % gemessen.

Literatur

AMON, B., FRÖHLICH, M., KRYVORUCHKO, V., AMON, T. (2004a). Einfluss von „Effektiven Mikroorganismen (EM)“ auf Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen und auf das Geruchsemissionspotential aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine. Endbericht im Auftrag der Multikraft Produktions- und HandelsGmbH, Dezember 2004.

Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Moitzi, G. (2004b). Wirkung des Zusatzstoffes „Effektive Mikroorganismen (EM)“ auf den Umfang von Ammoniak-, Methan- und Lachgasemissionen und auf das Geruchsemissionspotential während der Lagerung von Rinder- und Schweineflüssigmist. Endbericht, Februar 2004. Im Auftrag von Multikraft GmbH, A4631 Haiding / Wels.

AMON, B., MOITZI, G., SCHIMPL, M., KRYVORUCHKO, V., WAGNER-ALT, C. (2002). Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures, Final Report 2002. On behalf of „Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environmental and Water Management“ and „Federal Ministry of Education, Science and Culture“.

AMON B., AMON T., BOXBERGER J., PÖLLINGER A. AND ZAUSSINGER A. (1996). Entwicklung einer Meßeinrichtung zur Erfassung umweltrelevanter Gasemissionen. Die Bodenkultur 47 (7), 247–253.

IPCC (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. In: Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Katzenberg, and K. Maskell, (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, U.K.