

Bewertung von Einstreumaterialien für Liegeboxen in der Milchviehhaltung

Florian Mader, Alexander J. Schmithausen, Manfred Trimborn, Sebastian Hoppe, Wolfgang Büscher

In modernen Milchviehhaltungssystemen sind die Liegeboxen der Tiere meist mit organischen Materialien eingestreut, was sich positiv auf das Liegeverhalten der Kühe und die Hygiene in den Liegeboxen auswirken soll. Zielsetzung der durchgeführten Untersuchung war es, unterschiedliche organische Einstreumaterialien im Liegeboxenbereich auf ihre ökonomischen und klimarelevanten Eigenschaften zu testen. Die verwendeten Einstreumaterialien zeigten große Unterschiede hinsichtlich der Akzeptanz durch die Tiere sowie bezüglich des Arbeits- und Kostenaufwands. Außerdem wurden die aus der Einstreu entweichenden klimarelevanten Gase und das Emissionspotenzial untersucht. Die Emissionen aus den eingestreuten Flächen sind gering, verglichen mit weiteren Emissionsquellen im Stall (CH_4 aus der Verdauung und Flüssigmistlagerung) oder den Emissionen (N_2O) bei und nach der Ausbringung von Flüssigmist auf dem Feld. Die gemessenen Emissionen aus den verwendeten Einstreumaterialien sind auch dann noch vernachlässigbar gering, wenn die gesamten Liegeboxen eines Stalls mit den verwendeten organischen Materialien eingestreut würden.

Schlüsselwörter

Einstreu, Lachgas, Methan, Emission, Liegeverhalten

Milchkühe verbringen 10,8 bis 13 Stunden täglich in der Liegebox, da wichtige Aktivitäten wie das Wiederkäuen fast ausschließlich im Liegen stattfinden (WILLEN 2004, WIERENGA und HOPSTER 1990, PELZER et al. 2012). Defizite im Bereich der Liegeflächengestaltung können daher zu Leistungsdepressionen bei den Milchkühen führen (HAIDN et al. 2005). Welche Einstreu sich für ein bestimmtes System eignet, ist bei der existierenden Bandbreite organischer Einstreumaterialien oftmals nicht eindeutig. Die Einstreu dient dazu, eine stabile und flexible Fläche zu bilden, um den Tieren einen möglichst hohen Komfort zu bieten (PELZER et al. 2012). Für den Landwirt sollte das Einstreumaterial ein positives Verhältnis von Kosten und Nutzen aufweisen. Der Liegebereich hat neben dem Lauf- und Fressbereich den größten Flächenanteil im Stall. Aus ökologischer Sicht waren im Jahr 2014 rund 7,3 % der nationalen Emissionen klimarelevanter Gase aus dem Agrarsektor auf die Produktion tierischer Produkte und besonders auf die Rinderhaltung zurückzuführen (UBA 2017). Durch die moderne Bauweise offener, quergelüfteter Milchviehställe stellt sich die Quantifizierung klimarelevanter Gase gegenüber zwangsbelüfteten Ställen als Herausforderung dar (AMON et al. 2001). Eine Abluftreinigung, wie in zwangsbelüfteten Ställen, ist nicht möglich. Das Ziel dieser Studie war es, Liegeboxen und deren Einstreumaterialien als mögliche Emissionsquelle verschiedener Treibhausgase im Stall zu untersuchen.

In Milchviehstallungen wurden bereits sehr geringe klimarelevante Konzentrationen von Lachgas (N_2O) gemessen (SCHMITHAUSEN et al. 2016). In welchem Umfang gerade organische Einstreumaterialien im Liegebereich der Tiere relevante Treibhausgase wie beispielsweise N_2O emittieren, wurde

noch nicht hinreichend untersucht (PLACE et al. 2011). Aus diesem Grund stehen insbesondere die Entstehungs- bzw. Quellorte von N_2O im wissenschaftlichen Interesse.

Aus der Kombination von organischem Material und stickstoffhaltigen Ausscheidungen sowie dem Wechsel aus trockenen und feuchten Phasen mit aeroben und anaeroben Bedingungen und temporär erhöhten Temperaturen lässt sich ein erhöhtes Potenzial zur Bildung von Lachgasemissionen aus dem Einstreumaterial der Liegeplätze ableiten.

Der durchgeführte Versuch zeigt, mit welchen Vor- und Nachteilen die Verwendung ausgewählter organischer Einstreumaterialien in Tiefboxen in der konventionellen Milchviehhaltung verbunden ist. Es wurden die meist verwendeten Einstreumaterialien Stroh und Sägemehl (JEPPSSON 1998, ROBIN et al. 1999, NICKS et al. 2004), Miscanthus und separiertes Gärsubstrat auf die Akzeptanz durch die Tiere sowie auf ökologische und ökonomische Aspekte untersucht.

Material und Methode

Versuchsstall und Versuchstiere

Die Versuche wurden in einem freibelüfteten Milchviehstall des Versuchs- und Bildungszentrums Landwirtschaft Haus Riswick der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen in Kleve durchgeführt. Der Liegeboxenlaufstall des Versuchsbetriebes besitzt ein Trauf-First-Lüftungssystem, bei dem in den Sommermonaten Ventilatoren zugeschaltet werden können. Der für den Versuchszeitraum relevante Stallbereich ist mit 72 Tiefboxen mit 15 cm Aufkantung, ca. 2,75 m² pro Tier, ausgestattet. Diese werden außerhalb von Versuchsdurchführungen praxisüblich mit Strohmehl eingestreut. Die Laufgänge sind mit Spaltenboden ausgestattet und werden 13-mal täglich mit einem Spaltenreinigungsroboter (JT200, Firma JOZ BV, KK Westwoud, Niederlande) abgeschoben. Im gesamten Stall befanden sich während des Versuchszeitraums 90 Milchkühe der Rasse Holstein-Friesian. Den Tieren standen durchgehend weitere Liegeboxen gleicher Bauweise im Nebengebäude zur Verfügung. Dadurch bestand ein Tier-Liegeplatz-Verhältnis von 1:2.

Einstreumaterialien

Über einen Zeitraum von 4 Wochen (22.04.2016 bis 21.05.2016) wurden sechs unterschiedliche Einstreumaterialien verglichen. In insgesamt 20 Liegeboxen wurden folgende organische Materialien eingestreut: separiertes Gärsubstrat (A), Strohmehl (B), gehäckseltes Miscanthus mit 8 mm Häcksellänge (C), Miscanthusmehl (D), Sägemehl (E) und Kalk-Stroh-Gemisch (Verhältnis 5:1, Langstroh, Kalkprodukt: DESICAL[®] spezial mit Hauptinhaltsstoff $CaMgO_2$) (F). Eine Vermischung der Materialien zwischen den einzelnen Liegeboxen war ausgeschlossen (Abbildung 1). Alle übrigen Liegeboxen im Stall waren mit Strohmehl (Referenz) eingestreut und wurden im weiteren Verlauf des Versuches nicht weiter berücksichtigt. Die Position der beprobten Liegeboxen im Versuchsstall wurde so gewählt, dass einerseits der Kuhverkehr im Futtergang und andererseits Witterungseinflüsse an der Traufseite des Stalles einen möglichst geringen Einfluss auf die Versuchsboxen hatten (Abbildung 1). Vor Versuchsbeginn fand eine 14-tägige Eingewöhnungsphase der Tiere an die Materialien statt.

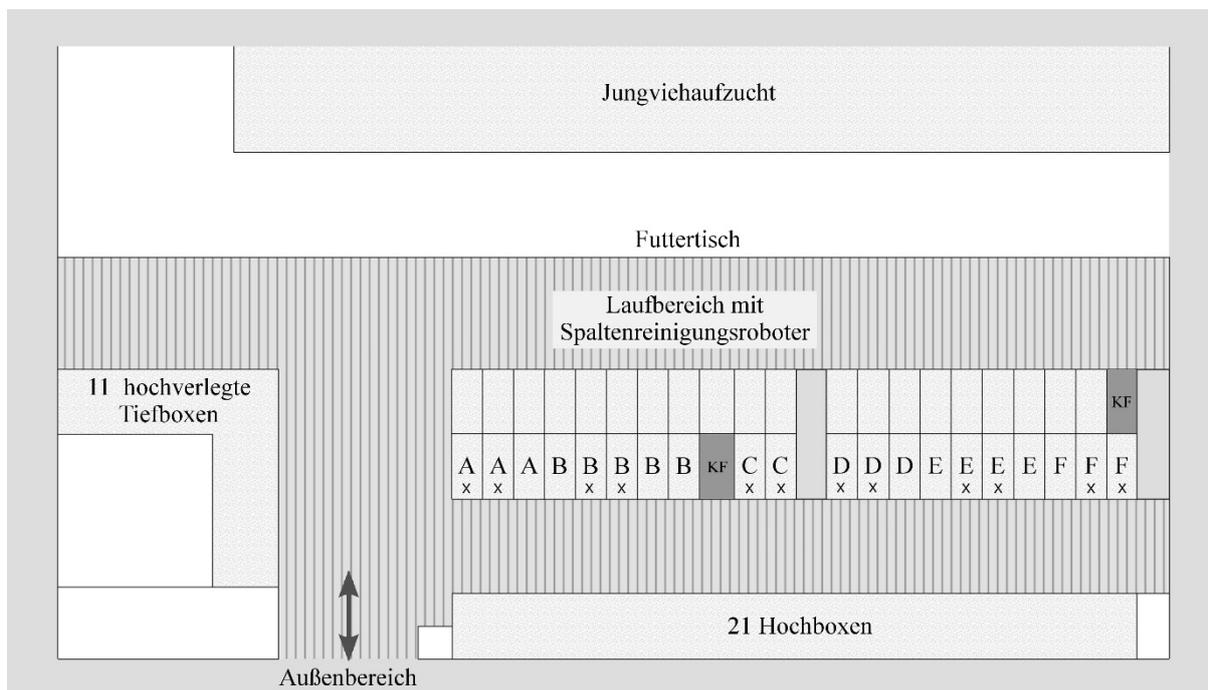


Abbildung 1: Skizze der Versuchsstallung sowie der untersuchten Liegeboxen (A–F: Liegeboxen mit unterschiedlichen Einstreumaterialien, x: Positionierung der Messhauben, KF: Kraftfutterstation)

Materialverbrauch und Tierverhalten

Die Liegeboxenpflege wurde morgens und abends jeweils vor den Melkzeiten durchgeführt. Nach guter fachlicher Praxis wurden die Materialien, wie im übrigen Stallbereich auch, bei Bedarf regelmäßig manuell nachgestreut. In der Versuchsphase wurde alle 3 Tage nach Bedarf nachgestreut. Die Einstreumengen wurden exakt erfasst und mit Literaturangaben verglichen. Diese Daten sollten im Abgleich mit den aktuellen Rohstoff-Marktpreisen kalkulatorisch verglichen werden. Aufgrund jahreszeitlicher Effekte lässt sich für den hier dargestellten Versuchszeitraum jedoch keine Kalkulation eines jährlichen Gesamteinstreubedarfs abbilden. Die Akzeptanz durch die Tiere wurde anhand der Anzahl der liegenden Tiere je Material, und zwar drei Stunden nach den Melkzeiten, durch Direktbeobachtungen zweimal täglich erfasst. Eine beobachtete Belegung wurde definiert als ein in der Liegebox liegendes Tier. In der Liegebox stehende Tiere wurden nicht einbezogen. Insgesamt wurden 16 Beobachtungen parallel zu den Gasprobenahmezeitpunkten und 2 weitere Beobachtungen 2 Wochen nach den Versuchen durchgeführt. Zur Auswertung wurden die relativen Anteile der liegenden Tiere in den Liegeboxen mit den entsprechenden Materialien ermittelt.

Messmethodik klimarelevanter Gase

Die Messung der klimarelevanten Gase erfolgte mithilfe der Closed-Chamber-Methode nach HUTCHINSON und MOSIER (1981). Über einen Zeitraum von vier aufeinanderfolgenden Messtagen wurden jeweils zwei Messhauben je Material eingesetzt. Die Messzeiten waren jeweils ab 06:00 Uhr und ab 17:00 Uhr. Jede Messhaube wurde mittig im hinteren Drittel der Liegebox positioniert (Abbildung 2), ein Bereich, der unter praxisnahen Bedingungen eher verschmutzt ist. Über einen Zeitraum von 30 min wurden 4 Proben (Zeitpunkt 0, 10, 20 und 30 min nach Aufsetzen der Messhaube) mithilfe von evakuierten Headspace Vials (20 ml) durch ein Gummiseptum an der Messhaube entnommen.

Durch den Konzentrationsanstieg über die Zeit können die Gase Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) als Emissionsrate kalkuliert werden. Insgesamt wurden $n = 64$ Gasproben je Material analysiert. Die Gaskonzentrationen wurden an einem Gaschromatographen im Labor analysiert. Der Versuchsaufbau für diese Messmethodik wurde in Anlehnung an DE KLEIN und HARVEY (2012) durchgeführt.

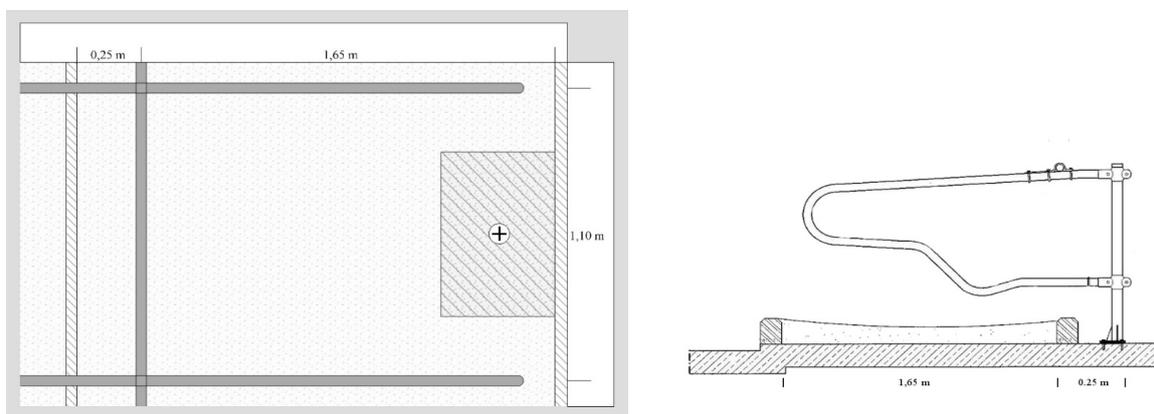


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Position der Messhaube innerhalb der Liegebox (links), Seitenansicht Liegebox (rechts, verändert nach Firma Sulzberger)

Ergebnisse und Diskussion

Akzeptanz der Einstreumaterialien beim Tier

Abbildung 3 zeigt die relativen Häufigkeiten liegender Kühe in den unterschiedlich eingestreuten Liegeboxen. Wird Strohmehl als Referenz angesehen, haben die Tiere die Materialien Sägemehl, Kalkstroh und Miscanthusmehl in einer tendenziell leicht erhöhten Frequenz angenommen.

Das gehäckselte Miscanthus wurde selten bevorzugt, was möglicherweise auf die gröbere Struktur und folglich auf den geringeren Liegekomfort zurückzuführen ist. Vermehrt nahmen in der Liegebox stehende Tiere gehäckseltes Miscanthus als Futter auf. Die mit separiertem Gärsubstrat gefüllten Liegeboxen wurden selten von den Tieren aufgesucht (Abbildung 3). Die Frage, ob die Tiere aufgrund der vielfältigen Materialauswahl und der subjektiv deutlich wahrnehmbaren Geruchsentwicklung des separierten Gärsubstrats dieses meiden, bleibt zu klären. Nach HÖRNING (2003) sollten wichtige Parameter, wie z.B. die Anzahl stehender Tiere oder die Liegeposition, zur Erkennung der Akzeptanz herangezogen werden.

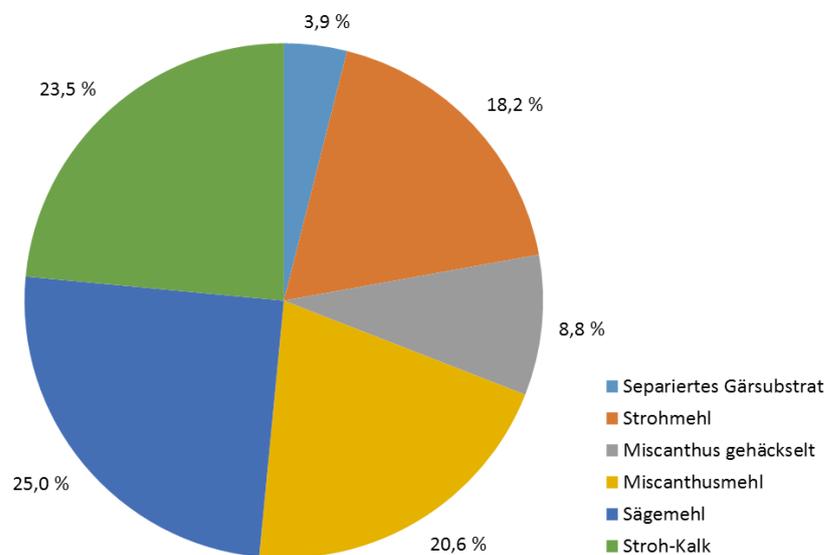


Abbildung 3: Darstellung der relativen Besuchshäufigkeit der Liegeboxen mit unterschiedlichen Einstreumaterialien

Aufwand und Kosten

Tabelle 1 zeigt die erforderlichen Aufwandmengen der Einstreumaterialien und die Kosten je Kilogramm. Die Einstreumengen zur erstmaligen Einrichtung der Boxen betragen ca. 210 Liter pro Box (Einstreuhöhe ca. 10 cm). Die aufgeführten Nachstreumengen richten sich nach dem Verbrauch über den Versuchszeitraum.

Tabelle 1: Kosten und Mengen an Grundeinstreu und des täglich benötigten Einstreumaterials

Material	Separiertes Gärsubstrat	Strohmehl	Miscanthus	Miscanthusmehl	Sägemehl	Kalk-Stroh
Kosten ¹⁾ in € kg ⁻¹	0,01	0,26	0,15	0,16	0,32	0,11
Grundeinstreu in kg Box ⁻¹	67	ca. 30	113	68	32	195
Nachstreumenge in kg Box ⁻¹ d ⁻¹	4,8	1,6	2,1	3,2	1,3	6,5

¹⁾ Regionale Marktpreise, Stand 04/2016.

Im Vergleich zu den übrigen Einstreumaterialien zeigt sich, dass separiertes Gärsubstrat geringere Rohstoffkosten bei erhöhtem Materialaufwand aufweist. Sowohl separiertes Gärsubstrat als auch Kalk-Stroh erfordern allerdings einen zusätzlichen Arbeitsaufwand, da sie bei der Ersteinrichtung einer Liegefläche zunächst verdichtet werden müssen. Zudem ist die Herstellung des separierten Gärsubstrats durch die Verwendung eines Separators mit zusätzlichem technischen Aufwand verbunden. Dies wurde in dieser Kalkulation nicht berücksichtigt, da Investitionen in derartige Technik in der Praxis häufig gemeinschaftlich oder durch ein Lohnunternehmen getätigt werden. Die Materialkosten setzen sich hauptsächlich aus den Anschaffungskosten der Technik und dem Nutzungsgrad der Separierungsanlage zusammen. ZÄHNER et al. (2009) weisen darauf hin, dass die Kosten für diese Technik einen hohen Anteil an den Gesamtkosten für dieses Material ausmachen. Die übrigen Einstreumaterialien, die in Form einer losen Schüttung in die Box eingebracht werden, sind weniger arbeitsintensiv und es fielen keine zusätzlichen Produktionskosten an.

Der tägliche Materialaufwand für separiertes Gärsubstrat wurde mit $4,8 \text{ kg Box}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ermittelt. Auch HOHENBRINK (2011) hatte mit $5 \text{ kg Box}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ähnliche Aufwandsmengen. PELZER et al. (2012) hingegen stellten einen deutlich geringeren Materialaufwand mit $2,3 \text{ kg d}^{-1}$ fest. HEIDENREICH (2010) und PELZER et al. (2012) ermittelten für Kalk-Stroh eine tägliche Aufwandmenge von $1,1$ bis $1,4 \text{ kg Box}^{-1}$. In der vorliegenden Untersuchung wurden für Kalk-Stroh täglich im Mittel ca. $6,5 \text{ kg Box}^{-1}$ nachgestreut (Tabelle 1). Es konnte dabei beobachtet werden, dass die Tiere insbesondere das Kalk-Stroh-Gemisch vermehrt aus der Box getragen haben, was die große Differenz zu den Ergebnissen der Versuche von PELZER et al. (2012) und HEIDENREICH (2010) erklären könnte. Des Weiteren wurde festgestellt, dass unter anderem durch das Wässern von Kalk-Stroh bei der Ersteinrichtung vermehrt Einstreumaterial an den Klauen haften blieb und auf die Spalten getragen wurde. Dies beobachteten auch KANSWOHL und SANFTLEBEN (2006) und folgerten daraus einen deutlich erhöhten Materialaufwand. In dem vorgestellten Versuch verursachte das herausgetragene Kalk-Stroh zusätzlichen Arbeitsaufwand, da Probleme mit dem automatischen Entmistungssystem manuell behoben werden mussten, indem der Spaltenboden gereinigt und der Entmistungsroboter wieder in Gang gesetzt wurde. Im Gegensatz zu feiner strukturierten Materialien konnte Kalk-Stroh nicht mehr problemlos durch die Spalten abgeführt werden und verstopfte diese. Verstärkt wurde dieser Umstand durch das trocken-warme Klima ($\varnothing 19,8 \text{ }^\circ\text{C}$) während der Versuchszeit: Das herausgetragene Material verkrustete rasch in Verbindung mit den Exkrementen. Dadurch ließ mit zunehmender Verschmutzung der Spalten die Reinigungskraft des Entmistungsroboters nach. Auch HOHENBRINK (2011) beobachtete das Herausragen von Einstreumaterial unter Einsatz von Sägemehl. Im Rahmen des durchgeführten Versuchs konnte dieser Effekt in Bezug auf Sägemehl nicht bestätigt werden.

Einstreumaterialien, die als lose Schüttung in die Liegebox eingebracht wurden, wie Strohmehl, Miscanthusmehl und Sägemehl, hatten einen geringeren Aufwand bei der Ersteinrichtung einer Liegefläche als jene Materialien, die eine feste Matratze ausbilden, wie separiertes Gärsubstrat und Kalk-Stroh. Der Arbeitszeitaufwand für die tägliche Liegeboxenpflege und der Materialaufwand waren bei den losen Schüttgütern im Vergleich zu den Matratzen ausbildenden Einstreumaterialien geringer (Tabelle 1), wobei die Mengen zur Grundeinstreu in allen Materialien variierten.

Klimarelevanz

Tabelle 2 zeigt die während der Versuchsphase gemessenen Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O pro Quadratmeter und Stunde. Die unterschiedlichen CO₂-Äquivalenzen (CO₂e) bei den drei Treibhausgasen nach IPCC (2007) wurden berücksichtigt (CO₂ = 1 CO₂e, CH₄ = 25 CO₂e, N₂O = 298 CO₂e).

Tabelle 2: Mittelwerte der Emissionen der Treibhausgase CH₄, CO₂ und N₂O aus den einzelnen Einstreumaterialien des Versuchs über den gesamten Messzeitraum von vier Tagen in mg m⁻² h⁻¹

		Separiertes Gärsubstrat	Strohmehl	Gehäckseltes Miscanthus	Miscanthus- mehl	Sägemehl	Kalk-Stroh
CO ₂	Ø	410,40	1.609,87	449,56	1.877,48	1.499,10	1.745,02
	Min.	-279,19	765,53	0,00	709,62	468,26	619,64
	Max.	784,37	3.027,97	1.002,71	5.307,80	2.903,93	2.730,98
	σ	340,72	882,88	307,71	1.306,09	853,72	958,44
CH ₄	Ø	-0,18	0,38	0,01	0,02	0,35	0,12
	CO ₂ e	-4,50	9,50	0,15	0,50	8,75	3,00
	Min.	-0,43	0,00	-0,25	-0,87	-0,09	-0,40
	Max.	0,00	1,41	0,11	1,69	1,32	0,36
	Σ	0,19	0,59	0,12	0,45	0,45	0,33
N ₂ O	Ø	1,25	0,05	0,16	0,26	0,27	0,02
	CO ₂ e	372,50	14,90	47,68	77,48	80,46	5,96
	Min.	0,41	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
	Max.	3,92	0,09	0,54	0,60	0,72	0,08
	σ	1,22	0,04	0,21	0,18	0,25	0,04

Ø: arithmetisches Mittel.

Min.: kleinster gemessener Wert.

Max.: größter gemessener Wert.

σ: Standardabweichung.

Da es sich bei allen Materialien um Erzeugnisse aus pflanzlichen Rohstoffen handelt, die in ihrer Wachstumsphase Kohlendioxid aus der Atmosphäre gebunden haben, wurden die Emissionen von CO₂ als klimaneutral angesehen (PHILIPPE und NICKS 2015). Niedrigere Emissionen von CO₂ bei separiertem Gärsubstrat könnten darauf zurückzuführen sein, dass im separierten Gärsubstrat bereits ein großer Teil der leicht abbaubaren Kohlenhydrate während der Produktion von Biogas abgebaut wurden. Weiterhin könnte durch die Wärme der liegenden Tiere der mikrobielle Abbau der organischen Einstreumaterialien gefördert worden sein. Bei separiertem Gärsubstrat dagegen könnte die geringere Belegung der Liegeflächen ein weiterer Grund für die niedrigen CO₂-Emissionen sein.

Zusätzlich stellen Verschmutzungen aus Exkrementen der Tiere eine CO₂-Quelle dar. Bei stärker frequentierten Liegeboxen konnten subjektiv intensivere Verschmutzungen festgestellt werden, welche die vergleichsweise höheren CO₂-Emissionen erklären könnten. Für Folgeuntersuchungen wäre daher auch eine gezielte Bonitierung der Liegeboxen interessant.

Die Emissionen von CH₄ fallen bei allen Materialien sehr gering aus (Tabelle 2). Die umfangreichsten CH₄-Emissionen stammen dabei aus Strohmehl und Sägemehl. Hochgerechnet auf die gesamte Liegefläche je Einstreumaterial emittieren diese Materialien weniger als 0,03 g CH₄ d⁻¹ Liegefläche⁻¹. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sowohl die Einstreuverteilung als auch die Emissionsquellen innerhalb einer Liegebox sehr heterogen sein können. Diese Werte sind relativ gering im Vergleich zu direkten CH₄-Emissionen einer Milchkuh, die nach GRAINGER et al. – je nach Fütterung und Milchleis-

tung – 332 bis 331 g d⁻¹ erreichen. JEPSSON (2000) konnte erhöhte Emissionen im Flüssigmist in Verbindung mit Sägemehl als organisches Einstreumaterial in der Stallung nachweisen. Daher stützen seine Ergebnisse die Vermutung, dass die Emissionen von CH₄ in der Liegebox nicht aus der Einstreu selbst, sondern hauptsächlich aus der Verbindung der Einstreu mit den tierischen Exkrementen stammen. PHILIPPE und NICKS (2015) beschreiben in ihren Untersuchungen, dass die CH₄-Emissionen von Sägemehl geringer als jene von Strohmehl sind, wobei Sägemehl höhere N₂O-Emissionen aufweist (p < 0,05). Diese Aussagen konnten in dem vorgestellten Versuch bestätigt werden. Bei Kalk-Stroh trifft dies nicht zu, was auf den Zusatz von Kalk und das dadurch verursachte alkalische Milieu (DLG-Prüfbericht 5814F 2008) zurückzuführen sein könnte. Pures Stroh hingegen erhöht gemäß PHILIPPE et al. (2010) die Emissionen während der Nachlagerung des Festmistes.

In unserem Versuch zeigte sich, dass unterschiedliche Messpunkte beim gleichen Material in der Messung der Emissionsstärke variieren. Dies könnte an unterschiedlichen Verschmutzungsgraden liegen. Denn stärker verschmutzte Liegebereiche wiesen in diesem Versuch tendenziell erhöhte Emissionen auf. Die gemessenen CH₄- und N₂O-Emissionen stammen aus Prozessen wie der Methanogenese, Nitrifikation und Denitrifikation, die auf den verunreinigten Liegeflächen verstärkt ablaufen. Eine Reduktion der Emissionen könnte daher durch ein verbessertes Management mit häufigerer Liegeboxenpflege sowie einer größeren Einstreumenge erreicht werden. PHILIPPE et al. (2014) konnten jedoch durch eine Erhöhung der Einstreumenge von wöchentlich 50 auf 100 kg keine Auswirkungen auf die Emissionen feststellen. Die Frage nach emissionsmindernden Effekten durch eine erhöhte Einstreumenge im Liegebereich von Milchvieh bedarf weiterer Forschungsvorhaben.

Die im Rahmen dieses Versuchs erhobenen Emissionen von N₂O sind sehr gering (Tabelle 2). Allein das separierte Gärsubstrat zeigt signifikant höhere N₂O-Emissionen als die anderen Materialien (p < 0,05). Die N₂O-Emissionen aus separiertem Gärsubstrat sind auch vergleichsweise höher als die CH₄-Emissionen aus anderen Einstreumaterialien. Abbildung 4 verdeutlicht die unterschiedliche Streuung der N₂O-Emissionen innerhalb der Messungen des jeweiligen Einstreumaterials. Das separierte Gärsubstrat zeigt signifikant höhere N₂O-Emissionen als die anderen Materialien (p < 0,05). Eine mögliche Ursache für die erhöhten N₂O-Emissionen aus diesem Material könnte der Wechsel zwischen aeroben und anaeroben Verhältnissen innerhalb der verdichteten Liegematratze sein. Dabei führen die mikrobiellen Prozesse der Nitrifikation und der Denitrifikation zur erhöhten Freisetzung von N₂O (VEEKEN et al. 2002). Werden die N₂O-Emissionen aus dem separierten Gärsubstrat mit denen aus der Flüssigmistausbringung auf dem Acker verglichen, wird aber die geringe Relevanz deutlich. Eine Milchkuh (10.000 kg ECM) scheidet jährlich ca. 143 kg Stickstoff aus (HILLER et al. 2014). Nach Ausbringung des Flüssigmistes entstehen N₂O-Emissionen von ca. 2 % des ausgeschiedenen Stickstoffs, also etwa 2,9 kg a⁻¹ (DE KLEIN et al. 2006). Bei einem Tier-Liegeplatz-Verhältnis von 1 : 1 und N₂O-Emissionen von 1,25 mg N₂O m⁻² h⁻¹ entstanden nur etwa 30 g N₂O Tier⁻¹ a⁻¹ aus den Liegeboxen. Diese Analogie setzt voraus, dass die Flüssigmistausbringung und der Versuch nicht in den Wintermonaten stattfinden. Für eine detaillierte Berechnung der Jahresemissionen sind zusätzliche Messungen notwendig.

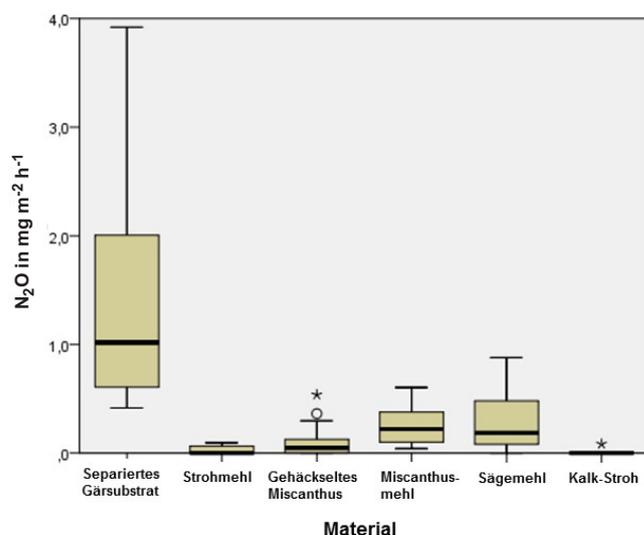


Abbildung 4: N₂O-Emissionen in mg m⁻² h⁻¹ aus den unterschiedlich eingestreuten Liegeboxen (* ≙ Extremwert, ° ≙ Ausreißer > 1,5 Boxlänge, Balken innerhalb des Boxplot ≙ Mittelwert)

Die klimatischen Verhältnisse waren während der gesamten Versuchsdauer mild und trocken – mit Ø 20 °C und 55 % Luftfeuchte – während der Emissionsmessungen im Stall. Für eine ganzheitliche und korrekte Erfassung der Emissionen sollten in weiteren Versuchen zielgerichtet die Auswirkungen verschiedener klimatischer Verhältnisse auf die Emissionen untersucht werden. Wechselseitige Temperatureinflüsse können nach SOMMER (2001) und HANSEN et al. (2006) Einflüsse auf die CH₄- und N₂O-Emissionen haben. Generell ist allerdings in der kalten Jahreszeit mit geringeren Emissionen zu rechnen (PEREIRA et al. 2012).

Schlussfolgerungen

Sowohl in Bezug auf die Akzeptanz bei den Tieren als auch auf die ökonomischen und klimarelevanten Eigenschaften konnte festgestellt werden, dass nicht alle Einstreumaterialien in gleichem Maße für den praktischen Einsatz zu empfehlen sind.

Die Akzeptanz der Materialien war auf einem sehr ähnlichen Niveau. Es wurde jedoch deutlich, dass die Liegeboxen mit separiertem Gärsubstrat in geringstem Umfang belegt wurden und die Akzeptanz im Vergleich zu den übrigen Einstreumaterialien deutlich geringer war. Ob diese Beobachtung aus den geruchsspezifischen Eigenschaften des Einstreumaterials resultiert, muss in weiteren Versuchen genauer untersucht werden. Direktbeobachtungen der Tiere und die subjektiven Geruchswahrnehmungen geben dafür erste Ansätze. Allgemein sollten für weiterführende Versuche zusätzliche Parameter zur Beurteilung des Komforts für das Tier, wie zum Beispiel die Liegeposition oder die Anzahl der stehenden Tiere in der Liegebox, Liegedauer, weitere Verhaltensweisen in der Liegebox (z. B. Futteraufnahme, Scharren usw.), Verschmutzungen und Verletzungen der Fundamente o. ä. hinzugezogen werden.

Aufwand und Kosten der unterschiedlichen Einstreumaterialien differieren stark. Tendenziell erfordern die Einstreumaterialien, die bei der Ersteinrichtung verdichtet eingebracht werden (Kalk-Stroh und separiertes Gärsubstrat), einen höheren technischen Aufwand und sind arbeitsintensiver.

Bezüglich der Emissionen klimarelevanter Gase wurden bei Strohmehl und Sägemehl leicht erhöhte Ausgasungen von CH_4 gegenüber den übrigen beobachteten Einstreumaterialien ermittelt.

Die Analyse der Emissionen von Treibhausgasen aus den organischen Einstreumaterialien ergab, dass keines der Einstreumaterialien Emissionen aufweist, die klimarelevante Auswirkungen zeigen. Verglichen mit den Laufflächen eines Liegeboxenlaufstalls, wiesen die organisch eingestreuten Liegebereiche höhere theoretische Emissionspotenziale auf (Vergleich mit Voruntersuchungen). Verschmutzungen der Liegeflächen mit Exkrementen können potenziell zur Erhöhung der Emissionen beitragen. Daher könnte eine regelmäßige Boxenreinigung entscheidend für Emissionsminderungen im Liegebereich sein.

Im Vergleich zur Referenz „Strohmehl“ wies keines der untersuchten Einstreumaterialien ökonomisch und ökologisch effizientere Werte auf. Das separierte Gärsubstrat erwies sich als nachteilig, zum einen wegen der geringeren Akzeptanz bei den Tieren und zum anderen wegen des höheren Arbeitsaufwands bei der Ersteinrichtung der Liegefläche. Bei der Entscheidung für ein Einstreumaterial sollte daher die individuelle Verfügbarkeit der Rohstoffe und die Möglichkeit der Kombination mit der vorhandenen Entmistungstechnik berücksichtigt werden.

Literatur

- Amon, B.; Amon, T.; Boxberger, J.; Alt, C. (2001): Emissions of NH_3 , N_2O and CH_4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). Institute of Agricultural, Environmental and Energy Engineering, University of Agricultural Sciences, Vienna, Austria
- De Klein, C.; Novoa, R.S.A.; Ogle, S.; Smith, K.A.; Rochette, P.; Wirth, T.C.; McConkey, B.G.; Mosier, A.; Rypdal, K. (2006): N_2O emissions from managed soils, and CO_2 emissions from lime and urea application. Vol. 4, Chapter 11, in: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Ed. Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K., IGES, Japan
- De Klein, C.A.M.; Harvey, M.J. (2012): Chamber Methodology Guidelines, Version 1.1. Ministry for Primary Industries, Wellington, New Zealand, pp. 95–121
- DLG-Prüfbericht 5814F (2008): Kalkwerk Hufgard GmbH – Stalleinstreupulver DESICAL® spezial. Testzentrum Technik und Betriebsmittel, DLG e.V.
- Grainger, C.; Clarke, T.; McGinn, S.M.; Auld, M.J.; Beauchemin, K.A.; Hannah, M.C.; Waghorn, G.C.; Clark, H.; Eckard, R.J. (2007): Methane Emissions from Dairy Cows Measured Using the Sulfur Hexafluoride (SF_6) Tracer and Chamber Techniques. *Journal of American Dairy Science* 90, 2755–2766
- Haidn, B.; Kilian, M.; Enders, S.; Macuhova, J. (2005): Kuhkomfort unter besonderer Berücksichtigung des Stallklimas und der Laufflächen. *Perspektiven in der Milchviehhaltung*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe, Band 10, 31–52
- Hansen, M.N.; Henriksen, K.; Sommer, S.G. (2006): Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmospheric Environment* 40, 4172–4181
- Heidenreich, T. (2010): Zeitgemäße Stallkonstruktion und Belüftungssysteme für Milchviehställe. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- Hiller, P.; Lindermayer, H.; Lüppling, W.; Meyer, A.; Pohl, C.; Pries, M.; Schenkel, H.; Spiekers, H.; Stalljohann, G.; Staudacher, W. (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 2. Auflage
- Hohenbrink, S. (2011): Untersuchung zum Einstreubedarf für tiergerechte Liegeflächen in Tiefboxen. Masterarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

- Hörning, B. (2003): Nutztierethologische Untersuchungen zur Liegeplatzqualität in Milchviehlaufstallsystemen unter besonderer Berücksichtigung eines epidemiologischen Ansatzes. Habilitationsschrift, Universität Kassel, Witzenhäusen
- Hutchinson, G.L.; Mosier, A.R. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal* 45, 311–316
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ed. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L., Cambridge University Press, Cambridge
- Jeppsson, K.H. (1998): Ammonia emission from different deep-litter materials for growing-finishing pigs. *Swed. J. Agric. Res.* 28, 197–206
- Jeppsson, K.H. (2000): Carbon dioxide emission and water evaporation from deep-litter systems. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77, 429–440
- Kanswohl, N.; Sanftleben, P. (2006): Analyse und Bewertung von Hoch- und Tiefboxen für Milchrinder aus arbeitswirtschaftlicher, ethologischer, hygienischer und ökonomischer Sicht. Forschungsbericht, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion
- Krieter, J. (2002): Evaluation of different pig production systems including economic, welfare and environmental aspects. *Archiv für Tierzucht* 45, 223–236
- Nicks, B.; Laitat, M.; Farnir, F.; Vandenheede, M.; Desiron, A.; Verhaeghe, C.; Canart, B. (2004): Gaseous emissions from deep-litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. *Animal Science* 78, 99–107
- Pelzer, A.; Büscher, W.; Herrmann, H.-J. (2012): Planungshinweise zur Liegeboxengestaltung für Milchkühe. DLG e.V., Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft, Ausschuss für Technik in der tierischen Produktion, Merkblatt 379
- Pereira, J.; Misselbrook, T.H.; Chadwick, D.R.; Coutinho, J.; Trindade, H. (2012): Effect of temperature and dairy cattle excreta characteristics on potential ammonia and green house gas emissions from housing: A laboratory study. *Biosystems Engineering* 122, 138–150
- Philippe, F.X.; Canart, B.; Laitat, M.; Wavreille, J.; Bartiaux-Thill, N.; Nicks, B.; Cabaraux, J.F. (2010): Effects of available surface on gaseous emissions from group-housed gestating sows kept on deep litter. *Animal* 4, 1716–1724
- Philippe, F.X.; Laitat, M.; Wavreille, J.; Nicks, B.; Cabaraux, J.F. (2014): Effects of the amount of straw on ammonia and greenhouse gases emissions associated to fattening pigs kept on deep litter. *Journées Recherche Porcine* 46, 213–214
- Philippe, F.-X.; Nicks, B. (2015): Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 199, 10–25
- Place, S.E.; Pan, Y.; Zhao, Y.; Mitloehner F.M. (2011): Construction and Operation of a Ventilated Hood System for Measuring Greenhouse Gas and Volatile Organic Compound Emissions from Cattle. *Animals* 1(4), 433–446
- Robin, P.; de Oliveira, P.A.; Kermarrec, C. (1999): Ammonia: nitrous oxide and water emissions from pigs housed on several types of litter during the growing period. *Journées Rech. Porcine* 31, 111–115
- Schmithausen, A.J.; Trimborn, M.; Büscher, W. (2016): Methodological Comparison between a Novel Automatic Sampling System for Gas Chromatography versus Photoacoustic Spectroscopy for Measuring Greenhouse Gas Emissions under Field Conditions. *Sensors* 16(10), 1638
- Sommer, S.G. (2001): Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *European Journal of Agronomy* 14, 123–133
- Umweltbundesamt (2017): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#textpart-1>. Zugriff am 03.02.2017
- Veeken, A.; de Wilde, V.; Hamelers, B. (2002): Passively aerated composting of straw-rich pig manure: Effect of compost bed porosity. *Compost Science & Utilization* 10, 114–128

Wierenga, H. K.; Hopster, H. (1990): The significance of cubicles for the behaviour of dairy cows. *Applied Animal Behavior Science* 26, 309–337

Willen, S. (2004): Tierbezogene Indikatoren zur Beurteilung der Tiergesundheit in der Milchviehhaltung – methodische Untersuchungen und Beziehungen zum Haltungssystem. Diss. TH Hannover

Zähner, M.; Schmidtko, J.; Schrade, S.; Schaeren, W.; Otten, S. (2009): Alternative Einstreumaterialien in Liegeboxen. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2009, 33–38

Autoren

Florian Mader, B. Sc. ist wissenschaftliche Hilfskraft, **Dr. agr. Alexander J. Schmithausen**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, **Dr. agr. Manfred Trimborn** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Prof. Dr. agr. habil. Wolfgang Büscher** ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik in der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nußallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: schmithausen@uni-bonn.de.

Dr. agr. Sebastian Hoppe ist Referent für Rinderhaltung des Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Elsenpaß 5, 47533 Kleve

Danksagungen

Die Förderung der Untersuchung erfolgte im Rahmen eines durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes mit dem Förderkennzeichen BU 1235/8-1.

Wir bedanken uns für die gute Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen und vor allem bei den Mitarbeitern am Standort Haus Riswick für die Unterstützung.