

Robert Vandré, Sebastian Wulf, Uwe Häußermann und Dieter Horlacher

# N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Lagerung von Festmist – Ableitung eines nationalen Emissionsfaktors

Für die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Lagerung von Festmist wurde anhand einer Literaturstudie geprüft, ob nationale Emissionsfaktoren für Deutschland definiert werden können. In Deutschland überwiegen stroharme Festmiste aus der Rinder- und Schweinehaltung, die in der Regel bis zu 6 Monate in offenen Mieten ohne weitere Behandlung gelagert werden. Den Literaturergebnissen zufolge ist die O<sub>2</sub>-Verfügbarkeit in den Festmistmieten die wesentliche Steuerungsgröße für die N<sub>2</sub>O-Emissionen. Eine belastbare Modellierung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Festmist aufgrund von Substrateigenschaften und Management ist jedoch nicht möglich. Aus 10 als repräsentativ für die deutschen Substrat- und Lagerungsverhältnisse ausgewählten Messungen wurde ein Emissionsfaktor für die Festmistlagerung (Solid storage) von 0,013 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup> abgeleitet.

## Schlüsselwörter

Lachgas, Festmist, Emissionsfaktor

## Keywords

Nitrous oxide, solid manure, emission factor

## Abstract

Vandré, Robert; Wulf, Sebastian; Häußermann, Uwe and Horlacher, Dieter

N<sub>2</sub>O emissions from solid manure storage – Calculation of a national emission factor

Landtechnik 68(1), 2013, pp. 38–42, 1 figure, 2 tables, 29 references

Based on a study of the literature it was assessed whether national emission factors for N<sub>2</sub>O emissions from the storage of solid manure could be reliably defined for application in Germany. In Germany solid manure from cattle and pig production usually is stored without further treatment for up to 6 months in open heaps. According to results given in the literature, O<sub>2</sub> availability in solid manure heaps is the most important influential factor governing N<sub>2</sub>O emissions. A reliable modelling of the N<sub>2</sub>O emissions from solid manure

based on substrate quality and management is, however, not possible. From measurements selected as representative of German substrate and storage heap conditions an emission factor for solid manure heaps (solid storage) of 0.013 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup> was calculated.

■ Mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls und der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) hat sich Deutschland verpflichtet, in regelmäßigen Abständen über die Emissionen klimarelevanter Gase zu berichten. Die deutsche Landwirtschaft trägt, wie zahlreiche andere Wirtschaftszweige, zur nationalen Treibhausgasbelastung bei. Nach den Emissionen aus der Bodennutzung und den enterischen Emissionen der Nutztierhaltung (bei der Verdauung) gehören Lagerung und Ausbringung von Gülle und Festmist zu den mengenmäßig bedeutenden Quellen klimarelevanter Gase in der Landwirtschaft.

Für die Erstellung der Treibhausgasinventare sind Richtlinien vorgegeben (IPCC Guidelines), in denen u.a. auch Emissionsfaktoren definiert sind, die Emissionen aus Wirtschaftsdüngern beschreiben. Diese sind anzuwenden, solange keine begründeten nationalen Emissionsfaktoren vorliegen. Die derzeit in der Berichterstattung anzuwendenden IPCC-Richtlinien von 1996 und 2000 [1; 2] geben für die Emissionen aus Festmistssystemen einheitlich einen Faktor von 0,02 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup> vor. Die neueren IPCC-Richtlinien von 2006 [3] differenzieren zwischen Festmistlagerung (Solid storage) mit 0,005 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup> und Stallhaltung auf Tiefstreu (Deep litter) mit 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup>.

Die Diskrepanz zwischen den offiziell gültigen Emissionsfaktoren in den IPCC-Richtlinien von 1996 und 2000 [1; 2] und denjenigen in den IPCC-Richtlinien von 2006 [3] wurde zum Anlass genommen, die verfügbare Literatur zu  $N_2O$ -Emissionen aus Festmistlagern der Rinder- und Schweinehaltung auszuwerten, die Anwendbarkeit der Ergebnisse auf die in Deutschland übliche landwirtschaftliche Praxis zu überprüfen und einen Emissionsfaktor für die Festmistlagerung (Solid storage) abzuleiten.

### Gasaustausch und Sauerstoffverfügbarkeit

Erhöhte  $N_2O$ -Emissionen können bei mittlerer oder kleinräumig variierender  $O_2$ -Verfügbarkeit auftreten [4]. Durch stark anaerobe Verhältnisse, wie sie etwa in einem Güllelager ohne Schwimmdecke herrschen, wird die  $N_2O$ -Bildung unterbunden, da keine Nitrifikation und damit auch keine Denitrifikation stattfindet. Bei stark aeroben Verhältnissen findet ebenfalls keine  $N_2O$ -Bildung statt, da die Nitrifikation vollständig verläuft (keine Nitrifizierer-Denitrifikation [4; 5]). Denitrifikation findet als obligat anaerobe Umsetzung ebenfalls nicht statt.

Die Hemmung der  $N_2O$ -Bildung bei sehr geringer und sehr guter  $O_2$ -Verfügbarkeit kann je nach Zustand des Wirtschaftsdüngers zu entgegengesetzten Effekten führen (**Abbildung 1**): In einem locker strukturierten Festmistlager (Fall 1) werden durch Behinderung des Gasaustausches, etwa durch Verdichtung oder Abdeckung (helle Pfeile), die  $N_2O$ -Emissionen erhöht. Eine Förderung des Gasaustausches etwa durch erhöhten Strohgehalt oder Belüftung (dunkle Pfeile) mindert dagegen die  $N_2O$ -Bildung. In einem kompakten Festmistlager mit hohem Wassergehalt und geringem Gasaustausch (Fall 2) werden ent-

gegengesetzte Effekte erzielt. Dies erklärt sich scheinbar widersprechende Literaturbefunde.

Wiederholt wurde eine positive Beziehung zwischen Gasaustausch und  $N_2O$ -Emission beobachtet. Eine aerobe Kompostierung des Mistes bei guter  $O_2$ -Verfügbarkeit durch erhöhten Gasaustausch, etwa durch häufiges Umsetzen der Miete, kann die  $N_2O$ -Bildung durch N-Mineralisierung und Selbsterhitzung fördern [6; 7]. Umgekehrt wird der Gasaustausch durch eine erhöhte Lagerungsdichte des Mistes, durch erhöhten Wassergehalt bzw. Niederschlag sowie durch Abdeckung der Mistmieten gemindert. Des Weiteren wird die Selbsterhitzung unterdrückt und die Temperatur in der Miete abgesenkt [8].

Andere Studien berichten hingegen von einer negativen Beziehung zwischen Gasaustausch und  $N_2O$ -Freisetzung. In verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass hohe Stroh- und Trockensubstanzgehalte, die mit erhöhtem Gasaustausch einhergehen, geringere  $N_2O$ -Emissionen bewirken [9; 10; 11; 12]. Bei Behinderung des Gasaustausches durch Verdichtung oder Abdeckung einer Tiefstreumiete wurde nach [13] eine Erhöhung der  $N_2O$ -Emission beobachtet. Hohe  $N_2O$ -Emissionen treten generell eher bei Festmist mit erhöhter Lagerungsdichte auf [5]. Hierbei ist ein Zusammenhang mit dem Substrattyp erkennbar. Rindertiefstreu weist im Mittel geringere Emissionen aus als Rinderfestmist aus anderen Haltungsverfahren. Da Tiefstreu mehr Stroh als andere Festmiste enthält, haben diese Substrate eine geringere Dichte, und somit kann von einem höheren Gasaustausch ausgegangen werden.

Bei hohen Strohgehalten und damit weiten C/N-Verhältnissen kann es auch zu einer mikrobiellen N-Immobilisierung kommen, die ebenfalls die  $N_2O$ -Bildung unterdrückt [12].

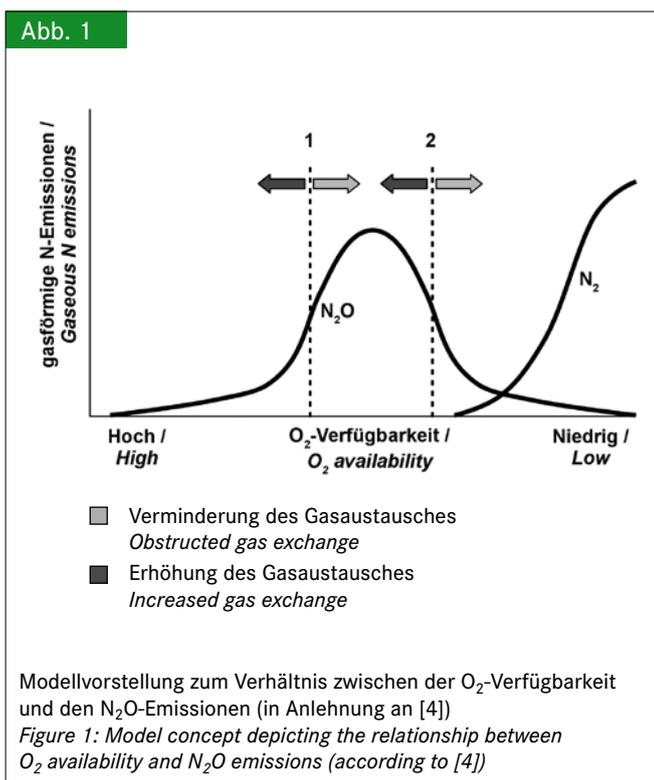
### Lagerdauer und Temperatur

Oft werden maximale Freisetzungen innerhalb weniger Tage nach dem Aufsetzen einer Miete beobachtet [11; 14; 15; 16] – in der Regel verläuft dieser Prozess parallel zur Selbsterhitzung der Miete. Häufig ist eine erhöhte  $N_2O$ -Freisetzung jedoch erst nach der Anfangsphase zu beobachten [6; 13; 17; 18; 19]. Nach [20] ist die verzögerte Freisetzung damit zu erklären, dass Nitrifikation und Denitrifikation keine thermophilen Prozesse sind und daher durch die anfängliche Selbsterhitzung gehemmt werden können.

Wiederholte Messungen zu verschiedenen Jahreszeiten zeigen höhere  $N_2O$ -Emissionen in der jeweils wärmeren Jahreszeit [8; 21; 22; 23]. Der Verlauf der Tagesemissionen folgt nach [24] den Tageshöchsttemperaturen. Insgesamt betrachtet ist jedoch keine eindeutige Beziehung zwischen Temperatur und  $N_2O$ -Freisetzung ableitbar, da sich in Festmistmieten sowohl zeitlich als auch räumlich sehr unterschiedliche Temperaturzonen ausbilden können [15].

Auch für die Dauer der Freisetzung gibt es keine Regel. Mit Ausnahme von [19] sind bei Ende der Messperiode stets noch – oft geringe – Emissionen nachweisbar. Wenn Mieten innerhalb der Messperiode umgesetzt werden, können hohe Emissionen auch gegen Ende der Messperioden auftreten [6].

Abb. 1



Tab. 1

Literaturangaben zu N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Festmist mit den Randbedingungen der Messungen. Nur unbehandelte Festmistmieten

Table 1: Literature information on N<sub>2</sub>O emissions from solid manure and boundary conditions of measurements. Untreated manure heaps only

	Tierart <i>Animal type</i>	Festmist-Typ <i>Manure type</i>	TM/DM [%]	N [g/kg FM]	Lagerdauer <i>Duration</i> [d]	Randbedingungen <i>Climate information</i>	Emissionsfaktor <i>Emission factor</i> [kg N <sub>2</sub> O-N/kg N]
Ahlgrimm et al. 2000 [17]	Schwein/ <i>Pig</i>	Tretmist/ <i>Straw courts</i>			100		0,01158
Ahn et al. 2011 [6]	Rind/ <i>Cattle</i>	-	24	4,3	80	-5 bis 10 °C	0,00588
Amon 1998 [18]	Rind/ <i>Cattle</i>	Anbindestall, Festmist <i>Tie stall, solid manure</i>	20	6,4	80	Juni-September <i>June-September</i>	0,008
			21	6,3	82	März-Juni <i>March-June</i>	0,013
Brown et al. 2002 [24]	Rind/ <i>Cattle</i>	-	16	5,7	ca. 90	ø 18,5 °C	(0,42 g N m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
Chadwick 2005 [8]	Rind/ <i>Cattle</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	20,2	5,3	96	Mai-August <i>May-August</i> , 12 bis 22 °C	0,023
			25,8	5,2	90	Dezember-März <i>December-March</i> , 0 bis 10 °C	0,001
			19,9	3,3	109	Juni-September <i>June-September</i> , 16 bis 26 °C	0,013
Espagnol et al. 2006 [28]	Schwein/ <i>Pig</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	36,1	12,0	90	Okt.-Dez./ <i>Oct.-Dec.</i> ; -2,5 bis 23 °C	0,032
Hao et al. 2001 [7]	Rind/ <i>Cattle</i>	Feedlot-Festmist <i>Feedlot solid manure</i>	29,5	17,7	90	5 bis 25 °C	0,00621
Hao et al. 2011 [29]	Rind/ <i>Cattle</i>	Feedlot-Festmist <i>Feedlot solid manure</i>	49,5	18,3	99	Sommer-Herbst <i>Summer-Autumn</i> , ø 11,3 °C	0,00029
			44,9	20,3	99	Sommer-Herbst <i>Summer-Autumn</i> , ø 11,3 °C	0,00057
Mathot et al. 2012 [22]	Rind/ <i>Cattle</i>	Anbindestall, Festmist <i>Tie stall, solid manure</i>	16,4/20,5	5,6/6,8	ca. 120	Winter-Frühjahr <i>Winter-Spring</i>	0,00104
Osada et al. 2001 [14]	Rind/ <i>Cattle</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	41	5,6	57	Juli-August <i>July-August</i>	0,0022
Petersen et al. 1998 [4]	Schwein/ <i>Pig</i>	-	24,6	11,5	ca. 60-100	Frühjahr-Sommer <i>Spring-Summer</i> , ø 16,9 °C	0,001-0,005
Sneath et al. 2006 [27]	Rind/ <i>Cattle</i>	Laufstall, Festmist <i>Loose housing, solid manure</i>	26,7	8,44			0,00511
Sommer 2001 [13]	Rind/ <i>Cattle</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	36	8,7	132	Oktober-März <i>October-March</i>	0,0012
Sommer und Dahl 1999 [19]	Rind/ <i>Cattle</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	42	8,4	197	Oktober-Januar <i>October-January</i> , Windeinfluss <i>influenced by wind</i>	0,000046
Sommer und Møller 2000 [11]	Schwein/ <i>Pig</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	24	7,2	143	April-August <i>April-August</i>	0,0081
Thorman et al. 2007 [16]	Schwein/ <i>Pig</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	25	7,8	ca. 360	ab Ende März <i>from the end of March</i>	0,02630
	Rind/ <i>Cattle</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	19,8	5,2	ca. 360	ab Mitte April <i>from mid of April</i>	0,04320
Wolter et al. 2004 [15]	Schwein/ <i>Pig</i>	Tiefstreu/ <i>Deep litter</i>	36	12,5	113	Oktober-Februar <i>October-February</i>	0,019

Tab. 2

Zur Berechnung des mittleren Emissionsfaktors verwendete Messungen  
 Table 2: The measurements used for calculating the average emission factor

	Tierart Animal type	Emissionsfaktor Emission factor [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]
Ahlgrim et al. 2000 [17]	Schwein/Pig	0,01158
Ahn et al. 2011 [6]	Rind/Cattle	0,00588
Amon 1998 [18]	Rind/Cattle	0,00518
	Rind/Cattle	0,00802
Chadwick 2005 [8]	Rind/Cattle	0,023
	Rind/Cattle	0,001
Mathot et al. 2012 [22]	Rind/Cattle	0,00104
Sommer und Møller 2000 [11]	Schwein/Pig	0,0081
Thorman et al. 2007 [16]	Schwein/Pig	0,0263
	Rind/Cattle	0,0432

Da Festmistmieten, anders als bei fast allen in der Literatur dokumentierten Messungen, in der Regel fortlaufend durch neuen Dung ergänzt werden, ist in der Praxis in jedem Falle mit fortgesetzter N<sub>2</sub>O-Bildung während der gesamten Lagerdauer zu rechnen.

### Festmistlagerung in Deutschland

Für Betriebe mit Festmistanfall sind nach der Düngeverordnung befestigte, ortsfeste Lagerplätze mit einer Kapazität für 180 Tage vorzusehen [25]. Des Weiteren können zeitlich begrenzt Festmistzwischenlager auf landwirtschaftlichen Nutzflächen angelegt werden.

Nach Angaben aus der KTBL-Arbeitsgruppe „Anfallmengen Festmist“ beträgt die Dauer der Mistlagerung bis zur Ausbringung meist ca. 6 Monate. Da das Material kontinuierlich abgelagert wird, beträgt die Lagerzeit im Mittel 3 Monate. Die wichtigsten Ausbringungszeiträume für Festmiste sind das Frühjahr und der Spätsommer bzw. Herbst. In der Regel erfolgt weder eine aktive Verdichtung der Miste noch eine Umsetzung zur Förderung des aeroben Abbaus.

### Literaturrecherche

Für die Ableitung von Emissionsfaktoren wurde Primärliteratur herangezogen, in der Messungen der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Lagerung von Festmist dokumentiert sind, die unter praxisrelevanten Bedingungen durchgeführt wurden. Nicht berücksichtigt wurden etwa Messungen in gering dimensionierten Versuchsbehältnissen (Grundfläche 1 m<sup>2</sup> oder kleiner, Menge kleiner 1 m<sup>3</sup>) sowie Messungen ohne ausreichende Angaben zu den Versuchsbedingungen.

### Ableitung von Emissionsfaktoren

Die praxisrelevanten Messungen von N<sub>2</sub>O-Emissionen wurden mit ihren Versuchs- und Randbedingungen tabellarisch zusam-

mengestellt und auf kg N<sub>2</sub>O-N pro kg Gesamt-N normiert. Dann wurden aus den Messungen nach den folgenden Kriterien diejenigen Werte ausgewählt und bewertet, die als repräsentativ für die Verhältnisse in Deutschland gelten können:

- Da in Deutschland Festmist in der Regel nicht zusätzlich verdichtet oder kompostiert wird, wurden nur Ergebnisse aus unbehandelt gelagertem Festmist berücksichtigt (Tabelle 1).

- Für Rinder- und Schweinefestmiste sind in Deutschland mittlere TM-Gehalte von 20 bis 25 % und N-Gehalte von 4,8 bis 9,7 g/kg FM typisch (N nach Abzug von Lagerverlusten [26]). In Anlehnung an diese Werte wurden Substrate mit TM ab 18,5 % [22] bis 25,8 % [8] sowie mit N ab 4,3 g/kg FM [6] bis 12 g/kg FM berücksichtigt.

Eine Studie mit Schrägbodenhaltung wurde in der engeren Auswahl berücksichtigt, obwohl keine Substrateigenschaften angegeben worden waren [17]. Aus den auf diese Weise ausgewählten Werten wurde als Vorschlag für den Emissionsfaktor der Mittelwert gebildet.

### Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt konnten 17 Veröffentlichungen mit praxisrelevanten Messungen zur Ausgasung von N<sub>2</sub>O aus Rinder- und Schweinefestmist zusammengestellt werden (Tabelle 1). Bei Dreien hiervon waren die Angaben zu ungenau zur Ableitung von Emissionsfaktoren oder nicht eindeutig, weil keine Mistmenge angegeben bzw. nur eine kurze Messperiode betrachtet wurde [24], N<sub>2</sub>O-Ergebnisse nur als Spanne angegeben wurden [4] oder Daten in Text und Abbildungen nicht übereinstimmten [19]. Weitere Veröffentlichungen wiesen keine Behandlungsvariante auf, die den Verhältnissen in Deutschland entspricht (Feedlot-Mist mit Sägespänen und Kompostierung [7], Kompostierung in einem Stallgebäude [27]).

Für die oben genannten in Deutschland typischen Trockenmasse- und N-Gehalte von Festmist verblieben 7 Untersuchungen mit insgesamt 10 unabhängigen N<sub>2</sub>O-Emissionsmessungen von unbehandelten festen Wirtschaftsdüngern (Tabelle 2).

Auch für die meisten der ausgewählten Messungen unterscheiden sich die Lagerbedingungen von den für Deutschland als typisch erachteten. Bei einigen Messungen kann eine Minderung der N<sub>2</sub>O-Bildung durch erhöhte Strohgehalte vermutet werden. Außerdem sind Messungen in der kalten Jahreszeit unterrepräsentiert, wodurch gegenüber dem Mittel erhöhte N<sub>2</sub>O-Emissionen verursacht werden könnten.

Da jedoch auf der Grundlage der vorliegenden Informationen eine sichere, weitergehende Bewertung dieser Messungen nicht möglich ist, wurde keine Wichtung vorgenommen und alle Messungen als gleich relevant angesehen.

### Schlussfolgerungen

Das arithmetische Mittel der zehn als repräsentativ ausgewählten Messungen beträgt 0,013 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup>. Dieser Wert wird als nationaler Emissionsfaktor für N<sub>2</sub>O aus der Festmistlagerung empfohlen. Die Genauigkeit des Emissionsfaktors und

damit der Inventarberechnung kann nur erhöht werden, wenn weitere Messungen über die gesamte Lagerdauer und unter Praxisbedingungen – am besten auf Praxisbetrieben – durchgeführt und unter Angabe der Messbedingungen dokumentiert werden. Zu den zur Einordnung von Messungen notwendigen Parametern zählen die Haltungsbedingungen, unter denen der Festmist gebildet wurde, hier insbesondere die Einstreuemengen sowie die Beschreibung des Mistlagers und der Witterung während der Messung.

## Literatur

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual (Volume 3). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.html>. Zugriff am 13.03.2012
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/4\\_Agriculture.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/4_Agriculture.pdf); Zugriff am 10.05.2012
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Zugriff am 29.08.2011
- [4] Petersen, S. O. (2011): Methane and nitrous oxide emissions from livestock manure: The scientific basis. In: Emissionen der Tierhaltung. Treibhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik. KTBL-Schrift 491, Darmstadt, S. 122–133
- [5] Webb, J.; Sommer, S.G.; Kupper, T.; Groenestein, K.; Hutchings, N.J.; Eurich-Menden, B.; Rodhe, L.; Misselbrook, T.H.; Barbara Amon, B. (2011): Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane During the Management of Solid Manures. *Agroecology and Strategies for Climate Change, Sustainable Agriculture Reviews* 8, pp. 67–107
- [6] Ahn, H.K.; Mulbry, W.; White, J.W.; Kondrad, S.L. (2011): Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresource Technology* 102, S. 2904–2909
- [7] Hao, X.; Chang, C.; Larney, F.J.; Travis, G.R. (2001): Greenhouse Gas Emissions during Cattle Feedlot Manure Composting. *J. Environ. Qual.* 30, pp. 376–386
- [8] Chadwick, D.R. (2005): Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment* 39, pp. 787–799
- [9] Ahlgrimm, H.-J.; Hüther, L.; Schuchardt L. (1998): Ausmaß der Emissionen von N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> bei der Behandlung und Lagerung tierischer Exkremente. In: Abschlussbericht zum Projekt A1a.5 des BMBF-Klimateilschwerpunktes „Spurenstoffkreisläufe“, Braunschweig, FAL
- [10] Külling, D.R.; Menzi, H.; Kröber, T.F.; Neftel, A.; Sutter, F.; Lischer, P.; Kreuzer, M. (2001): Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *Journal of Agricultural Science* 137, pp. 235–250
- [11] Sommer S.G.; Möller H.B. (2000): Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production – effect of straw content. *Journal of Agricultural Science* 134, pp. 327–335
- [12] Yamulki, S. (2006): Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, pp. 140–145
- [13] Sommer, S.G. (2001): Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *European Journal of Agronomy* 14, pp. 123–133
- [14] Osada, T.; Sommer, S.G.; Dahl, P.; Rom, H.B. (2001): Gaseous emission and changes in nutrient composition during deep litter composting. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 51(3), pp. 137–142
- [15] Wolter, M.; Prayitno, S.; Schuchardt, F. (2004): Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. *Bioresource Technology* 95, pp. 235–244
- [16] Thorman, R.E.; Chadwick D.R.; Harrison R.; Boyles L.O.; Matthews, R. (2007): The effect on N<sub>2</sub>O emissions of storage conditions and rapid incorporation of pig and cattle farmyard manure into tillage land. *Biosystems Engineering* 97, pp. 501–511
- [17] Ahlgrimm, H.-J.; Breford, J.; Asendorf, W. (2000): Methane and nitrous oxide emissions from different forms of pig fattening. In: *AgEng Warwick 2000: full papers, agricultural engineering into the third millennium*, 02.–07.07.2000, Warwick, ESAE
- [18] Amon, B. (1998): NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Festmistverfahrens-kette Milchviehanbindehaltung Stall - Lager - Ausbringung. Dissertation am Institut für Land-, Umwelt und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien. VDI-MEG, Forschungsbericht Agrartechnik 331
- [19] Sommer, S.G.; Dahl, P. (1999): Nutrient and Carbon Balance during the Composting of Deep Litter. *J. agric. Engng Res.* 74, pp. 145–153
- [20] Chadwick, D.; Sommer, S.; Thorman, R.; Fanguero, D.; Cardenas, L.; Amon, B.; Misselbrook, T. (2011): Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166–167, pp. 514–531
- [21] Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) (ohne Jahresangabe): The Effect of FYM Storage Conditions and Land Application Practices on N<sub>2</sub>O Emissions. Research Project Final Report, Defra Project code CC0246, 2000–2004, [http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CC0246\\_7027\\_FRP.doc](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CC0246_7027_FRP.doc), Zugriff am 18.1.2013
- [22] Mathot, M.; Decruyenaere, V.; Stilmant, D.; Lambert, R. (2012): Effect of cattle diet and manure storage conditions on carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions from tie-stall barns and stored solid manure. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 148, pp. 134–144
- [23] Petersen, S. O.; Lind, A. M.; Sommer, S.G. (1998): Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure. *Journal of Agricultural Science* 130, pp. 69–79
- [24] Brown, H.A.; Wagner-Riddle, C.; Thurtell, G.W. (2002): Nitrous oxide flux from a solid dairy manure pile measured using a micrometeorological mass balance method. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62, pp. 53–60
- [25] Düngeverordnung – DüV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen
- [26] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.) (2010): Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11. KTBL, Darmstadt
- [27] Sneath, R.W.; Beline, F.; Hilhorst, M.A.; Peu, P. (2006): Monitoring GHG from manure store on organic and conventional dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, pp. 122–128.
- [28] Espagnol, S.; Hassouna, M.; Robin, P.; Levasseur P.; Paillat J.-M. (2006): Emissions gazeuses de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> lors du stockage de fumier de porc provenant d'une litière accumulée: effets du retournement. *Journées Recherche Porcine* 38, pp. 41–48
- [29] Hao, X.; Benke, M.; Larney, F.J.; McAllister, T.A. (2011): Greenhouse gas emissions when composting manure from cattle fed wheat dried distillers' grains with solubles. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89, pp. 105–114

## Autoren

**Dr. Robert Vandré, Dr. Sebastian Wulf, Uwe Häußermann** und **Dr. Dieter Horlacher** sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Arbeitsbereich Klimaschutz am Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt, E-Mail: [r.vandre@ktbl.de](mailto:r.vandre@ktbl.de)