Georg-August-Universität Göttingen
Forschungs- und Studienzentrum für
Veredelungswirtschaft Weser-Ems
Universitätsstr. 7
49377 Vechta

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Institut für Agrartechnologie und
Biosystemtechnik
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Schlussbericht

Forschungsvorhaben: 06UM001/W1

Alternative Einstreumaterialien zur Reduzierung der gas- und partikelförmigen Emissionen in der Pferdehaltung und Prävention von Atemwegserkrankungen bei Pferden

Laufzeit: 1.11.2006 – 31.10.2008

Berichtszeitraum: 1.11.2006 – 31.10.2008

Durchführung:

Prof. Dr. Ir. H. Van den Weghe (Projektleitung)
PD Dr. Engel Hessel
M. Sc. Kathrin Fleming
Georg-August-Universität Göttingen
Forschungs- und Studienzentrum für
Veredelungswirtschaft Weser-Ems (FOSVWE)

Prof. Dr. agr. habil. F.-J. Bockisch
Dr. med. vet. Gundula Hoffmann
Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2

1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens 4

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens 4

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde 5

1.2.1 Allgemeines zur Pferdehaltung 5

1.2.2 Kriterien zur Bewertung der Stallluft 6

1.2.3 Anforderungen an die Pferdestalleinstreu 12

1.2.4 Einstreumaterialien in der Pferdehaltung 13

2 Material und Methoden 18

2.1 Verwendete Messtechnik 18

2.2 Versuchsaufbau 20

2.2.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE) 20

2.2.1.1 Versuchsteil 1 und 2 20

2.2.1.2 Versuchsteil 3 23

2.2.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI) 25

2.3 Versuchsdurchführung 30

2.3.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE) 30

2.3.1.1 Versuchsteil 1 30

2.3.1.2 Versuchsteil 2 31

2.3.1.3 Versuchsteil 3 32

2.3.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI) 35

2.4 Statistische Auswertung 37

2.4.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE) 37

2.4.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI) 39

3 Ergebnisse 41

3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse 41
3.1.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE) 41
3.1.1.1 Versuchsteil 1 44
3.1.1.2 Versuchsteil 2 49
3.1.1.3 Versuchsteil 3 54
3.1.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI) 61
3.1.2.1 Hauptversuch 61
3.1.2.2 Zusatzversuch 72

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 75
3.2.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE) 75
3.2.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI) 78

4 Zusammenfassung 82

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen 86

6 Literaturverzeichnis 89

7 Publikationen 95

1 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Ziel des Projektes war es, den Einfluss des Einstreumaterials auf die Luftqualität, insbesondere auf die Partikel- und Gaskonzentrationen, im Pferdestall zu evaluieren, um eine für Pferde optimale Haltungsumwelt gestalten zu können. Um einen umfassenden Effekt auf das gesamte Stallklima bewerten zu können, wurden ausgewählte Materialien in Praxisversuchen eingesetzt und analysiert. Hierbei wurden die Eigenschaften dieser Materialien in Bezug auf Schwebstaub- und Schadgaskonzentrationen im Pferdestall in der Einzel- und in der Gruppenhaltung näher beleuchtet.
Darüber hinaus wurde der Einfluss des Entmistungsintervalls auf die Partikel- und Gasentwicklung im Pferdestall mit Boxenhaltung untersucht. Die Auswirkungen einer mehrwöchigen Mistmatratze auf die Luftqualität im Pferdestall sollten im Vergleich zum täglichen Misten analysiert und bewertet werden.
In einem weiteren Versuchsabschnitt wurde unter standardisierten Bedingungen das Abgasverhalten von Mistmatratzen in Abhängigkeit von der Getreideart in speziell angefertigten Kompostreaktoren simuliert. Ziel dieser Simulation war es, festzustellen, ob getreideartspezifische Unterschiede hinsichtlich der gasförmigen Emissionen aus der Mistmatratze entstehen.

Dieses Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Johann Heinrich von Thünen-Institut (ehemals Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, FAL) durchgeführt. Dort wurden in einem zweiten Teil des Gesamtprojektes die Auswirkungen verschiedener Einstreumaterialien auf die Luftqualität in dem Liegebereich einer Gruppen-Auslaufhaltung für Pferde unter Praxisbedingungen untersucht.
Es sollte vor allem aufgezeigt werden, wie durch eine Verbesserung der Stallluftqualität die Umweltbedingungen für die Tiere verbessert und somit eine Belastung ihrer Gesundheit weit gehend verringert werden kann.
Die Untersuchungen fanden in einer Mehrraum-Gruppenhaltung mit angrenzendem Auslauf statt, da die gemeinsame Haltung von Pferden ihrem natürlichen Herdenverhalten am nächsten kommt.

Zudem sollte die Frage geklärt werden, ob sich ein Folienvorhang vor dem Zugang zum Ruhebereich in der Gruppenhaltung auf die Gas- und Staubkonzentrationen im Stallinnern auswirken, da sie bei Pferde-Auslaufhaltungen sehr häufig anzutreffen sind.
Abschließend sollten Empfehlungen für Pferdehalter gegeben werden, wie durch die Wahl der richtigen Einstreu die Haltung der Pferde hinsichtlich der Tiergerechtheit, insbesondere der Tiergesundheit, verbessert werden kann, um eine Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis zu fördern.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

1.2.1 Allgemeines zur Pferdehaltung

In der Pferdehaltung ist zwischen verschiedenen Aufstallungsformen zu unterscheiden. Grundsätzlich wird auf der einen Seite die Einzelhaltung praktiziert, bei der wiederum zwischen konventionellen Innenboxen (Einzelhaltung im geschlossenen Stall), Außenboxen (Einzelhaltung mit Öffnung für Kopf und Hals des Pferdes ins Freie) und Außenboxen mit Auslauf differenziert wird. Bei Letzteren hat das Pferd zusätzlich zur Box einen Auslauf zur ständigen Verfügung, der ca. doppelte Boxengröße besitzt. Auf der anderen Seite gibt es die Gruppenhaltung, bei der mehrere Pferde in einer Gruppe in einem Laufstall gehalten werden. Diese Laufboxen gibt es in einem geschlossenen Stall und zusätzlich mit angeschlossenem Auslauf; sie werden dann als Offenställe bezeichnet (PIRKELMANN, 1991).

Derzeit leben mehr als eine Million Pferde in Deutschland (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG, 2003). Es wird angenommen, dass der größte Anteil, sowohl im Sport- als auch im Zucht- und Freizeitbereich, in Einzelboxen gehalten wird. Nach PIOTROWSKI (1992) ist die Einzelhaltung in Innenboxen wärmeisolierter Ställe die verbreitetste Aufstallungsform von Pferden.
KORRIES (2003) bestätigt dies in seiner Studie, bei der er 60 verschiedene pferdehaltende Betriebe in Niedersachsen untersucht hat: Die häufigste Haltungsform ist mit 94 % die Einzelhaltung (63 % in Innenboxen, 31 % in Außenboxen), nur 6 % werden in Gruppenhaltung in Laufställen gehalten.

PETERSEN et al. (2004) haben in ihrer Studie, in der 46 pferdehaltende Betriebe in Schleswig-Holstein bewertet wurden, ähnliche Ergebnisse erhalten. Die Einzelhaltungsform herrscht in dieser Untersuchung in 96 % der Ställe vor.

In einer Untersuchung von (BEYER, 1998) machte der Anteil der Gruppenhaltung 21,6 % aus. Dabei entfallen 8,3 % auf Innengruppenboxen, 1,8 % auf Außengruppenboxen ohne Auslauf, 7,5 % auf Außengruppenboxen mit Auslauf und 4 % der insgesamt 2334 erfassten Pferde halten sich ganzjährig auf der Weide bzw. in einer Freilandhaltung auf. Die am weitesten verbreitete Form der Pferdehaltung ist aber auch bei diesen 56 Betrieben die Aufstallung in Innenboxen (54 %), gefolgt von Außenboxen ohne Auslauf (20,3 %) und Außenboxen mit Auslauf (1,9 %). Die Anbindehaltung wurde in einem Betrieb angetroffen (1,5 %).

Die Praxiserfahrungen zeigen allerdings, dass der Trend zur Gruppenhaltung von Pferden im Steigen begriffen ist und dass man Pferde immer häufiger in Boxen mit Paddocks, in Offenlaufställen sowie auf Weiden und Winterkoppeln antrifft (ZEITLER-FEICHT, 1996; ZEITLER-FEICHT et al., 2004).

1.2.2 Kriterien zur Bewertung der Stallluft

Die Domestikation des Pferdes und seine Nutzung als Sport- und Freizeitpferd sind in der Regel mit einem Stallaufenthalt, insbesondere mit der Haltung in Einzelboxen, eng verbunden. Dem hohen Wert des Fohlens und der langen Aufzucht- und Ausbildungsphase bis zum Erreichen der vollen Leistungsfähigkeit des Pferdes muss aus ökonomischen Gründen eine lange Nutzungsdauer gegenüberstehen (WILSON et al, 1986). Voraussetzung dafür ist die Erhaltung der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit des Pferdes.

Für die Gesundheit des Pferdes spielt neben der artgerechten Haltung die Qualität der Stallluft eine wichtige Rolle, da der Atmungsapparat der Pferde besonders empfindlich auf luftgetragene Partikel und Schadgase reagiert (HOLCOMBE et al., 2001; MALIKIDES und HODGSON, 2003). Vor allem die praxisübliche Einzelhaltung in Innenboxen wird für viele Atemwegserkrankungen bei Pferden verantwortlich gemacht (GERBER et al., 2003; VANDENPUT et al., 1998).

Die Luft im Pferdestall setzt sich aus drei verschiedenen Faktorbereichen zusammen. Unterschieden wird zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Parametern, die sowohl einzeln als auch kombiniert auf die Gesundheit der Tiere einwirken können (VISSIENON et al., 1999).

Zu den wichtigsten physikalischen Faktoren zählen die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte und die Luftbewegung, zu den chemischen Faktoren gehören die Schadgase. Die biologischen Faktoren setzen sich aus den partikelförmigen Stoffen wie Staub (unbelebte Partikel) und Mikroorganismen (belebte Partikel) zusammen. Alle Faktoren bilden in ihrer Gesamtheit das Stallklima (HILLIGER, 1990).

Gase

Eine Vielzahl von Gasen entsteht bei der Stallhaltung von Tieren und bei deren Verdauungsvorgängen infolge von Umsetzungsprozessen in den Exkrementen. Ein Großteil dieser Gase bildet sich beim Absetzen und Lagern der Fäkalien. Aber auch die Futterbeschaffenheit sowie die Tierbewegungen sind für eine Veränderung in der Gasproduktion verantwortlich (MÜLLER, 1993).
Eines der wichtigsten gesundheitsrelevanten Gase, die in der Stallluft auftreten ist Ammoniak (NH_3).

Ammoniak entsteht primär durch die Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Stoffe (z.B. Kot oder Harn) (BAKEMEIER et al., 1974). Der Stickstoff, der nach der Futteraufnahme nicht im Tierkörper verbleibt, wird mit dem Kot und Harn ausgeschieden. Die Nichtprotein-Stickstoffverbindungen werden in Form von Harnstoff mit dem Urin ausgeschieden (MONTENY, 2000). Annähernd 85 % des gebildeten NH_3 stammt dabei aus dem Harnstoff (HOEKSMA et al., 1992), der Rest entsteht bei den Fäulnisprozessen eiweißhaltiger organischer Verbindungen unter Beteiligung ureaseaktiver Bakterien (OLDENBURG, 1989). Die Matratzeneinstreu im Stall begünstigt die Zersetzung dieser stickstoffhaltigen organischen Stoffe. Beim Ausbleiben einer täglichen Entfernung der nassen Einstreu und Zufuhr von trockener Einstreu entsteht ein optimales Substrat für NH_3- Bildung, die zudem durch eine Durchfeuchtung mit Urin gefördert wird (LAWRENCE et al., 1988).
Je nach Haltungsform und Tierart werden jedoch unterschiedliche Konzentrationen nachgewiesen. Im Vergleich mit anderen Tierhaltungen, z.B. Schweine- und Rinderhaltung, ist die Ammoniakbelastung der Luft im Pferdestall relativ gering. Der Grenzwert für Ammoniakkonzentrationen im Pferdestall beträgt 10 ppm (BMVEL, 1995).
Folgende durchschnittliche Ammoniakkonzentrationen in Pferdeställen sind u. a. in der Literatur bekannt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ammoniakkonzentrationen in Pferdeställen

	NH_3 –Konzentration [ppm] ($\bar{x}$ ± s)
ZEITLER (1986)	
Innenboxen mit Stroheinstreu:	
Nachts Sommer	3,1 ± 2,1
Nachts Winter	3,0 ± 0,9
Vormittags Sommer	1,5 ± 0,7
Vormittags Winter	2,1 ± 0,6
Nachmittags Sommer	1,8 ± 1,0
Nachmittags Winter	1,5 ± 0,7
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
HAAKE (1992)	
Außenbox mit Stroheinstreu	2,58 ± 1,88
Außenbox mit Späneeinstreu	3,45 ± 2,45
Außenbox mit Papiereinstreu	2,01 ± 1,61
Außenbox mit Gummimatte	2,94 ± 2,44
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
BARTZ (1992)	
Außenbox mit Stroheinstreu	0,58 ± 0,49
Außenbox mit Späneeinstreu, tägl. Misten und Anfeuchten des Heus	0,17 ± 0,26
Innenbox mit Stroheinstreu, tägl. Misten	1,67 ± 0,26
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
JAGGY (1996)	
Mehrraum-Auslaufbox	1,68 ± 0,77
Innenbox I	3,35 ± 1,24
Innenbox II	3,10 ± 1,45
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
PRATT et al. (2000)	
Stallbodenebene	2,5 – 218,8 ppm
Messverfahren	photoakustisch, kontinuierlich, 14 Tage
Kopf des Pferdes	1 – 14 ppm
Messverfahren	NH_3- Diffusionsschläuche, diskontinuierlich
FLEMING (2004)	
Innenboxen (Fenster) mit Stroheinstreu	2,76 ± 4,21
Messverfahren	photoakustisch, kontinuierlich, 8 Wochen
HÖRMANN (2006)	
Innenboxen mit Stroheinstreu	3,57 ± 2,93
Messverfahren	photoakustisch, kontinuierlich, 8 Wochen

NH_3 besitzt keratolytische Eigenschaften, wirkt reizend und irritierend besonders auf Schleimhäute und am Auge (HARTUNG, 1990). Beim Einatmen löst sich NH_3 in den Schleimhäuten der oberen Luftwege. Dabei kann es zu Verätzungen kommen, wodurch der Weg für Folgeinfektionen freigelegt wird. Fast alle Atemwegserkrankungen werden durch hohe Konzentrationen von Ammoniak nachteilig beeinflusst. In Verbindung mit Staub kann Ammoniak bei Konzentrationen ab 30 ppm die Reinigungsfunktion des Flimmerepithels der Atemwege beeinträchtigen, da es zu metaplastischen Veränderungen kommt (VISSIENON et al., 1999). Auch Untersuchungen von KATAYAMA et al. (1995) haben ergeben, dass Ammoniak einen direkten schädlichen Effekt auf die zelluläre Oberfläche (Mukoziliäre Clearance) des Atmungstraktes des

Pferdes ausübt. Jungtiere sind hierbei besonders gefährdet, denn Lungenentzündungen bei Fohlen und hohe Ammoniakkonzentrationen in Stall stehen laut LAWRENCE et al. (1988) in einem engen Zusammenhang. Hohe Ammoniakkonzentrationen im Pferdestall werden vom Luftwechsel im Stall beeinflusst, aber auch die Stallhygiene (Einstreu, Entmistung) spielt eine wichtige Rolle (CLARKE, 1987).

Kohlenstoffdioxid ist kein direktes Schadgas, der CO_2- Gehalt kann vielmehr als Parameter für die Qualität der Stallluft dienen. Kohlenstoffdioxid wird in der Tierhaltung als allgemeiner Indikator für die Luftqualität, speziell für eine ausreichende Lüftungsrate im Stall angesehen (DIN 18910, 1992).

Der Grenzwert für Kohlenstoffdioxid wird bei 1000 ppm (0,1 Vol %) festgelegt (BMVEL, 1995). Folgende Kohlenstoffdioxidmittelwerte im Pferdestall sind u.a. in der Literatur bekannt (Tabelle 2):

Tabelle 2: Kohlenstoffdioxidkonzentrationen in Pferdeställen

	CO_2- Konzentrationen [ppm] ($\bar{x}$ ± s)
ZEITLER (1986)	
Innenboxen mit Stroheinstreu	700 ± 200
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
HAAKE (1992)	
unterschiedliche Versuchsanordnungen	815 ± 75 bis 935 ± 15 unterschiedliche Einstreuarten haben keinen signifikanten Einfluss
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
JAGGY (1996)	
Mehrraum-Auslaufbox	818,8 ± 83,62
Innenbox I	937,5 ± 73,95
Innenbox II	918,8 ± 71,53
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
BANHAZI (2002)	
Sägemehl	553
Sägemehl (imprägniert mit Öl)	551
Messverfahren	kontinuierlich, 72 Stunden
FLEMING (2004)	
Innenboxen (Fenster) mit Stroheinstreu	
Messverfahren	830 ± 285 photoakustisch, kontinuierlich; 8 Wochen
HÖRMANN (2006)	
Innenboxen mit Stroheinstreu	1231 ± 585
Messverfahren	photoakustisch, kontinuierlich; 8 Wochen

Die Hauptquelle für Kohlenstoffdioxid ist das Tier, denn CO_2 wird hauptsächlich durch die Atmung in die Stallluft abgegeben. Geringe Mengen (5-10 %) entstehen bei der mikrobiellen Zersetzung von Kot, Harn und Futterresten (HILLIGER, 1990; NI, 1998).

Partikel

Die Stallluft enthält neben den Gasen belebte und unbelebte partikuläre Luftverunreinigungen (PEARSON und SHARPLES, 1995). Zu den belebten Partikeln gehören Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen, Pilze, Viren, Milben oder auch Protozoen. Die unbelebten Partikel werden als Staub bezeichnet, diese können jedoch auch andere Stoffe wie Mikroorganismen und Endotoxine mit sich tragen.

In der internationalen und nationalen Literatur werden die Partikelfraktionen wie folgt eingeteilt (BANHAZI et al., 2002; CHRICHLOW et al., 1980; FERRO et al., 2000; VANDENPUT et al., 1997; WOODS et al., 1993; ZEITLER, 1986):

Tabelle 3: Einteilung von Partikelfraktionen

Partikelfraktion	**Partikelgröße [µm]**
einatembare Fraktion (total inhalable dust)	= 100
lungengängige Fraktion (respirable dust)	= 5

Die respirable Fraktion ist der Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der bis in die tieferen Atemwege vordringen kann.

In früheren Untersuchungen wurden u. a. folgende Partikelkonzentrationen ermittelt.

Tabelle 4: Partikelkonzentrationen in Pferdeställen

	Partikelkonzentration [mg/m³] ($\bar{x}$ ± s)
ZEITLER (1986)	
Gesamtstaubgehalt (mit Stroh, Heu)	2,4 ± 0,9
davon =5 µm	0,68 ± 0,23
Messverfahren	kontinuierlich; Streulichtverfahren
BARTZ (1992)	
Gesamtstaubgehalt Außenbox mit Stroh	0,89 ± 0,35
davon =5 µm	0,31 ± 0,17
Gesamtstaubgehalt Innenbox mit Stroh	1,65 ± 0,54
davon =5 µm	0,60 ± 0,25
Personal sampler Außenbox mit Stroh	2,51 ± 0,65
davon =5 µm	0,46 ± 0,16
Personal sampler Innenbox mit Stroh	4,11 ± 0,85
davon =5 µm	1,39 ± 0,45
Messverfahren	diskontinuierlich, Planfiltermessung, gravimetrisch
WOODS et al. (1993)	
Stationäre Messung:	
System I (Stroh, Heu) Gesamtstaub	2,55
davon =5 µm	0,44
System II (Späne, Pellets) Gesamtstaub	0,70
davon =5 µm	0,20
Personal sampler:	
System I (Stroh, Heu) Gesamtstaub	17,51
davon =5 µm	9,28
System II (Späne, Pellets) Gesamtstaub	0,52
davon =5 µm	0,30
Messverfahren	kontinuierlich, Streulichtverfahren
MCGORUM et al. (1998)	
System I (Stroh, Heu) Gesamtstaub	2,74 (2,19-5,48)
davon <7 µm	1,10 (0,44-2,20)
System II (Späne, Silage) Gesamtstaub	0,80 (0,29-2,78)
davon <7 µm	0,22 (0,15-0,29)
System III (Weidehaltung) Gesamtstaub	0,17 (0,08-0,17)
davon <7 µm	0,08 (0,08-0,17)
Messverfahren	diskontinuierlich, Planfiltermessung, gravimetrisch
BANHAZI (2002)	
Sägemehl Gesamtstaub	1,13
Fraktion =5 µm	0,35
Sägemehl (imprägniert mit Öl) Gesamtstaub	0,47
Fraktion =5 µm	0,19
Messverfahren	diskontinuierlich, Planfiltermessung, gravimetrisch
FLEMING (2004)	
Innenboxen (Fenster) mit Stroheinstreu	
Fraktion <10 µm	0,11 ± 0,13
Messverfahren	kontinuierlich, gravimetrisch

Für die Generierung von luftgetragenen Partikeln stellen das Einstreumaterial und Futter die primären Quellen im Pferdestall dar (ART et al., 2002; BANHAZI et al.; 2000; DUNLEA und DODD, 1999; WOODS et al., 1993).

Der Atmungsapparat des Pferdes bietet eine große Angriffsfläche für eingeatmete Partikel. Staubpartikel wirken schädigend auf den Atmungsapparat. Neben der mechanischen Reizung durch die Staubpartikel ist es die allergisierende, infektiöse oder toxische Wirkung, die die Pferdegesundheit beeinträchtigt (ART et al., 2002). Staubpartikel dienen vielen Mikroorganismen als Transportmittel und Nährboden und erhö-

hen so die Infektionsgefahr. Neben den Bakterien können vor allem Pilzsporen für die Atemwege gefährlich werden.
Vor allem die respirable Fraktion der eingeatmeten Schwebstaubpartikel kann bis in die tieferen Atemwege vordringen und durch ihre direkten Wirkungen große Schäden verursachen (CARGILL, 1999). Je höher die Staubbelastung der Luft ist, desto größer muss die Abwehrleistung des Atmungstraktes sein (DEEGEN, 1984).

Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Luftbewegung

Das Pferd besitzt von Natur aus ein sehr ausgeprägtes Thermoregulationsvermögen. Es kann auch bei wechselnden Umweltverhältnissen die Körpertemperatur konstant halten. Laut BMVEL (1995) und ZEITLER et al. (2004), sollten die Lufttemperaturen im Stall das ganze Jahr über den Außenlufttemperaturen gemäßigt folgen. Bei Vernachlässigung dieses Grundsatzes, also bei gleichmäßigen Stallluftemperaturen, wird der Organismus des Pferdes nicht zum Training der thermoregulatorischen Mechanismen angeregt, das Pferd reagiert empfindlicher und wird anfälliger für z.B. Erkältungen (MARTEN und JAEP, 1991).
Die relative Luftfeuchte im Pferdestall soll zwischen 60 und 80 % liegen (BMVEL, 1995; ZEITLER et al., 2004).
Um eine dauerhaft gute Luftqualität im Stall zu erhalten, ist eine konstante Luftbewegung notwendig. Dafür ist ein regelmäßiger Luftaustausch Voraussetzung. Die Luftströmung im Pferdestall sollte nach ZEITLER et al. (2004) mindestens 0,2 m/s betragen. Die Luftgeschwindigkeit soll den Temperaturen angepasst sein. Im Winter sollte diese mindestens 0,1 m/s betragen, im Sommer dagegen bis zu 0,6 m/s ansteigen. Im Aufenthaltsbereich der Pferde ist eine ständige Luftbewegung sicher zu stellen, denn nur so werden Wasserdampf, Schadgase, Staub und Keime ab- sowie Frischluft zugeführt. Es sollte ein Luftwechsel von viermal pro Stunde im Sommer und zweimal pro Stunde im Winter angestrebt werden. Zugluft sollte jedoch vermieden werden.

1.2.3 Anforderungen an die Pferdestalleinstreu

Neben weiteren Faktoren hat die Einstreuart, durch materialspezifische Unterschiede hinsichtlich Schwebstaubentwicklung im Stall, Feuchtigkeitsaufnahme und Ammoniakbindung, einen großen Einfluss auf die klimatischen Haltungsbedingungen (Banhazi et al., 2000; Dunlea und Dodd, 1999; Woods et al., 1993).

Gute Einstreu muss gesundheitlich unbedenklich sein und darf weder Schadstoffe ausdünsten noch etwas enthalten, das dem Pferd schadet, wenn es die Einstreu frisst (Chemikalien, Pestizide, Schwermetalle u. ä.). Sie sollte geringe bis keine allergische Wirkung aufs Pferd haben, das heißt möglichst staubfrei und auf keinen Fall verpilzt sein. Sie muss eine gute Saugfähigkeit besitzen, um Kot und Urin aufnehmen zu können, da ein Pferd täglich zwischen 8 und 12 Kilo Kot und 5 bis 10 Liter Urin absetzt. Die Einstreu soll dem Pferd außerdem einen angenehmen, weichen und nach unten isolierenden Liegekomfort bieten, sodass es sich entspannt ausruhen kann. Eine weiche Unterlage vermeidet außerdem Druckstellen an den empfindlichen Gliedmaßen. Fehlt dem Pferd die Möglichkeit, sich auch im Liegen zu erholen, leiden auf Dauer Leistungsvermögen und Belastbarkeit des Tieres. Und nicht zuletzt sollte die Einstreu die Box rutschsicher machen, um Verletzungen zu vermeiden.
Weitere Kriterien, die bei der Wahl der Einstreu eine Rolle spielen sind die Kosten, leichte Verfügbarkeit, Lagermöglichkeit, Handhabung und Pflege, die Menge des zusätzlichen Abfalls (Verpackung!) und die abschließende Verwertung von Reststoffen (MORAWETZ 2000).

1.2.4 Einstreumaterialien in der Pferdehaltung

Getreidestroh gilt als das klassische Einstreumaterial. JONES et al. (1987) untersuchten die Haltung von Rennpferden in England. Ca. 52 % der Pferde wurden auf Stroh gehalten, 34 % auf Späne, während die restlichen Tiere auf Papier gehalten wurden. DIXON et al. (1995) haben durch Befragungen der Tierbesitzer bei 28,7 % von 300 Pferden eine strohlose Haltung ermittelt. Nach Studien von ARNDT (2001) und WACKENHUT (1994) in Deutschland wurden 86 % bzw. 61 % der Boxen auf den analysierten Betrieben mit Stroh eingestreut.
Stroh bildet ein angenehmes, weiches Bett. Untersuchungen von PEDERSEN et al. (2004) zeigten, dass Pferde wesentlich öfter und länger in Seitenlage geruht haben, wenn Stroh im Vergleich zu Holzspäne als Einstreu verwendet wurde.
Des Weiteren dient Stroh als wichtige Raufuttergrundlage. Es besitzt allerdings nur eine mäßige Saugfähigkeit im Vergleich zu alternativen Einstreumaterialien. In verschiedenen Untersuchungen (WARD et al., 2001; AIRAKSINEN et al, 2001) wurde festgestellt, dass das Wasseraufnahmevermögen von Getreidestroh deutlich geringer ist als von alternativen Einstreumaterialien wie Holzspäne oder Sägemehl. Auch laut HÄUßERMANN (2002) ist die mengenmäßige Wasseraufnahme bei Getreidestroh

zehnfach geringer als bei feinen Holzspänen und siebenfach geringer als bei Hanfschäben.
In der landwirtschaftlichen Verwertung ist Stroh relativ unproblematisch und ist sehr gut zu kompostieren. Hier bestehen Vorteile im Vergleich zu Holzprodukten aufgrund des wesentlich geringeren Ligninanteils im Stroh.
Ein Problem der Stroheinstreu ist die recht häufige Verunreinigung mit Pilzen und Pilzsporen. Allergien, chronischer Husten und Koliken können die Folge von pilzverseuchtem Stroh sein. Ein weiterer Nachteil ist der relativ hohe Verbrauch und das hohe Mistvolumen. Nach HÄUßERMANN (2002) und AIRAKSINEN et al. (2001) sind die Mistmenge bzw. das Mistvolumen etwa doppelt so hoch wie bei der Verwendung von Spänen und Hanf.
Als Pferdeeinstreu kommen hauptsächlich Weizen- oder Roggenstroh zum Einsatz (PIRKELMANN, 1991). Gerstenstroh wird wegen des Grannenbesatzes, der zu ulzerativen Maulentzündungen führen kann, weniger verwendet. Auch Haferstroh wird nur eingeschränkt als Einstreu eingesetzt, da es ein relativ geringes Saugvermögen besitzt und die Gefahr des Fusarienbefalls besteht (BREINING 1998). Haferstroh wird gelegentlich als Raufutterergänzung verwendet (SINDT, 2001).

Getreidestrohpellets werden aus Stroh in einem speziellen Produktionsverfahren hergestellt und zu einer Würfel-/Krümelstruktur verarbeitet. Das Stroh wird gehäckselt, gemahlen und schließlich unter Hochdruck zu Pellets gepresst. Während des Produktionsprozesses wird das Stroh auf ca. 110 °C erhitzt, wodurch das Produkt hygienisiert (Keimabtötung) wird. Die große Verdichtung ermöglicht den wirtschaftlichen Transport, eine Platz sparende Lagerung, ein bequemes sauberes Handling und eine hohe Energiedichte.

Durch den mechanischen Aufschluss der Zellstrukturen und Kapillaren ist das Material wesentlich saugfähiger als unverarbeitetes Stroh (SONNENBERG, 2002, FLEMING et al. 2008). Von Vorteil sind zudem die Verringerung des Mistvolumens und die raschere Verrottung des Mistes. Auch BECK (2005) beschreibt eine erhöhte mikrobielle Verfügbarkeit und verbesserte Abbauraten des Pferdemistes durch eine Zerkleinerung des Substrates.
SZABO et al. (2004) untersuchten die Partikelfreisetzung aus den Einstreumaterialien Hanf, Leinen und Strohpellets im Vergleich zu Stroh unter standardisierten Bedin-

gungen. Signifikant weniger Partikel wurden aus den Strohpellets im Vergleich zu den übrigen Materialien freigesetzt.

Holzprodukte sind die am häufigsten verwendete Alternative zur Stroheinstreu. Zur Anwendung kommen hauptsächlich Holzspäne und auch Sägemehl. Der häufigste Grund für die Alternative Holzspäne sind gesundheitliche Probleme der Pferde, wie beispielsweise Allergien aber auch Neigung zu Kolik durch Stroh-Verstopfungen, durch ein überhöhtes Fressen der Einstreu. Entstaubte Holzspäne sollen besonders für Pferde mit Lungenproblemen geeignet sein. Sowohl AIRAKSINEN et al. (2001) als auch CLARKE (1987a) und KOTIMAA et al. (1991) stellten fest, dass Holzprodukte eine niedrigere Mikrobenbelastung aufweisen als Einstreumaterialien, die aus Pflanzenprodukten hergestellt werden.
In vielen Untersuchungen (MCGORUM et al., 1998; WOODS et al., 1993; DUNLEA und DODD, 1996) wurde festgestellt, dass die Partikelgenerierung im Pferdestall bei der Einstreu mit Holzspänen geringer war als bei der Einstreu mit Stroh. Zusätzlich wurden bei WOODS et al. (1993) signifikant höhere aeroallergene Anteile im Stroh im Vergleich zu Holzspänen festgestellt. WEBSTER et al. (1987) ermittelten außerdem einen deutlich schnelleren Pilzsporenwachstum bei einer Verwendung von Stroh als Einstreumaterial im Vergleich zu Holzspänen.
Dagegen schloß BARTZ (1992) aufgrund von hohen Feinstaubgehalten in der Stalluft trotz Verfütterung von nassem Heu auf eine hohe Feinstaubentwicklung durch Hobelspäne. Ebenso ermittelten FERRO et al. (2000) höhere Feinstaubgehalte in Späne als in Stroh.
Holzspäne bieten im Vergleich zu Stroh einen höhere Wasseraufnahmekapazität. Hinsichtlich der Ammoniakgenerierung im Pferdestall sind unterschiedliche Ergebnisse bekannt. WARD et al. (2001) verglichen Holzspäne mit pelletiertem Zeitungspapier und Stroh. Die höchsten Ammoniakkonzentrationen im Stall wurden in diesem Versuch bei der Einstreu mit Holzspänen gemessen.
Entstaubte Hobelspäne werden von den Produzenten in Ballen geliefert. Sie bringen daher Vorteile in der Handhabung und Lagerung im Vergleich zu Stroh. Nachteilig beim Holz ist, dass es länger zum Verrotten braucht als Stroh. Holzspäne haltiger Mist hat eine geringe Düngewirkung und muss längere Zeit kompostiert werden, bevor er ausgebracht werden kann, was ein entscheidender Nachteil für diese Art der

Einstreu ist (MEYER und COENEN, 2002). Unter Umständen kann es zu Problemen bei der Verwertung kommen (NEUBERT, 2001).

Hanf und **Leinen** sind weitere Alternativen zur herkömmlichen Stroheinstreu. Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um Hanf- bzw. Leinenschäben, die im Pferdestall Verwendung finden. Hanf-/Leineneinstreu entsteht bei der Hanf- bzw. Leinenfasergewinnung und besteht aus den Resten der verholzten Pflanzenteile (Schäben). Ein gewisser Teil der feinfaserigen Strukturen sind jedoch noch in der Einstreu zu finden. Hanf- und Leinenschäben zeichnen sich durch ein signifikant höheres Feuchtigkeitsbindungsvermögen im Vergleich zu Stroh aus (WARD et al., 2001; AIRAKSINEN et al., 2001; HÄUßERMANN 2002). Auch werden Entsorgungsvorteile durch ein geringes Mistvolumen deutlich (HÄUßERMANN 2002).
SZABO et al. (2004) zeigten jedoch in einem Technikumversuch, dass Hanf im Vergleich zu Stroh eine zehn- bis fünfzehnfach höhere Staubfreisetzung aufwiesen. Auch Leinenschäben konnten sich in deren Untersuchungen nicht durch verminderte Staubbildung hervorheben. AIRAKSINEN et al. (2001) ermittelten zudem auch eine erhöhte Partikelgenerierung in der Pferdebox bei Verwendung von Hanf im Vergleich zu Stroh und Papier.

Die Einstreu von Pferdeställen mit **Papierschnitzeln** hat Vorteile hinsichtlich einer hohen Wasseraufnahmekapazität und geringen Partikelgenerierung. KIRSCHVINK et al. (2002) untersuchten die Partikelgenerierung aus gehäckselter Pappe als Pferdestalleinstreu im Vergleich zu herkömmlicher Einstreu. Diese stellte sich als signifikant geringer dar. Zusätzlich war der Anteil aeroallergener Stoffe stark reduziert. TANNER et al. (1998) testeten recycelte Telefonbücher als Einstreu im Vergleich zum Sägemehl. Bei ähnlicher Staubentwicklung hat Papier eine höhere Aufnahmekapazität für Urin als Sägemehl. Lag der Feuchtigkeitsgrad bei letzterem zwischen 19-65 %, so wiesen die wiederverwerteten Telefonbücher nur einen Feuchtigkeitsgehalt von 6 % auf. WEBSTER et al. (1987) konnten eine signifikant geringere Konzentration von lungengängigem Staub beim Einstreuen von Papier feststellen als bei Verwendung Stroh. Nach HAAKE (1992) beeinflusst Papier im Vergleich zu Holzspänen und Stroh am wenigsten die Stallluftqualität.
CURTIS et al. (1996) ermittelten niedrigere Ammoniakkonzentrationen im Pferdestall, wenn Papier im Vergleich zu Getreidestroh als Einstreu verwendet wurde. Zum Bei-

spiel wurden morgens im Stall vor dem Ausmisten mittlere Konzentrationen von 6,9 mg/m³ bei Stroh und 3,4 mg/m³ bei Papiereinstreu gemessen. Während des Ausmistens, stiegen die mittleren Ammoniakkonzentrationen bis zu 28 mg/m³ bei Stroh und bis zu 10,4 mg/m³ bei Papier an. Ein deutlicher Nachteil von Papiereinstreu ist die geringe Verfügbarkeit. Die Verwendung von z.B. gehäckseltem Altpapier erscheint nicht vorteilhaft, da dieses durch Metallreste, etc. häufig verunreinigt ist. Sehr gut würde sich unbedrucktes Zeitungspapier eignen.

2 Material und Methoden

2.1 Verwendete Messtechnik

Gasmesstechnik

Mit Hilfe des Multigasmonitors 1312 und des Multiplexers 1309 der Firma INNOVA (Dänemark) werden die Konzentrationen von Ammoniak, Methan, Kohlendioxid, Lachgas und Wasserdampf gemessen. Die Funktionsweise des Multigasmonitors 1312 beruht auf der photoakustischen Spektroskopie. Die einzelnen Bauelemente werden in Abbildung 1 dargestellt.

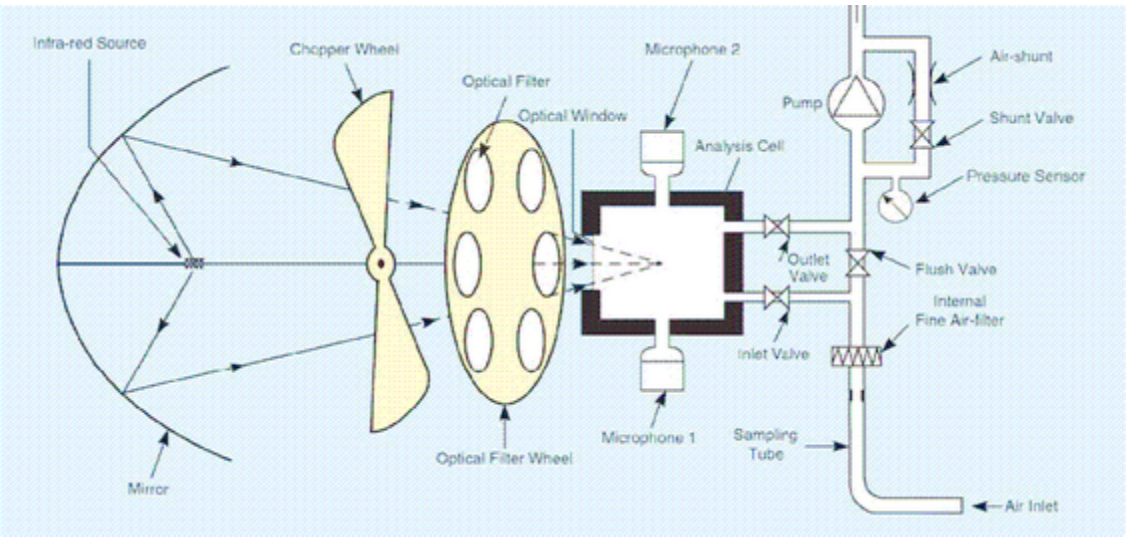


Abbildung 1: Messsystem des 1312 Multigas-Monitors (Product Data, Innova AirTech Instruments)

Der Monitor 1312 wird in Verbindung mit dem Multiplexer 1309 bzw. 1303 als kontinuierliches on-line System eingesetzt. Es besteht die Möglichkeit, an 12 bzw. 6 verschiedenen Messpunkten in bis zu 50 m Entfernung Konzentrationsmessungen durchzuführen. Der Multiplexer 1309 besitzt 12 Eingänge, der Multiplexer 1303 besitzt 6 Eingänge, die schließlich in einem Kanal zusammenlaufen. Die angesaugten Proben gelangen ventilgesteuert zum Monitor 1312, wo der Detektionsvorgang abläuft. Der Monitor 1312 und der Multiplexer 1309/1303 werden von einem PC gesteuert.

Partikelmesstechnik

Die Partikelkonzentrationen werden online mit dem gravimetrisch erfassenden TEOM 1400a (Fa. Rupprecht und Patashnick Company, USA) gemessen. Das Messgerät

besteht aus zwei Komponenten, der Sensoreinheit und der Steuerungs- und Kontrolleinheit. Letztere umfasst die Hardware für die Datenverarbeitung, einen Display, einen Volumenstromkontroller und die Steuerungselektronik. Das Ansaugen der Probenahmeluft erfolgt durch eine externe Vakuumpumpe.
Die Sensoreinheit besteht aus dem Lufteinlass sowie einer Mikrowaage, die wiederum aus einem oszillierenden konischen Röhrchen besteht. Die Luft fließt durch dieses Röhrchen hindurch, auf dessen oberen Ende sich ein Filter befindet. Eine elektronische Schaltung erfasst die Schwingungen. Deren Frequenz wird gemessen und die Daten von einem Mikroprozessor ausgewertet. Die Schwingungsfrequenz wird durch die Staublast des Filters beeinflusst und verändert sich mit einer Partikelzunahme. Es besteht eine direkte Beziehung zwischen Schwingungen und der Messzunahme am Filter. Dadurch kann die Veränderung der Frequenz im Verlaufe der Zeit zur Wägung herangezogen werden.
Die Sensoreinheit kann mit unterschiedlichen Messköpfen (PM 20, PM 10, PM 2,5, PM 1) bestückt werden. Somit können die Partikelfraktionen <20 µm, <10 µm, <2,5 µm und <1 µm einzeln kontinuierlich erfasst werden.

Sauerstoffmesstechnik

Das Sauerstoffmesssystem MF010-O-LC (Fa. Dittrich, Baden-Baden) bestehend aus drei Sauerstoffsonden misst die Sauerstoffkonzentration in Gasgemischen bis zu einer Temperatur von 250°C von 0,1 bis 100 Vol %. Der Sauerstoffsensor sitzt im Kopf einer 80 cm langen Stabsonde aus Edelstahl mit 12 mm Durchmesser. Das Messverfahren beruht auf einem dynamischen Vorgang an zwei Zirkoniumdioxidscheiben, die eine hermetisch abgedichtete Kammer bilden.
Mit Hilfe dieser Messtechnik ist es möglich, die Sauerstoffkonzentrationen im Substrat online kontinuierlich zu erfassen.

Lufttemperatur- und Luftfeuchtemessung

Zur kontinuierlichen Messung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte werden zum einen Messfühler (Tiny Tags) der Fa. Gemini Data Loggers (UK) verwendet. Für die Temperaturerfassung stehen außerdem NiCr-Ni – Sensoren in Verbindung mit einem Daten Logger (Therm 5500-3) der Fa. Ahlborn zur Verfügung.

2.2 Versuchsaufbau

2.2.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE)

2.2.1.1 Versuchsteil 1 und 2

Eigenschaften ausgewählter Einstreumaterialien unter Praxisbedingungen hinsichtlich der Partikel- und Gaskonzentrationen im Pferdestall mit Einzelhaltung in Boxen (Teil 1)

Einfluss des Entmistungsintervalls auf Partikel- und Gasentwicklung im Pferdestall mit Einzelhaltung in Boxen (Teil 2)

Im Versuchsteil 1 des Arbeitsprogramms wurden drei ausgewählte Materialien in Praxisversuchen eingesetzt und analysiert. Die Auswahl der Materialien erfolgte auf Basis der Ergebnisse eines Technikumversuches im Vorfeld zu hiesigem Projekt. Dabei handelt es sich zum einen um Weizenstroh als Referenzmaterial und zum anderen um entstaubte Späne sowie um Strohpellets (aus Weizenstroh). Der Versuchsteil 1 erstreckte sich über einen Zeitraum von 18 Wochen (26.01.2007 bis 01.06.2007).

Die Untersuchungen im Versuchsteil 2 fanden auch in dem im Folgenden beschriebenen Versuchsstall statt. Bezüglich der Versuchstiere, des Futters, der verwendeten Messtechnik und des Aufbaus der Messtechnik gab es keine Veränderungen im Vergleich zu Versuchsteil 1. Als Einstreumaterial wurde ausschließlich Weizenstroh verwendet. Der Versuch wurde in dem Zeitraum vom 08.11.2006 bis 09.02.2007 durchgeführt.
Die Praxisversuche begannen zunächst mit dem zweiten Versuchsteil, da sich die Lieferung der Einstreumaterialien (Strohpellets und Späne) für den Versuchsteil 2 verzögerte.

<u>Versuchsstall</u>
Für die Untersuchung stand ein Pferdestall mit fünf Einzel-Innenboxen zur Verfügung (Abbildung 2). Der Stall hatte einen Gesamtlänge von 9,70 m, einen Gesamtbreite

von 8,40 m und einen Höhe von 3,50 m. Der Stall war mit insgesamt vier Fenstern (1,30 m x 0,90 m) ausgestattet, die jedoch nicht zu öffnen waren. Zudem befand sich an einem Ende der Stallgasse eine Tür (2,20 m x 0,90 m), die über den Versuchszeitraum halb geöffnet war. Am anderen Ende war eine Doppeltür aus Holz (3,10 m x 2,40 m), wodurch die Pferde den Stall verließen bzw. betraten. Während des gesamten Versuchszeitraumes war auch hier nur einen Hälfte der Tür offen. Die Maße der Stallgasse und der vier Versuchsboxen sind der Abbildung zu entnehmen. Die nebeneinander liegenden Boxen wurden durch ca. 30 cm dicke und 1,30 m hohe Steinmauern getrennt, auf denen sich zusätzlich ein 1,20 m hohes Gitter befand. Die Boxentüren bestanden im unteren Bereich aus Hartholz (0,80 m hoch), im oberen Bereich aus 1,40 hohen Gitterstäben, die jeweils eine Öffnung für Kopf und Hals des Pferdes hatten, so dass diese auf die Stallgasse schauen konnten. Die Breite der Boxentüren betrug 1,30 m. In allen Boxen befanden sich an der Stallgassenseite ein Futtertrog, sowie eine Selbsttränke an der gegenüber liegenden Wand.
Die Messungen zur Luftqualität wurden in allen vier Versuchsboxen und auf der Stallgasse durchgeführt.

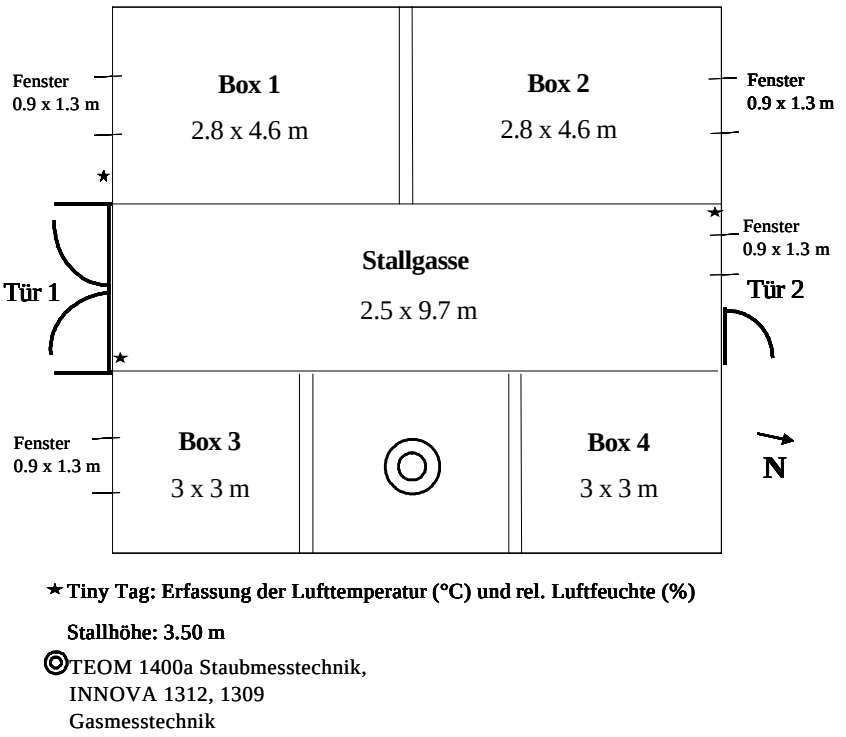


Abbildung 2: Aufbau des Versuchsstalles in Vechta

Positionierung der Messtechnik

In einer freien Box in der Mitte der rechten Stallseite (s. Abb. 2) befand sich die Messtechnik für die Gas- und Partikelerhebungen.

Für die Konzentrationsmessungen von Ammoniak, Methan, Kohlenstoffdioxid, Lachgas und Wasserdampf wurden jeweils zwei Messleitungen in die vier Versuchsboxen verlegt. Zudem befand sich ein Messpunkt oberhalb der Stallgasse, und die Außenluft wurde zusätzlich gemessen. In jeder Box wurde an zwei Messpunkten, einmal oben in ca. 1,30 m Höhe (Nüsternhöhe eines stehenden Pferdes) und einmal unten auf 0,50 m Höhe, direkt über der Mistmatratze, die Gaskonzentration erfasst. Insgesamt wurden an zehn Messpunkten die Gaskonzentrationen ermittelt.

Das TEOM-Messgerät befand sich während des gesamten Versuchszeitraums in der Messbox. Der Probennahmekopf PM 10 befand sich auf einer Höhe von ca. 1,80 m. In dem Experiment wurde aufgrund der Gesundheitsrelevanz nur der Messkopf PM 10 verwendet, da alle Partikel <10 µm als lungengängig beschrieben werden.

Außerdem wurde im Stall und außen an der Stallwand ein Messfühler (Tiny Tag) angebracht, welcher über den gesamten Versuchszeitraum die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte, innen und außen, routinemäßig aufgezeichnet hat.

Tiere, Futter und Einstreumaterial

Während der Versuchsphase befanden sich Pferde in den Boxen 1, 2, 3 und 4.

Box 1: 7-jährige Warmblut Stute
Box 2: 6-jährige Warmblut Stute
Box 3: 5-jährige Warmblut Stute
Box 4: 18-jährige Warmblut Stute

Als Kraftfutter wurde morgens und abends jeweils 1.5 kg Mineralpellets und 0.5 kg Hafer pro Pferd verfüttert. Als Raufutter stand 2 x täglich ca. 3 kg Heu zur Verfügung, was vom Boden der Stallgasse aufgenommen wurde.

Als Einstreumaterialien wurden Weizenstroh als Referenzmaterial und zwei weitere Materialien, entstaubte Späne und Strohpellets, verwendet.

Täglicher Ablauf im Stall

Um für alle Einstreumaterialien die gleichen Rahmenbedingungen zu schaffen, wurde ein bestimmter Tagesablauf erstellt.

In der Zeit von 11-18 Uhr hatten die Pferde Weidegang, befanden sich demnach nicht im Stall, den Rest des Tages verblieben sie in ihren Boxen. In folgender Tabelle 1 wird der tägliche Ablauf im Stall dargestellt.

Tabelle 5: Täglicher Ablauf im Stall während des Versuchszeitraumes

Uhrzeit	Aktivität
8.00 Uhr	Füttern von Kraftfutter und Heu
11.00 Uhr	Pferde werden auf die Weide gebracht; Säubern der Boxen (Kotentfernung, Nachstreu); Fegen der Stallgasse
18.00 Uhr	Pferde kommen von der Weide in den Stall; Füttern von Kraftfutter und Heu; Fegen der Stallgasse

2.2.1.2 Versuchsteil 3

Simulation des Abgasverhaltens von Mistmatratzen in Abhängigkeit von der Getreideart

Für den Simulationsversuch wurden drei Container in einem klimatisierten Raum (16°C) aufgebaut. Diese Container (Abbildung 3) hatten identische Abmessungen und baulich-technische Ausführungen. Sie wurden als fahrbare, rechteckige, voll wärmegedämmte Container gebaut und bestanden aus einer Substrat- und einer Abluftkammer sowie einer Sickerwanne mit Abflusssystem. Die Innenmaße betrugen 1 m (Breite), 1.8 m (Länge) und 0.9 m (Höhe). Zur Wärmedämmung war die Außenwand der Container mit Polyuretan-Hartschaumplatten mit einer Wandstärke von 3 cm verkleidet. Der Deckel schließt zur optimalen und vollständigen Luftabdichtung in einer mit Glycerin gefüllten Rinne.

Über den Deckel der Container gelangten wärmegedämmte und beheizte Messschläuche in die Abluftkammer. Über diese Messschläuche gelangten angesaugte Luftproben aus der Abluftkammer über den Multiplexer 1303 zum Gasmonitor 1312. Dort wurden die Konzentrationen von Ammoniak, Methan, Lachgas, Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf aus einer Probe gleichzeitig ermittelt. Die Messsequenz wurde so eingestellt, dass alle drei Stunden aus jedem Container für jedes Gas ein Wert bestimmt wurde. Demnach standen für die weitere Auswertung acht Messwerte pro Tag pro Gas und Strohsorte zur Verfügung.

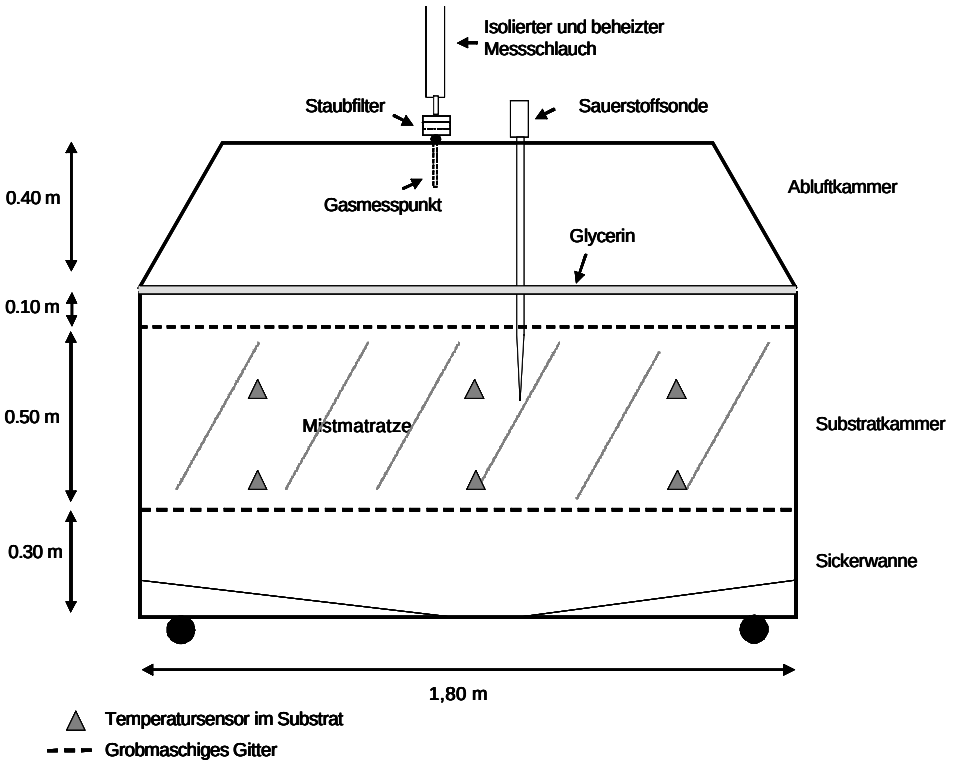


Abbildung 3: Aufbau eines Containers und Anordnung der Messtechnik

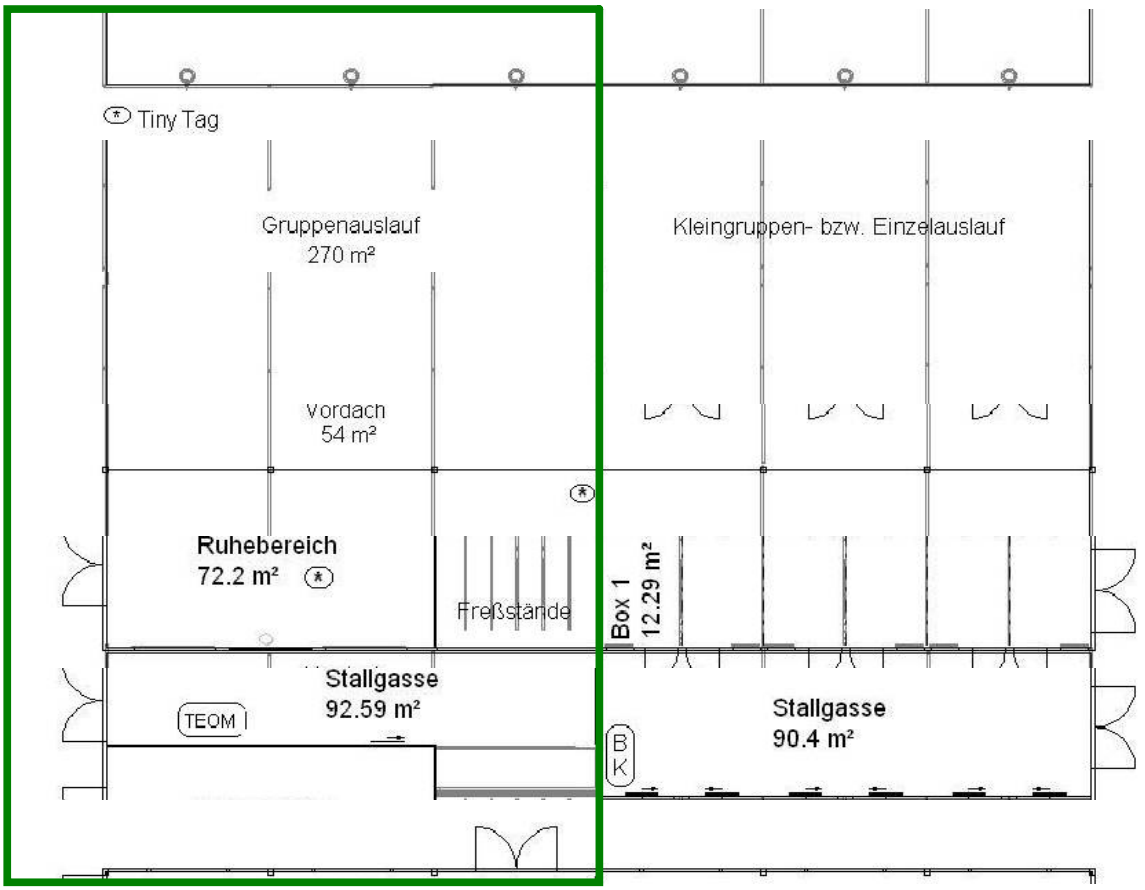
Pro Container wurde eine Sauerstoffsonde (Fa. Dittrich; siehe 2.1), die ca. 25 cm tief in der Mistmatratze steckte, installiert. Die Sauerstoffmessung erfolgte kontinuierlich, alle 10 Minuten wurde für jeden Container ein Wert aufgezeichnet. Die sechs Temperatursensoren (NiCr-Ni; Therm 5500-3; siehe 2.1) befanden sich auf zwei unterschiedlichen Höhen im Substrat, jeweils drei auf 5 cm und auf 30 cm Höhe. Pro Container und Messpunkt wurde jede halbe Stunde ein Substrattemperaturwert ermittelt.
Um den Eintritt von Feuchtigkeit (Kondenswasser) in den Gasmonitor 1312 zu vermeiden, wurde eine Wasserfalle zwischen der Gasprobeentnahmeleitung und der Zuleitung zur Messstelle installiert.
In diesem Versuch stand ungehäckseltes Weizen-, Roggen- und Gerstenstroh (Halmlänge jeweils 20-25 cm) zur Verfügung. Bei den Stroharten handelte es sich um Ernteprodukte von Weizen, Roggen und Gerste aus dem Jahr 2007. Die Erntetechnik- und Strohpresstechnik (Fa. Krone Big Pack; Quaderballen 90 x 120 cm) war bei allen Getreidearten die gleiche, um nahezu identische Bedingungen für alle Strohsorten zu schaffen. Die Stroharten werden vor Beginn der Simulation auf ihren Kohlenstoff-, Stickstoff- und Trockenmassegehalt analysiert.

2.2.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI)

In Braunschweig fanden vom 19.09.2007 bis 01.09.2008 die Versuche zum Einfluss der Einstreumaterialien auf gas- und partikelförmige Emissionen bei Pferden einer Gruppen-Auslaufhaltung statt. Ebenso wie bei den Versuchen in Vechta diente Weizenstroh als Referenzmaterial und wurde verglichen mit entstaubten Spänen und Strohpellets (aus Weizenstroh).

Versuchsstall

Die Untersuchungen wurden im Versuchsstall des Instituts für Agrartechnologie und Biosystemtechnik (ehemals Institut für Betriebstechnik und Bauforschung) durchgeführt. Es stand eine Mehrraum-Gruppen-Auslaufhaltung mit 6 Pferden zur Verfügung (linke Hälfte der Abb. 4).



* Tiny Tag: Erfassung der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte
TEOM: Staubmesstechnik TEOM 1400a
BK: Gasmesstechnik INNOVA 1302 und Multiplexer

Abbildung 4: Aufbau des Versuchsstalles Braunschweig

Der Versuchsstall wurde als sogenannter Kaltstall in Holzrahmenbauweise errichtet und seine angrenzenden Ausläufe sind nach Süden ausgerichtet. Er ist nicht wärmegedämmt und hat eine natürliche Lüftung über seitliche Windschutznetze, Dach und Türen. Durch einen Lichtfirst gelangt zusätzliches Licht von oben in den Stall.
Der Stallbereich ist in verschiedene Funktionsbereiche (Ruhen, Laufen, Trinken und Fressen) unterteilt. Daher wird diese Form der Gruppenhaltung auch als Mehrraum- oder Funktionsraum-Auslaufhaltung bezeichnet. Den sechs Pferden stand ein überdachter Ruhe- bzw. Liegebereich (insg. 72 m² groß) zur Verfügung, der über zwei Ein- bzw. Ausgänge (jeweils drei Meter breit) zum Auslauf verfügte. Die Ausgänge führten zunächst auf einen überdachten gepflasterten Vorplatz (insg. 36 m² groß), der den Übergang zu dem relativ großen Gruppenauslauf darstellte. Dieser war mit Sand aufgeschüttet, insgesamt 270 m² groß, mit einer Rohrkonstruktion umrandet und durch zwei Zaunelemente (Rohrkonstruktion) zusätzlich gegliedert. Den Pferden standen außerdem sechs Fressstände (jeweils 3,00 m x 0,86 m) zur Verfügung, welche sie nur über den Auslauf und durch Umrunden der Zaunelemente erreichten. Die überdachten Fressstände zur Aufnahme von Kraft-, Rau- und Mineralfutter waren gepflastert und zwischen dem Fressbereich und dem Sandauslauf befand sich ebenfalls ein gepflasterter, überdachter Vorplatz (18 m²). Bei der Fütterung fand keine spezifische Platzzuordnung statt, sodass die Fressstände allen Pferden gleichermaßen zur Verfügung standen.
Im Ruhebereich der Gruppenhaltung befanden sich ein Salzleckstein und eine beheizbare Rohrnippeltränke. An der stallabgewandten Seite des Gruppenauslaufs befanden sich drei ebenfalls beheizbare Schwimmertränken im Abstand von sechs Metern zueinander.
Der Ruhebereich der Pferde war zur Stallgasse hin durch eine Trennwand begrenzt, von der der untere Teil (1,50 m) mit einer Hartholzfüllung und der obere Teil (1,00 m hoch) mit vertikalen Gitterstäben versehen war. Der Abstand zwischen den Gitterstäben betrug jeweils 5,5 cm und über den Gitterstäben ist nach weiteren 50 cm eine Querstange angebracht, sodass die Trennwand insgesamt eine Höhe von 3,00 Metern hatte. Die beiden kurzen Seiten dieses Bereichs sind durch Hartholzwände begrenzt, von denen die eine als Stallwand bis zum Dach reichte und die andere 2,50 m hoch war. Die vierte Seite bestand ebenfalls aus Hartholz und ihre beiden Ausgänge zum Auslauf waren durch transparente PVC-Streifenlamellen verhängt, durch die die Pferde aber jederzeit hindurchgehen konnten. Außerdem befand sich in

ca. drei Meter Höhe ein Windschutznetz horizontal über dem Liegebereich, um vergleichbare Luftraum-Verhältnisse zu dem Versuchsstall in Vechta zu schaffen.
Während der Eingewöhnungsphase der Pferde fanden Gaskonzentrationsmessungen im Liegebereich ohne Folienvorhänge vor den Ausgängen statt. Die Gaskonzentrationen waren dabei sehr gering. Um aber die einzelnen Einstreumaterialien besser vergleichen zu können, wurde entschieden, die Folienvorhänge durchgehend hängen zu lassen, um bessere Messergebnisse zu erhalten. Der Einfluss der fehlenden Folienvorhänge wurde nach Abschluss der Varianten noch in einer kurzen zusätzlichen Messphase (19.08. bis 01.09.2008) ermittelt.

Positionierung der Messtechnik

Die Konzentrationsmessungen von Ammoniak, Methan, Kohlenstoffdioxid, Lachgas und Wasserdampf fanden kontinuierlich an insgesamt vier verschiedenen Positionen im Ruhebereich der Gruppenhaltung statt. Die Schlauchenden wurden dazu von der Stallgasse aus durch die Trennwand zum eingestreuten Bereich verlegt. Dabei befanden sich zwei Messstellen in einer Höhe von 1,30 m (Nüsternhöhe eines stehenden Pferdes) und zwei weitere Messstellen in einer Höhe von 0,50 m. Außerdem wurde die Gaskonzentration der Außenluft mit erfasst. Die Luft wurde zunächst durch einen Filter geleitet, damit keine Schmutzpartikel ins Messsystem gelangen konnten. Von dort aus wurde die Stall- und Außenluft durch Teflon-Schläuche zu einem Multiplexer (Eigenbau des Institutes) geleitet. Dieser führte dem INNOVA-Gasmonitor 1302 die entsprechenden Gase zu und speicherte zugleich die gemessenen Gas- und Wasserdampfkonzentrationen. Die Messtechnik war in einem Schrank auf der Stallgasse (siehe Abb. 4, BK) untergebracht.
Das TEOM-Messgerät befand sich ebenfalls auf der Stallgasse (Abb. 4, TEOM), allerdings direkt neben dem Liegebereich der Gruppenhaltung. Die Vakuumpumpe zum Ansaugen der Probenahmeluft befand sich außerhalb des Stalls. Das Windschutznetz, dass sich horizontal über dem Liegebereich befand wurde auch senkrecht hinter den Gitterstäben der Trennwand nach unten geführt. Dabei war es so angebracht, dass sich der TEOM-Messkopf zwischen dem Netz und dem Liegebereich befand, so dass die Luft der Stallgasse vom Messkopf fern gehalten wurde. Während der gesamten Versuchsdauer wurde der Probennahmekopf PM 10 verwendet, der sich auf einer Höhe von ca. 1,80 m befand.

Außerdem befanden sich jeweils ein Messfühler (Tiny Tag) in ca. drei Metern Höhe über der Einstreu im Stall und im überdachten Vordachbereich. Diese Messgeräte haben alle 15 Minuten die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte innerhalb und außerhalb des Stalls aufgezeichnet.
Des Weiteren befand sich in unmittelbarer Nähe des Pferdestalles eine Mikroprozessor-Wetterstation (MWS 9-5, Reinhardt System- und Messelectronic GmbH, Diessen) zur kontinuierlichen Aufzeichnung verschiedener Wetterdaten (Temperatur, Feuchte, Sonnenscheindauer, Regenmenge, Windgeschwindigkeit und Windrichtung).

Tiere

Beim vTI Braunschweig wurden die Untersuchungen mit sechs Warmblutstuten der Hannoverschen Zucht durchgeführt. Sie hatten während der Durchführung der Versuche ein Alter zwischen 1¼ und 2½ Jahren und wurden dem Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik von einem Pferdezüchter aus der Umgebung zur Verfügung gestellt. Nähere Angaben zum Geburtsdatum, zur Abstammung und zur Fellfarbe der Pferde sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Name, Geburtsdatum, Abstammung und Fellfarbe der Versuchspferde (Gruppenhaltung)

Name	Geburtsdatum	Vater	Mutter	Muttervater	Farbe
Selma	18.04.2006	Stakkato	Baronesse	Bold Indian xx	Braun
Empire	03.04.2006	Escudo I	Widia	Werther	Braun
Rucola	02.05.2006	Ruehmann	White Lady	White Magic	Fuchs
Emma	05.06.2006	Escudo I	Welfin	Wandergesell	Fuchs
Enja	25.04.2006	Escudo I	Sensation	Stakkato	Braun
Sambuca	27.04.2006	Stolzenberg	Bodega	Bold Indian xx	Braun

Die Stuten sind unter ähnlichen Bedingungen aufgewachsen und standen vor Beginn der Versuche ganztags in einer Gruppe auf der Weide. Das Körpergewicht der sechs Pferde lag zwischen 418 und 588 kg. Dabei betrug es zu Versuchsbeginn durchschnittlich 437 kg und beim Versuchsende durchschnittlich 538 kg. Das Gewicht der Pferde wurde durch die Pferdewaage EziWeigh 1 (Firma Tru-Test, Auckland, Neuseeland) bestimmt. Keines der Pferde war an den Hufen beschlagen oder wurde während der Versuche für andere Zwecke (Reiten, Fahren etc.) genutzt.
In regelmäßigen Abständen wurden die Stuten entwurmt und durch den Hufschmied betreut. Sie waren alle gegen Herpesviren, Influenzaviren und Tetanus geimpft. Bis

auf fünf Kolikerkrankungen konnten während des Untersuchungszeitraums keine beeinträchtigende Krankheiten oder Verletzungen beobachtet werden.

Futter und Einstreumaterial

Die Fütterung der Pferde erfolgte durch eine computergesteuerte Automatenfütterung. Die Kraftfutter-Zuteilung erfolgte zeitgesteuert um 7:00, 13:00 und 18:30 Uhr. Jede Stute bekam jeweils 700 Gramm Hafer pro Fütterungseinheit, welcher zeitgleich durch integrierte Kraftfutter-Dosierautomaten (Firma Weinsberger International, Weinsberg und Firma Hinrichs Innovation & Technik GmbH, Weddingstedt) zugeteilt wurde. Als Raufutter bekamen die Pferde Heu, welches sie an einem computergesteuerten Heuschieber (Firma Wasserbauer Fütterungssysteme GmbH, Waldneukirchen, Österreich) aufnahmen. Jedes Pferd trug ein Halsband mit einem Transponder, durch den es vom Fütterungssystem erkannt wurde. Die Gesamtfresszeit betrug ca. 400 Minuten pro Tag und war über den gesamten 24 Std.-Tag verteilt. In dieser Zeit nahm ein Pferd insgesamt ca. acht bis zwölf Kilogramm Raufutter auf. Zusätzlich bekam jedes Pferd einmal täglich 75 Gramm Mineralfutter (Horse Vital Plus, Firma Heinrich Eggersmann GmbH & Co KG Futtermittelwerke, Rinteln) gefüttert.
Es wurden drei Einstreumaterialien verglichen. Hierbei handelte es sich um Weizenstroh, entstaubte Späne und Strohpellets. Pro Einstreumaterial gab es zwei Versuchsdurchgänge über jeweils 7 Wochen.

Täglicher Ablauf im Stall

Während des gesamten Versuchszeitraums wurden standardisierte Versuchsrahmenbedingungen beibehalten, um eine Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse zu gewährleisten. Die Stallarbeiten fanden stets am Vormittag zwischen sechs und elf Uhr statt, sodass während der übrigen Tageszeit keine zusätzliche Unruhe entstand. Während der täglichen Stallarbeiten wurde der Ruhebereich der Gruppenhaltung ausgemistet und gegebenenfalls neu eingestreut, die Ausscheidungen der Pferde von den Ausläufen sowie den gepflasterten Stallbereichen entfernt und die Selbsttränken und Futtertröge kontrolliert. Die Raufutterautomaten wurden täglich und die Kraftfutterdosierer wöchentlich aufgefüllt. Zusätzlich wurde das Gewicht der Mistmengen und des Futters erfasst.
Die Pferde kamen an den Wochentagen von 7:30 bis 9:30 Uhr auf eine Weide (ca. 0,5 Hektar groß). Das Wochenende verbrachten die Pferde in der Stallanlage.

2.3 Versuchsdurchführung

2.3.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE)

2.3.1.1 Versuchsteil 1

Eigenschaften ausgewählter Einstreumaterialien unter Praxisbedingungen hinsichtlich der Partikel- und Gaskonzentrationen im Pferdestall mit Einzelboxenhaltung

Alle vier Versuchsboxen wurden zunächst für zwei Wochen mit Weizenstroh eingestreut. Während eines zweiwöchigen Versuchsdurchganges wurden alle vier Boxen mit einem Einstreumaterial eingestreut. Nach diesen zwei Wochen wurde der gesamte Stall ausgemistet, einige Stunden „ausgelüftet“ und mit Strohpellets eingestreut. Wiederum nach zwei Wochen wurden die entstaubten Späne eingestreut. Ein Messblock ist somit nach sechs Wochen beendet. Insgesamt wurden drei Wiederholungen pro Material durchgeführt (Tab. 7).

Tabelle 7: Versuchsplan und zeitlicher Ablauf Versuchsteil 1

26. Januar – 9. März 2007			9. März – 20. April 2007			20. April bis 1. Juni 2007		
2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.	2 Wo.
Stroh	Stroh-pellets	Späne	Stroh	Stroh-pellets	Späne	Stroh	Stroh-pellets	Späne
Block 1			**Block 2**			**Block 3**		

Während der zwei Wochen, in denen ein Material verwendet wurde, wurde nicht ausgemistet. Es erfolgte lediglich eine tägliche Kotentnahme und ein Begradigen bei allen Materialien. Eine tägliche Nachstreu einer definierten Menge (11 kg) erfolgte nur bei Weizenstroh. Späne und Strohpellets wurden nach Herstellerangaben verwendet. Das beinhaltet, dass diese Einstreumaterialien nur einmalig eingestreut werden. Die Matratze sollte jedoch täglich von Kot gesäubert werden. Ein kompletter Einstreuaustausch sollte dann erst nach 4-6 Wochen erfolgen. Die Ersteinstreumengen an Tag 1 sind der folgenden Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Einstreumenge der drei verwendeten Einsreumaterialien

Einstreumaterial	Einstreumenge am Tag 1
Weizenstroh	3.5 kg/m²
	Tägliche Nachstreumenge 11 kg/Box
Strohpellets	17 kg/m²
entstaubte Späne	12 kg/m²

Um die Pilz- und Keimbelastung im Stall zu erfassen, wurden zu Beginn der Versuchsreihe und dann alle zwei Wochen von jedem Einstreumaterial repräsentative Stichproben gezogen, und es wurde ein mikrobiologisches Monitoring durchgeführt.
Über den gesamten Versuchszeitraum wurden die Gase im Stall kontinuierlich erfasst. Insgesamt wurden in jedem Messzyklus 30 Messungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten kontinuierlich, jede einzelne Messung dauerte ca. drei Minuten, sodass ein kompletter Messzyklus ca. 90 Minuten betrug. Daraus ergaben sich für jede Box zwei Messwerte pro Stunde.
Das Partikelmessgerät erfasste die Partikelkonzentration der Stallluft in der Messbox kontinuierlich und ermittelte jede halbe Stunde den aktuellen Schwebstaubgehalt in der Luft. Gleichzeitig errechnet das Messgerät Halbstundenmittelwerte.

2.3.1.2 Versuchsteil 2

Einfluss des Entmistungsintervalls auf Partikel- und Gasentwicklung im Pferdestall mit Einzelhaltung in Boxen

Alle vier Versuchsboxen wurden im ersten Versuchsabschnitt mit Weizenstroh (2006 geerntet) eingestreut. In dem Zeitraum von sechs Wochen wurden die Boxen nicht ausgemistet, und es wird zudem auch kein Kot entfernt. Es wird einmal am Tag morgens eine definierte Menge (1 „Rippe“ vom Quaderballen = 11 kg; 1 kg/m²) nachgestreut.
Im zweiten Versuchsabschnitt wurden anschließend über den Zeitraum von zwei Wochen alle Versuchsboxen mit Stroh eingestreut, täglich komplett ausgemistet und neu eingestreut (3,5 kg/m² und Tag).
Im dritten Versuchsabschnitt wurden dann ebenfalls über einen Zeitraum von zwei Wochen alle Versuchsboxen mit Stroh eingestreut (1 kg/m²) und täglich von Kotstellen (siehe Versuchsteil 1) gesäubert.

Die Gas- und Schwebstaubkonzentrationen wurden über den gesamten Versuchszeitraum kontinuierlich gemessen. Zusätzlich wurden relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur innen und außen routinemäßig ermittelt (siehe Versuchsteil 1). Folgende Tabelle 9 stellt den Zeitablauf dar:

Tabelle 9: Versuchsplan und zeitlicher Ablauf Versuchsteil 2

Abschnitt 1	**Abschnitt 2**	**Abschnitt 3**
8. November 06 – 3. Januar 07 6 Wochen	11. – 25. Januar 07 2 Wochen	26. Januar – 9. Februar 07 2 Wochen
Mistmatratze; nur tägliche Nachstreu: 1 kg/m²	tägliches Ausmisten, komplett tägliche Neueinstreu: 3,5 kg/m²	tägliches Ausmisten, nur Kotentfernung tägliche Nachstreu: 1 kg7m²

2.3.1.3 Versuchsteil 3

Simulation des Abgasverhaltens von Mistmatratzen in Abhängigkeit von der Getreideart

Die drei Container wurden jeweils mit einer definierten Mischung aus 60 kg Pferdekot, 60 l NH_4Cl-Lösung und 25 kg Weizen-, Roggen- bzw. Gerstenstroh befüllt.

Der Pferdekot kommt aus einem großen Reitbetrieb, auf dem er an 2 Tagen vor Versuchsbeginn ohne weitere Materialbeimengungen gesammelt wird. Für eine Anreicherung mit Urin, werden 4 Proben von unterschiedlichen Pferden gezogen und deren Mittelwert ermittelt. Anhand dieses Wertes setzt man nun eine Ammoniumchloridwasserlösung (NH_4CLH_2O) mit 3 mg NH_4-N pro Liter Lösung an.

In folgender Tabelle 10 sind der Gesamt–N–Gehalt, der Gesamt-C-Gehalt sowie die Trockenmasse der drei verschiedenen Strohsorten und der Kot-NH_4Cl-Lösung dargestellt.

Tabelle 10: Zusammensetzung der Strohsorten und des Kot/NH_4Cl-Lösung -Gemisches

Substanz	**C_{Ges} [%]**	**N_{Ges} [%]**	**C/N**	**Trockenmasse [%]**
Weizenstroh	42,54	0,57	74,6/1	91,20
Gerstenstroh	43,01	0,47	91,5/1	91,22
Roggenstroh	43,57	0,74	58,9/1	91,05
Kot/NH_4Cl-Lösung	4,05	0,14	28,9/1	13,50

Zur Homogenisierung des Substratgemisches wird in einer Wanne 60 kg Pferdekot mit 60 l Ammoniumchloridlösung (NH_4Cl) vermischt. Hinzu kommen 25 kg der jeweiligen Strohart. Auf dem Gitter zwischen Sickerwanne und Mistmatratze wird ein feinmaschiges Flies aufgelegt, um die Verunreinigung des Sickerwassers durch gröbere Partikel zu vermeiden.

Auf die Mistmatratzen wurden jeweils ein grobporiges Gitter und drei Gewichte (à 5 kg) gelegt, um eine leichte Verdichtung der 50 cm hohen Mistmatratze zu bewirken. Nach der Befüllung der Container und dem Anschließen der Messtechnik waren die Container luftdicht verschlossen.

Ein Versuchsdurchgang dauerte 19 Tage, insgesamt wurden drei Durchgänge wiederholt.
Aus jedem Container wurden in jedem Versuchsdurchgang jeweils am Tag 1, 8, 15 und 19 eine Probe des Pferdemist/Strohgemisches genommen. Diese wurde hinsichtlich ihres Gesamtstickstoff-, Gesamtkohlenstoff-, Nitrit-, Nitrat-, und Ammoniumgehaltes analysiert. Zusätzlich wurde der pH-Wert aus jeder Probe bestimmt sowie der Trockenmassegehalt aus Probe 1 und 19.
Für die Probenentnahme wurde der Deckel des Containers für eine kurze Zeit (3 Minuten) geöffnet. Das Substrat wurde demnach an Tag 8 und 15 belüftet. Zusätzlich erfolgte eine tägliche Belüftung an Tag 16, 17 und 18. Nach Ende eines Durchganges wurden das Gewicht des Substrates und zusätzlich des Sickerwassers aus jedem Container bestimmt. Darüber hinaus wurde das Kondenswasser, welches in den Wasserabscheidern aufgefangen wurde, gewogen.
Während den drei Versuchswiederholungen bleiben die Messgeräte bei den jeweiligen Reaktoren, lediglich die Befüllungsart mit den verschiedenen Stroharten ändert sich jedes Mal (Tabelle 11).

Tabelle 11: Versuchsplan und zeitlicher Ablauf Versuchsteil 3

Durchgang	Container 1	Container 2	Container 3
1 8.10. – 26.11.07	Roggen	Gerste	Weizen
2 1.11. – 19.11.07	Gerste	Weizen	Roggen
3 3.12. – 21.12.07	Weizen	Roggen	Gerste

Aus jedem Container wird Luft angesaugt, die dann mit Hilfe des Multiplexer 1303 zum Multigasmonitor 1312 geleitet wird. Insgesamt werden nacheinander 3 Messkanäle beprobt.

K_1 = Container 1

K_3 = Container 2

K_5 = Container 3

K = Kanal

Messsequenz:

K_1 K_1 $\mathbf{K_1}$ K_3 K_3 $\mathbf{K_3}$ K_5 K_5 $\mathbf{K_5}$

Bei der Beprobung eines neuen Materials werden jeweils drei Messwiederholungen durchgeführt. Jedoch nur jeder dritte Messwert wird für weitere Berechnungen und Auswertungen verwendet. Insgesamt werden in jedem Messzyklus 3 Messungen pro Container durchgeführt. Jede einzelne Messung dauerte ca. drei Minuten, sodass ein kompletter Messzyklus ca. 27 Minuten beträgt. Die Messsequenz wird so eingestellt, dass alle drei Stunden ein Wert pro Container für die Auswertung zur Verfügung steht. So werden 8 Messungen pro Strohart am Tag erfasst.

Die Temperatur wird in jedem Container kontinuierlich alle halbe Stunde auf den verschiedenen Höhen online gemessen. Drei Temperatursonden befinden sich auf 30 cm Höhe im Substrat, im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird dieser Wert mit T1 bezeichnet. T2 beschreibt die Temperaturwerte der drei Sonden auf 5 cm. So erhält man 48 Messungen pro Container je Tag und Substrathöhe.

Eine weitere Temperatursonde ist im klimatisierten Außenbereich der Container angebracht und zeichnet zur Kontrolle die Raumtemperatur auf

Der Sauerstoffgehalt wird kontinuierlich alle 10 Minuten online von jedem Container gleichzeitig ermittelt. So erhält man je Container 144 Messungen pro Tag.

2.3.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI)

In einem Versuchszeitraum von 11 Monaten (19.09.2007 bis 18.08.2008) wurden drei Einstreumaterialien hinsichtlich ihrer gas- und partikelförmigen Emissionen in einer Gruppen-Auslaufhaltung verglichen. Verwendet wurden dabei Weizenstroh, entstaubte Späne und Strohpellets. Pro Einstreumaterial gab es zwei Versuchsdurchgänge über jeweils 7 Wochen (Tab. 12). Der erste Durchgang mit Weizenstroh dauerte jedoch 13 Wochen, da durch einen Gerätedefekt die Messung der Gaskonzentrationen zwischenzeitlich ausfiel. Nach Abschluss der letzten Versuchsvariante verblieb die Einstreu (Strohpellets) noch weitere 2 Wochen (18.08.2008 bis 01.9.2008) im Stall, allerdings wurden die PVC-Folienvorhänge vor den Ausgängen zum Auslauf entfernt und die Messung der Gaskonzentrationen fortgesetzt.

Tabelle 12: Versuchsplan und zeitlicher Ablauf des vTI Braunschweig

Durchgang	Weizenstroh	Holzspäne	Strohpellets
1	19.09. – 20.12.2007 (13 Wochen)	20.12. – 07.02.2008 (7 Wochen)	07.02. – 27.03.2008 (7 Wochen)
2	27.03. – 19.05.2008 (7 Wochen)	19.05. – 07.07.2008 (7 Wochen)	07.07. – 18.08.2008 und 18.08. – 01.09.2008 (7+2 Wochen)

Zu Beginn der beiden Versuchsdurchgänge wurde zunächst **Weizenstroh** verwendet. Um die Ergebnisse beim Weizenstroh mit denen aus Vechta vergleichen zu können, wurde eine Strohpresse verwendet, die ebenfalls Quaderballen unter ähnlichen Bedingungen presst. Das Stroh wurde am 06.08.2007 gepresst (Ernte- und Strohpresstechnik der Firma Krone, Big Pack; Quaderballen 90 x 120 cm).

Das Weizenstroh wurde als „Matratzenstreu“ verwendet. Dass heißt, das jeden Tag eine bestimmte Menge Stroh (nach vorheriger Gewichtsbestimmung) nachgestreut wurde, aber keine Entfernung von Kot oder Mist stattgefunden hat. Bei der Ersteinstreu wurden insg. 240 bzw. 280 kg (entspricht 3,3 bzw. 3,8 kg/m²) eingestreut und die tägliche Nachstreu betrug je nach Bedarf zwischen 0 und 60 kg für die gesamte 72 m²-Liegefläche (durchschnittlich 17 kg/Tag). Die Liegefläche wurde täglich begradigt.

Nach Abschluss der Strohvariante wurde der gesamte Stall komplett entmistet, einige Stunden gut gelüftet und anschließend mit **Holzspänen** eingestreut. Bei den Holz-

spänen wurden zu Beginn der Variante jeweils 20 Ballen (entspricht ca. 8 kg/m²) als Ersteinstreu verwendet und ein Mal wöchentlich 3 Ballen (1,2 kg/m²) nachgestreut. Bei der täglichen Pflege der Einstreu wurden die Kothaufen und oberflächliche feuchte Stellen entfernt sowie die Liegefläche begradigt.

Vor der Ersteinstreu der **Strohpellets** fand erneut eine komplette Entmistung des Stalles und eine mehrstündige Lüftung statt. Anschließend erfolgte die Ersteinstreu der Pellets mit 1400 bzw. 1500 kg (entspricht 19,4 bzw. 20,8 kg/m²). Nachgestreut wurde ein Mal wöchentlich mit 200 kg Pellets (2,8 kg/m²). Auch bei der Pelletseinstreu wurden die Kothaufen täglich entfernt und feuchte Stellen, falls sie oberflächlich direkt sichtbar waren, ebenfalls. Anschließend erfolgte eine Glättung der Liegefläche.

2.4 Statistische Auswertung

2.4.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE)

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programmpaket SAS 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA 2002-2003).

Versuchsteil 1

Für die statistische Auswertung wurden zunächst Stundenmittelwerte der Partikel- und Gaskonzentrationen gebildet. Insgesamt standen 3014 (Partikelanalyse) bzw. 29510 (Gasanalyse) Datensätze für die Auswertung zur Verfügung. Zusätzlich wurden Zeitblöcke gebildet, die bestimmten Stallaktivitäten zugeordnet wurden. Zeitblock 1 = 23:00-7:59 Uhr (Stallruhe), Zeitblock 2 = 8:00-10:59 Uhr (Füttern, Fressen), Zeitblock 3 = 11:00-11:59 Uhr (Pferde wurden auf die Weide gebracht, Reinigung der Boxen, Streuen, Fegen der Stallgasse), Zeitblock 4 = 12:00-17:59 Uhr (kein Pferd im Stall), Zeitblock 5 = 18:00-22:59 Uhr (Pferde wurden in den Stall geholt, Füttern, Fegen der Stallgasse).

Die Daten wurden zunächst auf eine Normalverteilung überprüft. Falls diese nicht vorhanden war, wurden die Daten mittels Logarithmierens in eine solche überführt.

Partikel

Eine Varianzanalyse wurde mittels der Prozedur GLM unter Berücksichtigung der fixen Effekte „Material“, „Wiederholung“, „Stallaktivität“ und „Versuchstag“ durchgeführt. Interaktionen bestanden zwischen Material und Wiederholung, Material und Stallaktivität und Material und Versuchstag. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen berücksichtigt.

Gase

Für die statistische Datenanalyse stand ein Datensatz von 4032 Beobachtungen/Einstreumaterial zur Verfügung. Für die Varianzanalyse mittels der Prozedur GLM wurden Tagesmittelwerte der Gasdaten gebildet, um den Gaskonzentrationsverlauf in 14 Versuchstagen zu analysieren. Um den Gaskonzentrationsverlauf innerhalb eines Tages zu analysieren, wurden Stundenmittelwerte gebildet. Die fixen Effekte „Material”, „Durchgang”, „Versuchstag” und „Box” wurden im Modell berück-

sichtigt. Interaktionen bestanden zwischen „Material” und „Durchgang”, „Material” und „Versuchstag” und „Material” und „Box“. Das gleiche Modell wurde für alle Gase verwendet. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen berücksichtigt.

Versuchsteil 2

Für die statistische Auswertung der erhobenen Gas- und Partikeldaten von Versuchsteil 2 wurden je zwei verschiedene Modelle gewählt. Zum einen wurden die drei Einstreusysteme miteinander verglichen. Dabei wurden jeweils die ersten 14 Tage der drei Varianten in die Berechnung einbezogen (Modell 1).
Zum anderen wurden bei der Variante „Mistmatratze“ alle sechs Wochen in die Auswertung einbezogen (Modell 2).

Partikel

Modell 1:

Für die statistische Auswertung der Partikeldaten stand ein Datensatz von 336 Werten/Einstreuvariante zur Verfügung. Eine Varianzanalyse wurde mittels der Prozedur GLM unter Berücksichtigung der fixen Effekte „Entmistungsvariante“ und „Versuchstag“ durchgeführt. Eine Interaktion bestand zwischen „Entmistungsvariante“ und „Versuchstag“. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen berücksichtigt.

Modell 2:

Zunächst wurden Tagesmittelwerte der Partikelkonzentrationen gebildet. Ein Datensatz von 7 Tagesmittelwerte pro Woche stand zur Verfügung. Eine Varianzanalyse wurde mittels der Prozedur GLM unter Berücksichtigung des fixen Effekts „Woche“ durchgeführt. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen in beiden Modellen berücksichtigt.
Ergebnisse werden dargestellt als Least Square Means (LSM) ± Standardfehler (SE

Gase

Modell 1:

Für die statistische Auswertung der Gasdaten stand ein Datensatz von 1344 Werten/Einstreuvariante zur Verfügung. Eine Varianzanalyse wurde mittels der Prozedur GLM unter Berücksichtigung der fixen Effekte „Entmistungsvariante“, „Versuchstag“

und „Box“ durchgeführt. Interaktionen bestanden zwischen „Entmistungsvariante“ und „Versuchstag“ und „Entmistungsvariante“ und „Box“. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen berücksichtigt.

Modell 2:
Dazu wurden zunächst Tagesmittelwerte der Gaskonzentrationen gebildet. Ein Datensatz von 7 Tagesmittelwerte pro Woche und Box stand zur Verfügung. Eine Varianzanalyse wurde mittels der Prozedur GLM unter Berücksichtigung der fixen Effekte „Woche“ und „Box“ durchgeführt. Das gleiche Modell wurde für alle Gase verwendet. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen in beiden Modellen berücksichtigt.
Ergebnisse werden dargestellt als Least Square Means (LSM) ± Standardfehler (SE).

Versuchsteil 3
Mit der Prozedur GLM wurde dann die Varianzanalyse durchgeführt. Für die Auswertung standen insgesamt jeweils 1177 Ammoniak-, Kohlenstoffdioxid-, Methan-, Lachgas- und Wasserdampfwerte zur Verfügung. Zunächst wurden jeweils Tagesmittelwerte Gaskonzentrationen ermittelt. Bei der Varianzanalyse wurden die Einflüsse fixer Effekte auf die Konzentrationen von Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas und Wasserdampf geschätzt. Als fixe Effekte galten das „Material“ und der „Versuchsdurchgang“. Eine Interaktion besteht zwischen dem „Material“ und dem „Lüften genestet innerhalb des Versuchstages“. Ergebnisse werden dargestellt als Least Square Means (LSM) ± Standardfehler (SE).
Zusätzlich zu beschriebener Auswertung, wurde jeweils zwischen den verschiedenen Strohsorten der Verlauf der Gase innerhalb der ersten 5 Tage miteinander verglichen. Jede dritte Stunde wurde ein Wert pro Strohsorte erfasst. Für diesen Vergleich wurden Mittelwerte über die drei Durchgänge verwendet. Die Ergebnisse werden als Mittelwerte dargestellt.

2.4.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI)

Zur übersichtlichen Speicherung der Datenmengen wurde ein Großteil der gewonnen Daten zunächst in einer mit MS Access erzeugten Datenbank abgelegt.
Die statistische Auswertung erfolgte anschließend mit dem Programm SPSS für Windows, Version 15.0.1 (Firma SPSS Inc., Chicago, USA) und ein Teil der Über-

sichtstabellen und Grafiken wurde mit dem Programm Microsoft Excel, Version 5.1.2600 erstellt. Die Messdaten wurden über einen Zeitraum von 11,5 Monaten unter Verwendung drei verschiedener Einstreumaterialien gewonnen.

Insgesamt standen 25.254 Datensätze der Staubpartikel- bzw. 25321 Datensätze der Gasmessungen für die statistische Auswertung zur Verfügung. Diese Datensätze wurden in Zeitblöcke unterteilt, um den Einfluss der Stallaktivitäten zu erfassen: Zeitblock 1 = 23:00-5:59 Uhr (Stallruhe), Zeitblock 2 = 6:00-10:59 Uhr (Reinigung der Liegefläche, evtl. Nachstreuen, Fegen der Stallgasse, Pferde auf die Weide und nach 2 Std. zurück in den Stall bringen), Zeitblock 3 = 11:00-22:59 Uhr (Pferde im Stall und ansonsten keine weiteren Tätigkeiten im Stall).

Die Messergebnisse wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test hinsichtlich ihrer Normalverteilung geprüft und getrennt nach den jeweiligen Messparametern Staub und Gas ausgewertet. Die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur im Stall wurden als Kovariablen berücksichtigt.
Die Ergebnisse der **Staubmessung** sowie die gemessenen Konzentrationen der **Gase** waren normalverteilt.

Die erhobenen Messwerte (Staub und Gas) wurden mithilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Faktor „Einstreumaterial“ und „Zeitblock“ ausgewertet und mittels Scheffé-Test auf signifikante Unterschiede zwischen den Varianten getestet. Bei dem Vergleich der Gruppenhaltung „mit einem Folienvorhang“ und „ohne Folienvorhang“ wurde mithilfe des Student-Newman-Keul-Testes (SNK-Test) auf Signifikanz getestet.

Bei allen Testverfahren wurden Unterschiede als signifikant betrachtet, sofern die Irrtumswahrscheinlichkeit P = 0,05 betrug. Somit gelten folgende Signifikanzniveaus:

P > 0,05	nicht signifikant,
P = 0,05	signifikant,
P = 0,01	hoch signifikant.

3 Ergebnisse

3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

3.1.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE)

Technikum (Vorversuch)

Für die Untersuchungen zur Staubentwicklung aus den Einstreumaterialien ist eine Trommel (d = ca. 50 cm) angefertigt worden, in der sich rotierende Schaufeln befanden. Auf diese Trommel wurde ein ca. 1,50 m hoher geschlossener Aufsatz gebaut, in dem sich der Messkopf des online gravimetrisch-messenden Staubmessgerätes (TEOM 1400a, Fa. Rupprecht & Patashnick, USA) befand.

20 Liter von jedem Einstreumaterial (20 l = 1 kg Stroh, 2 kg Späne, 2,4 kg Hanf, 2,2 kg Leinen, 6 kg Strohpellets und 2 kg Papierschnitzel) wurde in die Trommel gefüllt und eine bestimmte Zeit durch die Schaufeln durchmischt. Das Rotieren der Schaufeln (Simulation des Einstreuprozesses) wurde durch einen Motor gesteuert, wobei die Drehgeschwindigkeiten (Variante 1 = 14 U/min; Variante 2 = 8 U/min) und die Drehdauer (Variante 1 = 1 min; Variante 2 = 5 min) verändert werden konnten. Die Staubentwicklung der einzelnen Materialien wurde kontinuierlich während des Drehvorgangs und für mehrere Stunden danach gemessen. Das Messgerät konnte mit unterschiedlichen Messköpfen bestückt werden, um verschiedene Staubfraktionen zu erfassen. Bestimmt wurden die Fraktionen TSP (PM 20; **t**otal **s**uspended **p**articulate matter), PM 10, PM 2.5 und PM 1. Je Material und Schwebstaubfraktion wurden drei Messwiederholungen durchgeführt.

Bei der Partikelanalyse der einzelnen Einstreumaterialien wurden die weitaus höchsten Konzentrationen bei Hanf und Leinen sowohl in den kleinen Partikelfraktionen (PM 1 und PM 2.5) als auch in den größeren Partikelfraktionen (PM 10 und PM 20) festgestellt. Besonders bei den Fraktionen PM 10 und PM 20 lagen die Werte für Hanf und Leinen mehr als 100 % höher als die entsprechenden Werte für Späne und Weizenstroh. Die geringste Partikelgenerierung bezogen auf die Einstreumasse entstand bei Strohpellets (Abb. 5).

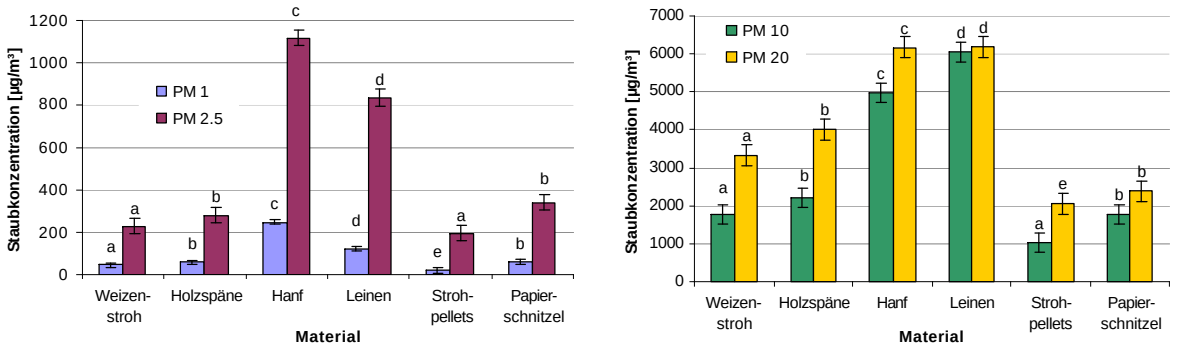


Abbildung 5: Least Square Means und Standardfehler der Staubkonzentrationen (PM 20, PM 10, PM 2.5 und PM 1) innerhalb der ersten 2 Stunden nach Rotationsbeginn (pro 1 kg Substrat, 1 min Rotation, 14 U/min, n = 3 Wiederholungen)

Die Drehdauer hatte in allen Partikelfraktionen einen deutlichen Einfluss auf die Partikelentwicklung. Eine Verlängerung der Drehzeit von 1 Minute auf 5 Minuten verursachte bei allen Materialien einen enormen Anstieg, annähernd eine Verdreifachung, der Konzentrationen. Die Verringerung der Drehgeschwindigkeit der Schaufeln von 14 U/min zu 8 U/min verursachte eine Verringerung der Werte, die jedoch nicht signifikant und abhängig vom Material war.

Einen signifikanten Einfluss auf die NH_3- Bildung hatte zum einen das Material, zum anderen der Durchgang. Es wurden durchschnittliche Ammoniakkonzentrationen von 102,1 mg/m³ bei Stroh, von 89,2 mg/m³ bei Späne, von 84,8 mg/m³bei Hanf, von 79 mg/m³ bei Leinen, von 34,9 mg/m³ bei Strohpellets und von 91,5 mg/m³ bei Papierschnitzeln festgestellt. Die Werte variierten jedoch im Verlauf eines Durchgangs von 14 Tagen deutlich (siehe Abbildung 6).

Bei allen Materialien sind in den ersten Versuchstagen kontinuierlich ansteigende Werte ermittelt worden. Nach dem siebten Tag blieben die Werte von Strohpellets konstant und sanken ab dem neunten Tag, während die der anderen Materialien weiter anstiegen. Das Absinken der Konzentrationen wurde zudem bei Hanf nach dem zehnten Tag beobachtet.

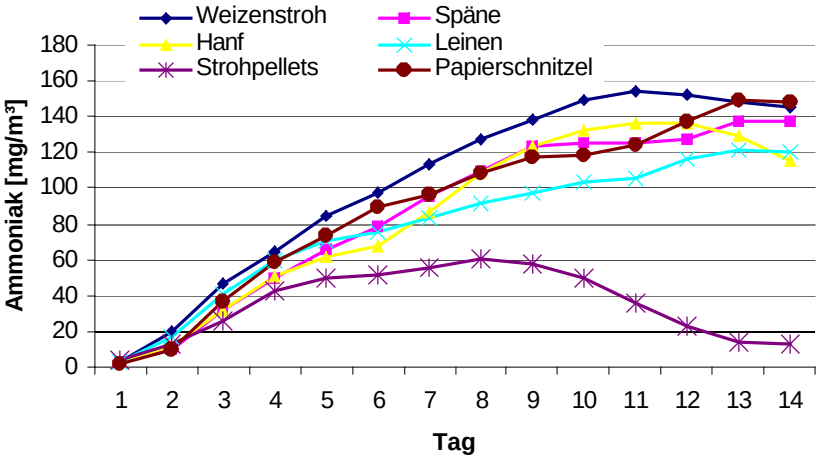


Abbildung 6: Least Square Means der NH_3- Konzentrationen der verschiedenen Einstreumaterialien im Verlauf von 14 Tagen, n = 84 tägl. LSM/Material

Durch die mechanische Aufbereitung weisen die Pellets eine große mikrobiell angreifbare Fläche auf. Die C-Verfügbarkeit ist hier außerdem wesentlich höher als z.B. bei unbehandelten Stroh.

Es ist anzunehmen, dass die sinkenden NH_3- Konzentrationen bei den Pellets durch vermehrt ablaufende Nitrifikationsprozesse verursacht werden. Bei der Nitrifikation wird Ammoniak bzw. Ammonium durch spezialisierte Bakteriengruppen über Zwischenstufen zu Nitrat oxidiert.

In der vorliegenden Untersuchung wurden weitere Indikatoren festgestellt, die die These der erhöhten Nitrifikationsprozesse stützen. Ab dem Zeitpunkt, an dem sinkende NH_3- Konzentrationen festgestellt wurden, stiegen die CO_2- und H_2O- Werte in den Pellet - Behältern stark an. Zudem war die Substrattemperatur mit Maximalwerten bis zu 40 °C deutlich höher als bei den restlichen Materialien. Durch die vermehrte Bakterienaktivität wird verstärkt Energie bzw. Wärme freigesetzt.

3.1.1.1 Versuchsteil 1

Partikel

In dieser Untersuchung hatten das Einstreumaterial und die Stallaktivität (Füttern/Fressen, Säubern der Boxen/Streuen/Fegen) einen hochsignifikanten Einfluss auf die Partikelkonzentration mit P <.0001. Einen signifikanten Einfluss auf die Konzentration von luftgetragenen Partikeln hatte zudem der Versuchstag mit P =0.05. Hochsignifikant war der ebenso die Interaktion Einstreumaterial/Wiederholung, Einstreumaterial/Stallaktivität und Einstreumaterial/Versuchstag mit P <.0001.

Die relative Luftfeuchte sowie die Lufttemperatur im Stall hatten in dieser Untersuchung keinen signifikanten Einfluss auf die Partikelkonzentration. Auch der Einfluss der Wiederholung war nicht signifikant und demnach statistisch nicht abzusichern (Tabelle 13).

Tabelle 13: Einflussfaktoren auf die Generierung von luftgetragenen Partikeln

Einflussfaktor	**Signifikanz P-Wert**
Einstreumaterial	<0.0001
Wiederholung	0.3399
Stallaktivität	<0.0001
Versuchstag	0.0001
Einstreumaterial/Wiederholung	<0.0001
Einstreumaterial/Stallaktivität	<0.0001
Einstreumaterial/Versuchstag	<0.0001
Relative Luftfeuchte im Stall	0.112
Lufttemperatur im Stall	0.342

Über den gesamten Versuchszeitraum lagen die Partikelkonzentrationen bei den Strohpellets auf dem geringsten Niveau mit einem Mittelwert von 111.2 ± 149.2 µg/m³. Der Mittelwert der Partikelkonzentration für Weizenstroh und Holzspäne lag bei 227.5 ± 280.8 µg/m³ bzw. 140.9 ± 141.9 µg/m³.

In Abbildung 7 sind die mittleren Partikelkonzentrationen PM 10 der drei untersuchten Einstreumaterialien im Verlauf eines Versuchstages dargestellt. Deutliche Anstiege wurden vormittags ab 11 Uhr (Zeitpunkt der Boxenreinigung; Einstreuen; Fegen

der Stallgasse) und abends ab 18 Uhr (Fütterung; Fegen der Stallgasse) bei allen Materialien, jedoch besonders bei Weizenstroh mit einem Maximalwert von 720.9 µg/m³, ermittelt. In der Zeit zwischen 13 und 18 Uhr, in der die Pferde sich nicht im Stall befinden, sowie nachts (23 bis 5 Uhr), liegen die Werte auf einem niedrigen Niveau.

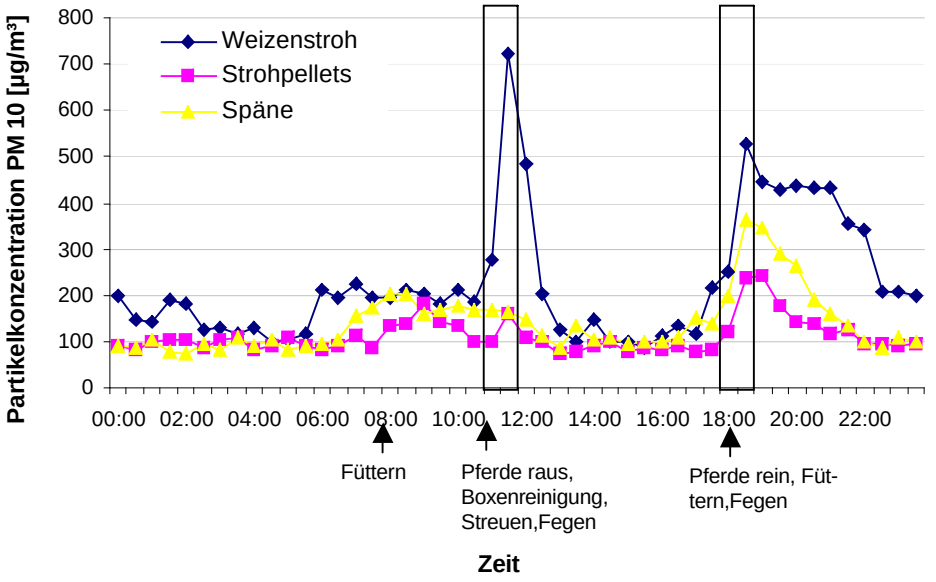


Abbildung 7: Mittlere Partikelkonzentrationen (PM 10) von Weizenstroh, Holzspänen und Strohpellets im Verlauf eines Tages, n = 42 Messwerte/Material

Innerhalb eines Versuchsdurchganges von 14 Tagen schwanken die mittleren Partikelkonzentrationen bei allen drei Einstreumaterialien, es ist kein Trend zu beobachten. Die Ersteinstreu mit Weizenstroh verursachte eine höhere Partikelentwicklung im Vergleich zu Holzspänen und Strohpellets.

Die mittlere Konzentration von Weizenstroh unterscheidet sich am ersten Versuchstag mit 557.8 ± 31.7 µg/m³ signifikant von der mittleren Konzentration von Holzspänen (218.6 ± 31.5 µg/m³) und Strohpellets (185.9 ± 38.5 µg/m³) (Abb. 8a).
Die Variation der Partikelkonzentrationen ist bei Weizenstroh und Holzspänen innerhalb eines Versuchstages deutlich höher als zwischen den einzelnen Versuchstagen. Bei Strohpellets verhält es sich umgekehrt, denn die Variation zwischen den Tagen ist hier höher als innerhalb eines Tages. Die Variationskoeffizienten sind der Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Variationskoeffizient der mittleren PM 10-Partikelkonzentrationen von Weizenstroh, Strohpellets und Holzspänen innerhalb eines Versuchstages und zwischen den 14 Versuchstagen

Einstreumaterial	**n**	**Variationskoeffinzient [%]**	
		innerhalb eines Tages	zwischen den Tagen
Weizenstroh	1991	60.3	50.9
Strohpellets	1960	33.2	63.5
Holzspänen	1993	40.9	11.4

Anhand der Abbildung 8b ist zu erkennen, dass sich die mittleren PM 10-Partikelkonzentrationen im Stall bei der Einstreu mit Weizenstroh und Strohpellets in der zweiten Versuchswoche verringern. Bei Holzspänen wird dieser Effekt nicht beobachtet. In der zweiten Woche bleiben die mittleren Konzentrationen auf dem gleichen Niveau, sie nehmen sogar leicht zu.

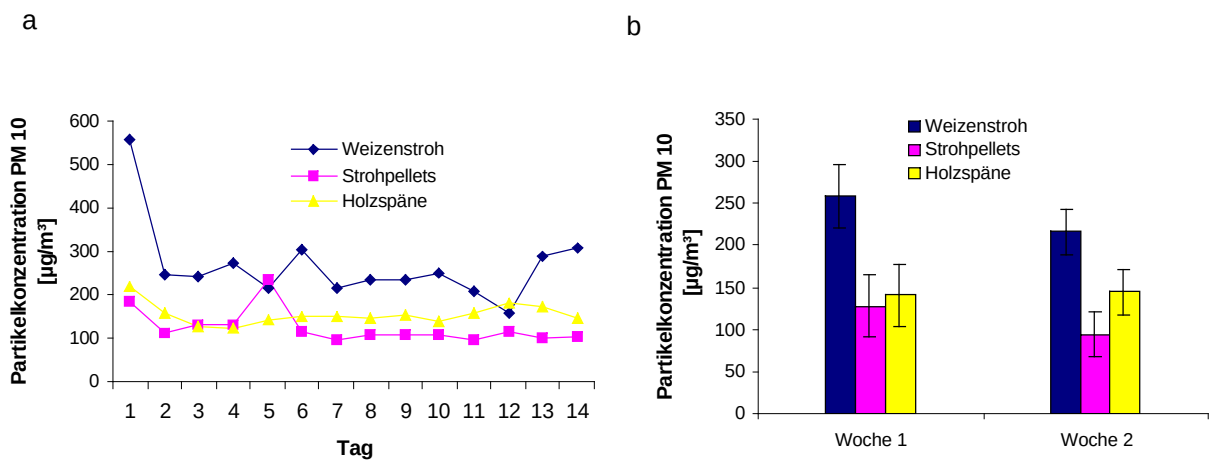


Abbildung 8: PM 10-Partikelkonzentrationen (LSM) von Weizenstroh, Strohpellets und Holzspänen in Abhängigkeit vom a) Versuchstag und b) von der Versuchswoche; n = 9

Gase

Die mittleren Ammoniakkonzentrationen im Stall bei der Einstreu mit Weizenstroh lagen über den gesamten Versuchszeitraum bei 2,89 ± 0,14 mg/m³. Bei Strohpellets betrug der Mittelwert 5,14 ± 0,14 mg/m³, und bei Holzspänen lag dieser bei 4,14 ± 0,10 mg/m³. Die Mittelwerte unterschieden sich signifikant voneinander. Die Werte der restlichen Gase sind der Tabelle 15 zu entnehmen.

Tabelle 15: Mittlere Konzentrationen (LSM ± SE) von Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Lachgas, Methan und Wasserdampf im Stall über 14 Tage in Abhängigkeit der verschiedenen Einstreumaterialien. a,b,c = LSMs innerhalb einer Spalte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (P < 0.05), n = 168 Tagesmittelwerte/Material.

	Mittlere Gaskonzentration [mg/m³]				
Material	**NH_3**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**H_2O**
Weizenstroh	2,89 ± 0,14[a]	1519,9 ± 15,1[ab]	0,68 ± 0,003[a]	5,25 ± 0,1[a]	7795,8 ± 134,4[a]
Strohpellets	5,14 ± 0,14[b]	1545,9 ± 15,2[a]	0,66 ± 0,003[b]	4,69 ± 0,1[b]	8108,8 ± 34,7[b]
Holzspäne	4,14 ± 0,10[c]	1492,4 ± 11,1[b]	0,65 ± 0,002[c]	4,68 ± 0,1[b]	8026,1 ± 25,3[b]

Der Versuchstag hatte einen hoch signifikanten Einfluß auf die Ammoniakkonzentrationen im Stall. Der Konzentrationsverlauf über 14 Tage ist in folgender Abbildung 9 dargestellt.

Die Ammoniakkonzentrationen stiegen bei allen drei Materialien in den ersten Tagen deutlich an. Nach dem vierten Tag blieben die Werte relativ konstant. Die mittleren Ammoniakkonzentrationen bei Strohpellets und Holzspänen lagen in den ersten Tagen auf einem niedrigeren Niveau als die von Weizenstroh, stiegen jedoch bis zum Tag 6 stetig an. Nach dem sechsten Tag sanken sie etwas und variierten bis zum Tag 14 zwischen 4 und7 mg/m³. Die mittleren Konzentrationen von Strohpellets und Holzspänen waren nach Tag 4 signifikant höher als die Konzentrationen von Weizenstroh.

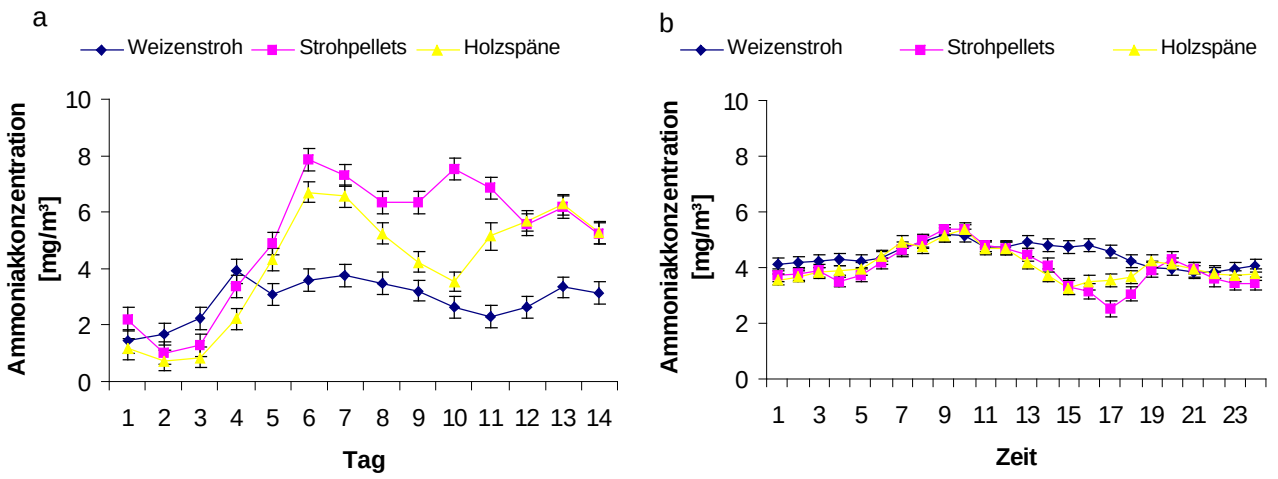


Abbildung 9: Mittlere Ammoniakkonzentrationen (LSM ± SE) a) im Verlauf von 14 Tagen (n = 168 Tagesmittelwerte/Material) und b) im Verlauf eines Tages (n = 288 Stundenmittelwerte/Material) in Abhängigkeit vom Einstreumaterial.

Der Verlauf der mittleren Kohlenstoffdioxid-, Lachgas-, Methan- und Wasserdampfkonzentrationen in 14 Tagen war sehr konstant. Die Lachgaswerte variierten beispielsweise zwischen 0,6 und 0,7 mg/m³, die Kohlenstoffdioxidwerte zwischen 1300 und 1600 mg/m³. Darüber hinaus wurden zwischen den drei Einstreumaterialien keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Hinsichtlich der Ammoniakkonzentrationen konnten innerhalb einer Stallaktivität keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einstreumaterialien festgestellt werden.

Einen Einfluß der Stallaktivität konnte bei den mittleren Kohlenstoffdioxidkonzentrationen beobachtet werden (Abbildung 10). Die LSMs in den Aktivitätsblöcken 3 und 4, in denen sich keine Pferde im Stall befanden, waren signifikant geringer als die der restlichen Aktivitätsblöcke. Dies wurde bei allen Einstreumaterialien festgestellt. Innerhalb einer Stallaktivität wurden signifikante Unterschiede zwischen Weizenstroh und Strohpellets und Weizenstroh und Holzspänen in Stallaktivität 4 errechnet. Weiterhin wurden zwischen den Materialien keine signifikanten Unterschiede gemessen.

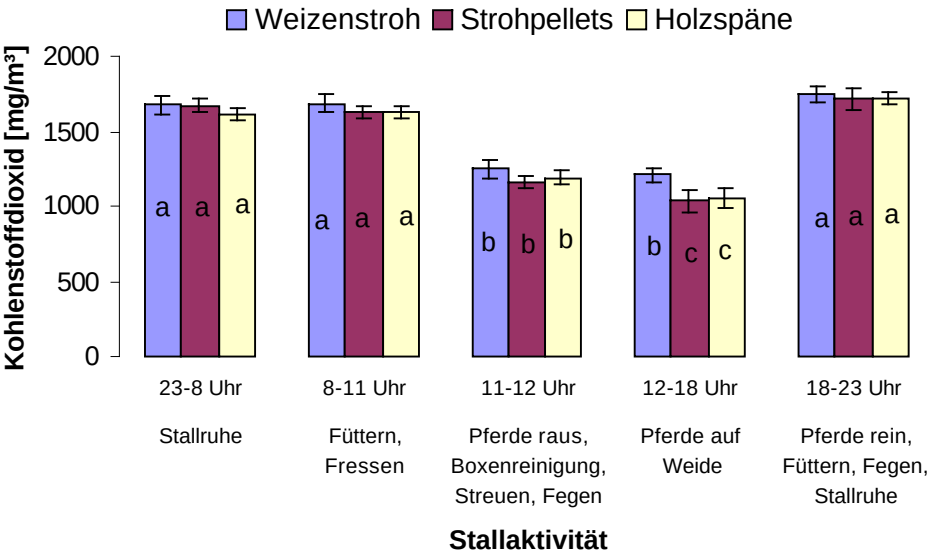


Abbildung 10: Mittlere Kohlenstoffdioxidkonzentrationen (LSM ± SE) von Weizenstroh, Strohpellets und Holzspänen in Abhängigkeit von der Stallaktivität, n = 60 Mittelwerte/Material; a,b,c = LSMs innerhalb eines Materials mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant mit $P < 0,05$

Mikrobiologisches Monitoring

Der Tabelle 16 sind die Gesamtkeimzahlgehalte sowie Enterobacteriaceae- und Schimmelpilzgehalte in unterschiedlichen Einstreumaterialien vor Beginn der Untersuchungen zu entnehmen. Diese Gehalte sind zusätzlich im Durchschnitt nach einem Versuchsdurchgang von 14 Tagen dargestellt. Hinsichtlich der Schimmelpilzgehalte fällt auf, dass vor Beginn der Untersuchungen nur im Weizenstroh ein Befund nachgewiesen werden konnte. Die restlichen Materialien sind nicht befallen.

Die Gesamtkeimzahl war bei Weizenstroh sowohl vor Beginn als auch nach 14 Tagen in der Pferdebox am höchsten mit 8,96 x 10^9 KbE/g. Enterobakterien wurden nach 14 Tagen in der Pferdebox bei allen untersuchten Materialien festgestellt. Dies galt auch für Schimmelpilze, hier wurde der höchste Gehalt bei Strohpellets mit 7,35 x10^6 KbE/g festgestellt.

Tabelle 16: Gesamtkeimzahl sowie Enterobacteriaceae- und Schimmelpilzgehalte in den unterschiedlichen Einstreumaterialien vor Beginn der Untersuchungen sowie jeweils am Ende eines Versuchsdurchganges von 14 Tagen

Einstreu-material	**Gesamtkeimzahl** [KbE/g]		**Enterobacteriaceae** [KbE/g]		**Schimmelpilze*** [KbE/g]	
	Material n = 3	Material/Mist n = 8	Material n = 3	Material/Mist n = 8	Material n = 3	Material/Mist n = 8
Weizenstroh	$7{,}50 \cdot 10^7$	$8{,}96 \cdot 10^9$	$2{,}24 \cdot 10^5$	$1{,}24 \cdot 10^7$	$2{,}60 \cdot 10^4$	$8{,}30 \cdot 10^5$
Strohpellets	$2{,}40 \cdot 10^4$	$2{,}81 \cdot 10^9$	0	$8{,}75 \cdot 10^7$	0	$7{,}35 \cdot 10^6$
Holzspäne	$3{,}00 \cdot 10^5$	$3{,}39 \cdot 10^9$	0	$8{,}71 \cdot 10^6$	0	$8{,}75 \cdot 10^3$

*differenziert als Scopulariopsis koningii

3.1.1.2 Versuchsteil 2

Partikel

Zunächst werden die Ergebnisse des Vergleichs der Entmistungsvarianten über 14 Tage dargestellt. Tabelle 17 enthält die mittleren Partikelkonzentrationen PM 10 in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante. Die LSMs von Variante 2 und 3 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander mit 248,86 ± 10,69 µg/m³ bzw. 281,68 ± 16,52 µg/m³. Bei Variante 1 sind die mittleren Konzentrationen mit einem LSM von 124,36 ± 13,37 µg/m³ jedoch signifikant geringer im Vergleich zu 1 und 2.

Tabelle 17: Mittlere PM 10-Partikelkonzentrationen (LSM ± SE) in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante.
a,b = LSMs mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant mit P< 0,05
n = 336 Werte/Entmistungsvariante

Entmistungsvariante	Mittlere Partikelkonzentration [µg/m³] PM 10
1 Mistmatratze (kein Ausmisten)	124,36 ± 13,37[a]
2 Tägliches Ausmisten komplett	248,86 ± 10,69[b]
3 Tägliche Kotentfernung	281,68 ± 16,52[b]

In Abbildung 11 wird deutlich, dass die Partikelkonzentrationsverläufe im Vergleich der drei Varianten sehr ähnlich ausfallen. Am Tag 1, Tag der Ersteinstreu, sind jeweils die höchsten Konzentrationen bei allen drei Varianten gemessen worden. Die Tagesmittelwerte bleiben im Verlauf von 14 Tagen bei allen Varianten weitestgehend auf einem ähnlichen Niveau.

Es ist jedoch zu beobachten, dass in Variante 1 (Mistmatratze) und 3 (tägliche Kotentfernung) die mittleren Werte zum Ende der 14 Tage leicht absinken, dies ist beim täglichen kompletten Ausmisten nicht zu erkennen. Generell liegen die Partikelkonzentrationen allerdings in einem deutlich niedrigeren Bereich, wenn nicht ausgemistet wurde (Variante 1).

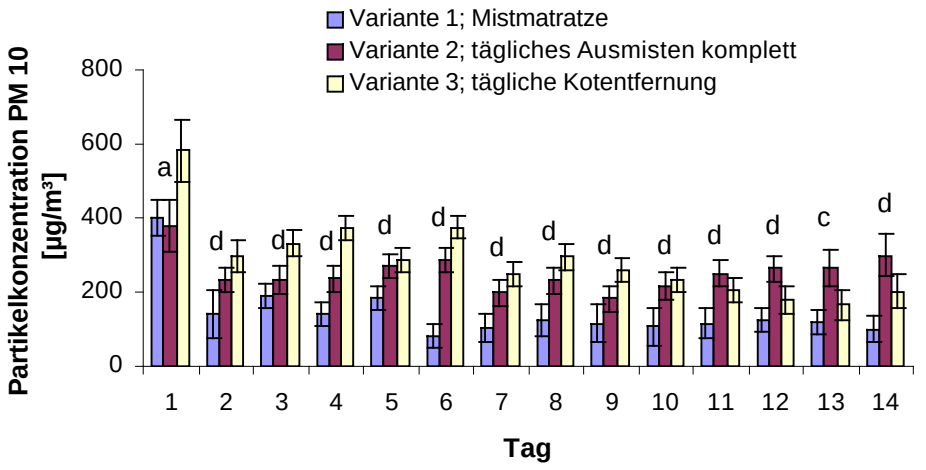


Abbildung 11: Mittlere Partikelkonzentrationen PM 10 (LSM ± SE) im Verlauf von 14 Tagen in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante, n = 336 Werte/Entmistungsvariante; a = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1 und 2, b = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1, 2 und 3, c = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1 und 3, d = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 2 und 3, P < 0,05.

Im Folgenden werden nun die sechs Wochen Mistmatratze separat betrachtet. In Abbildung 12 werden die mittleren Partikelkonzentrationen PM 10 in Abhängigkeit von der Woche dargestellt.

Die Wochenmittelwerte der Partikelkonzentrationen schwanken zwischen ca. 90 und 140 µg/m³. Generell ist jedoch im Verlauf von Woche 1 zu Woche 6 eine leicht sinkende Tendenz zu erkennen.

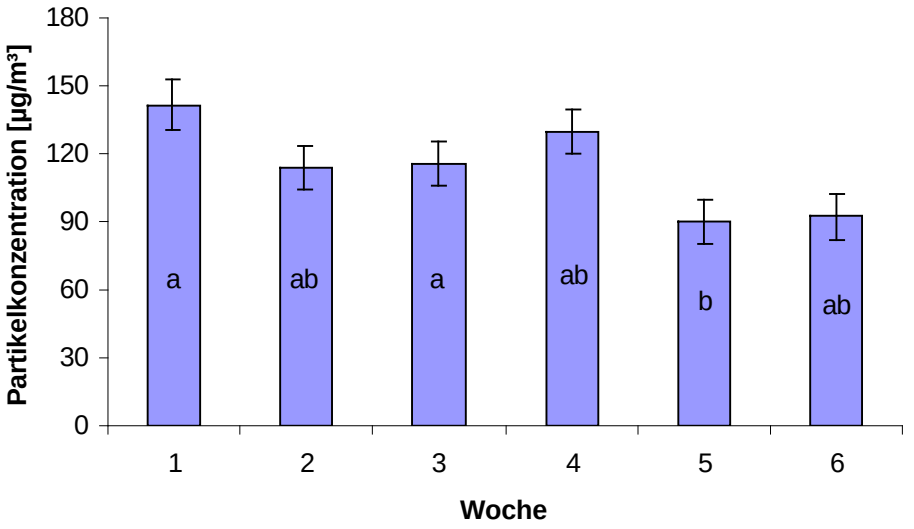


Abbildung 12: Mittlere Partikelkonzentrationen PM 10 (LSM ± SE) in Abhängigkeit von der Versuchswoche, n = 7 Tagesmittewerte/Woche. a,b = LSMs mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (P <.05).

Gase

Zunächst werden die Ergebnisse des Vergleichs der Entmistungsvarianten über 14 Tage dargestellt. Tabelle 18 zeigt die mittleren Ammoniak-, Lachgas- und Methankonzentrationen in Abhängigkeit von der Einstreuvariante.

Die mittleren Ammoniakkonzentrationen im Stall unterschieden sich signifikant in allen drei Varianten. Die höchsten Werte wurden bei Variante 2 gemessen, bei dem alle Boxen täglich komplett ausgemistet wurden. Der LSM lag hier bei 2,17 ± 0,02 mg/m³. Bei der täglichen Kotentfernung (Variante 3) wurden mittlere Konzentrationen von 1,62 ± 0,04 mg/m³ gemessen. Bei Variante 1 (Mistmatratze) wurden mittlere Konzentrationen von 1,93 ± 0,03 mg/m³ ermittelt. Die mittleren Lachgaskonzentrationen lagen auf einem ähnlichen Niveau in allen drei Entmistungsvariante. Die Werte der mittleren Lachgas- und Methankonzentrationen sind der Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 18: Mittlere Ammoniak-, Kohlenstoffdioxid-, Lachgas- und Methankonzentrationen (LSM ± SE) in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante. a,b,c = LSMs mit verschiedenen Buchstaben innerhalb einer Spalte unterscheiden sich signifikant mit P< 0,05, n = 1344 Werte/Entmistungsvariante.

		Mittlere Gaskonzentration [mg/m³]			
Entmistungsvariante		**NH_3**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**
1	Mistmatratze (kein Ausmisten)	1,93 ± 0,03[a]	1217,9 ± 21,2[a]	0,63 ± 0,002[a]	3,30 ± 0,11[a]
2	Tägliches Ausmisten komplett	2,17 ± 0,02[b]	1250,9 ± 13,9[b]	0,68 ± 0,002[b]	4,28 ± 0,07[b]
3	Tägliche Kotentfernung	1,62 ± 0,04[c]	1518,0 ± 25,5[c]	0,68 ± 0,002[b]	5,51 ± 0,13[c]

In Abbildung 13 werden die mittleren Ammoniakkonzentrationen über 14 Tage in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante veranschaulicht.

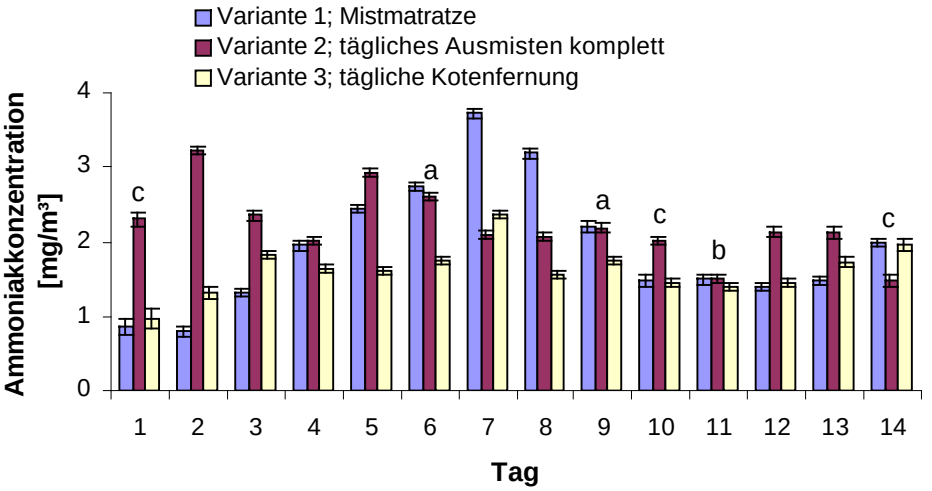


Abbildung 13: Mittlere Ammoniakkonzentrationen (LSM ± SE) im Verlauf von 14 Tagen in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante, n = 1344 Werte/Entmistungsvariante; a = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1 und 2, b = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1, 2 und 3, c = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1 und 3.
Nicht gekennzeichnete LSMs innerhalb eines Tages unterscheiden sich signifikant mit P < 0,05.

Betrachtet man die einzelnen Verläufe, so können deutliche Unterschiede zwischen den Entmistungsvarianten beobachtet werden. Bei Variante 1 (Mistmatratze) werden bis zum siebten Tag einschliesslich deutlich ansteigende Ammoniakkonzentrationen, im Mittel bis zu 3,7 mg/m³, gemessen. Diese sinken jedoch danach kontinuierlich wieder ab und bleiben ab dem zehnten Tag auf einem konstanten Niveau um 1,5 mg/m³. In Variante 2 wurde täglich komplett ausgemistet, und es ist ein deutli-

ches und wiederholendes Ansteigen und Absinken der Tagesmittelwerte zu erkennen. Über den gesamten 14-Tagesverlauf sinkt das Konzentrationsniveau jedoch leicht. Das gesamte Konzentrationsniveau ist bei Variante 3 im Vergleich zu Variante 1 und 2 am niedrigsten, die Tagesmittelwerte schwanken jedoch auch leicht im Verlauf von 14 Tagen. Bis zum siebten Tag steigen die Tagesmittelwerte an, sinken dann wieder leicht ab und bleiben auf einem mittleren Niveau um 1,5 mg/m³.

Im Folgenden werden nun die sechs Wochen Mistmatratze separat betrachtet. In Abbildung 14 werden die mittleren Ammoniak-, Lachgas- und Kohlenstoffdioxidkonzentrationen in Abhängigkeit von der Versuchswoche dargestellt.

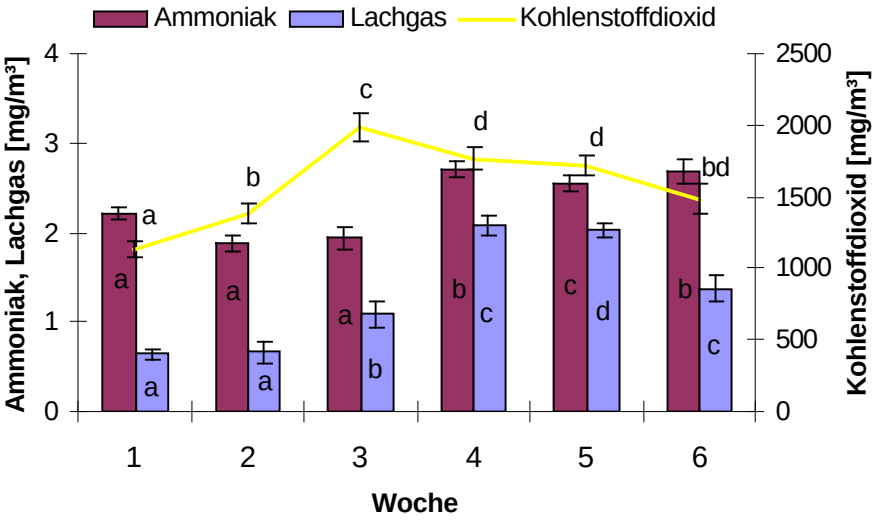


Abbildung 14: Mittlere Ammoniak-, Lachgas- und Kohlenstoffdioxidkonzentrationen (LSM ± SE) in Abhängigkeit der Versuchswoche, n = 28 Tagesmittelwerte/Woche, a,b,c,d = LSMs innerhalb eines Gases mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (P < 0,05).

Bei einer Mistmatratze über sechs Wochen wurden mittlere Ammoniakkonzentrationen von 2,33 ± 0,33 mg/m³ festgestellt. Die Wochenmittelwerte von Ammoniak unterscheiden sich in den ersten drei Wochen nicht signifikant voneinander. Ab der vierten Woche steigen sie leicht an, dann bleiben die Werte bis zur sechsten Woche auf einem konstanten Niveau. Bei den mittleren Lachgaswerten wurde ein Rückgang der Konzentrationen nach der fünften Woche beobachtet, bei den Kohlenstoffdioxidwerten wurden im Mittel nach der dritten Woche sinkende Konzentrationen gemessen.

3.1.1.3 Versuchsteil 3

Zwischen den einzelnen Stroharten ließen sich hinsichtlich der Ammoniak-, Methan-, Kohlenstoffdioxid- und Wasserdampfkonzentrationen keine signifikanten Unterschiede feststellen. Jedoch ist die mittlere Lachgaskonzentration von Roggen mit 17,35 mg/m³ signifikant verschieden zu der Lachgaskonzentration von Weizen mit 15,78 mg/m³ und von Gerste mit 15,51 mg/m³. Alle Mittelwerte sind der Tabelle 19 zu entnehmen.

Tabelle 19: Mittlere Ammoniak-, Lachgas-, Methan-, Kohlenstoffdioxid-, Wasserdampfkonzentration (LSM ± SE) von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh über den gesamten Versuch; a,b = Least Square Means innerhalb einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander mit P = 0,05, n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

Strohart	**Mittlere Gaskonzentration [mg/m³]**				
	NH_3	**N_2O**	**CH_4**	**CO_2**	**H_2O**
Weizen	3,33 ± 0,1[a]	15,78 ± 0,4[a]	237,6 ± 35,9[a]	153638,3 ± 1500,8[a]	13303,8 ± 72,4[a]
Gerste	3,52 ± 0,1[a]	15,51 ± 0,4[a]	259,0 ± 35,4[a]	156907,2 ± 1480,9[a]	13473,9 ± 71,4[a]
Roggen	3,24 ± 0,1[a]	17,35 ± 0,4[b]	327,6 ± 34,9[a]	152634,9 ± 1461,5[a]	13239,5 ± 70,5[a]

Abbildung 15 zeigt die mittlere Ammoniakkonzentration von Weizen-, Gersten-, Roggenstroh in Abhängigkeit des Versuchstages.

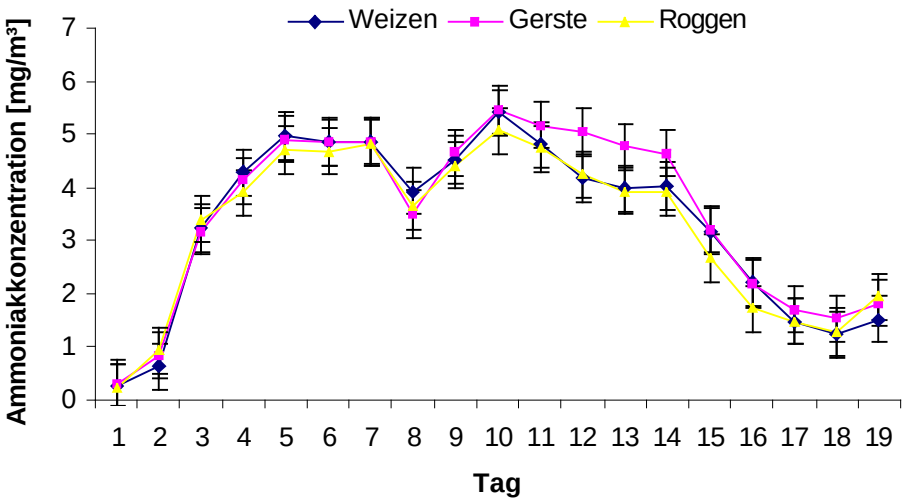


Abbildung 15: Mittlere Ammoniakkonzentrationen von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh (LSM±SE) in Abhängigkeit vom Versuchstag. LSMs innerhalb eines Versuchstages unterscheiden sich nicht signifikant voneinander mit P = 0,05. n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

Zu erkennen ist der deutliche Abfall der Ammoniakkonzentration an Tag 8 sowie an Tag 15 und den darauf folgenden, was auf den Lüftungsvorgang (Probeentnahme) zurückzuführen ist. So fällt der Ammoniakwert bei Weizen an Tag 8 von 4,86 mg/m³ auf 3,93 mg/m³, bei Gerste von 4,85 mg/m³ auf 3,48 mg/m³ und bei Roggen von 4,83 mg/m³ auf 3,64 mg/m³. Nach dem Lüften steigt die Gaskonzentration bei allen drei Stroharten wieder rasch an, bis sie am 10. Tag überall ihren maximalen Wert erreicht hat. Nach dem täglichen Lüften ab Tag 15 fallen die Werte weiter bis zum 18. Tag ab, bevor sie am 19. Tag wieder leicht um ca. 0,30 mg/m³ ansteigen.

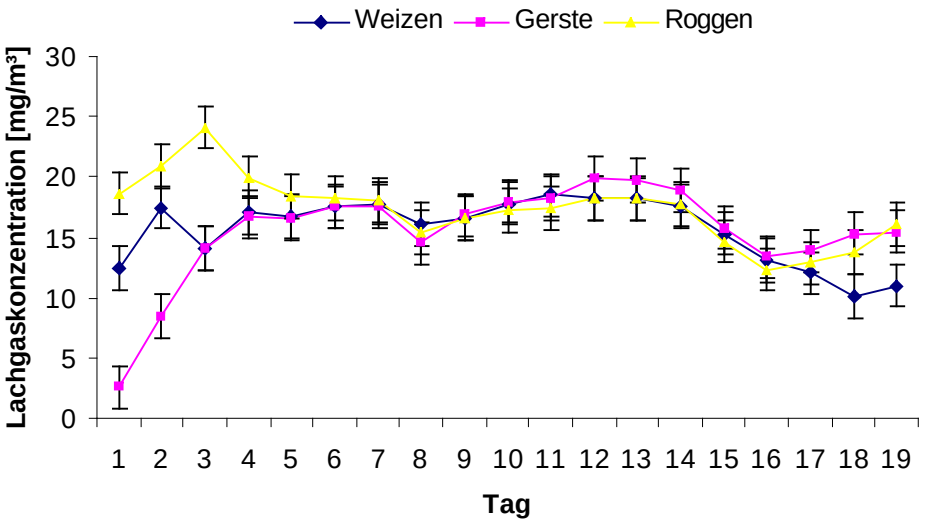


Abbildung 16: Mittlere Lachgaskonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh (LSM±SE) in Abhängigkeit vom Versuchstag. Tag 1-3: a, b, c = LSMs innerhalb eines Versuchstages mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander mit P = 0,05. Tag 4-19: LSMs innerhalb eines Versuchstages unterscheiden sich nicht signifikant voneinander mit P = 0,05, n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

In Abbildung 16 wird die mittlere Lachgaskonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh im Verlauf der 19 Versuchstage veranschaulicht. Die Lachgasgehalte bei Weizenstroh variieren in den ersten drei Tagen stark, steigen jedoch bis zu Tag 8 an. Bei den mit Gerstenstroh befüllten Containern steigt die Lachgaskonzentration bis auf einen kleinen Einbruch an Tag 5 stetig bis zu Tag 8 an. Das Konzentrationsniveau liegt bei Roggenstroh in den ersten drei Tagen am höchsten, sinkt nach Tag 3 jedoch kontinuierlich ab. Am Tag 8 ist bei allen verwendeten Materialarten der Einbruch in der Gaskonzentration zu verzeichnen, der durch die einmalige Belüftung (Probeentnahme) hervorgerufen wird. Nach dem Belüften ist bei allen Stroharten eine leichter Anstieg der Konzentrationen zu erkennen. Nach dem 15. Tag werden die

Container täglich belüftet, woraufhin die Gaskonzentrationen fallen. Bei Gerste und Roggen ist jedoch wieder ein Aufwärtstrend ab Tag 17, bei Weizen ab Tag 19 zu erkennen.

Die mittlere Methankonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh wird in Abbildung 17 veranschaulicht. In den ersten Versuchstagen wird ein kontinuierlicher Anstieg der Methankonzentrationen bei allen drei Stroharten gemessen. Nach der Belüftung an Tag 8 (Probeentnahme) ist ein stärkerer Anstieg der Gaskonzentration zu verzeichnen. Nach der täglichen Belüftung ab Tag 15 sinken die Werte. Bei Gerste und Roggen ist ein Anstieg der Konzentrationen am letzten Tag zu verzeichnen.

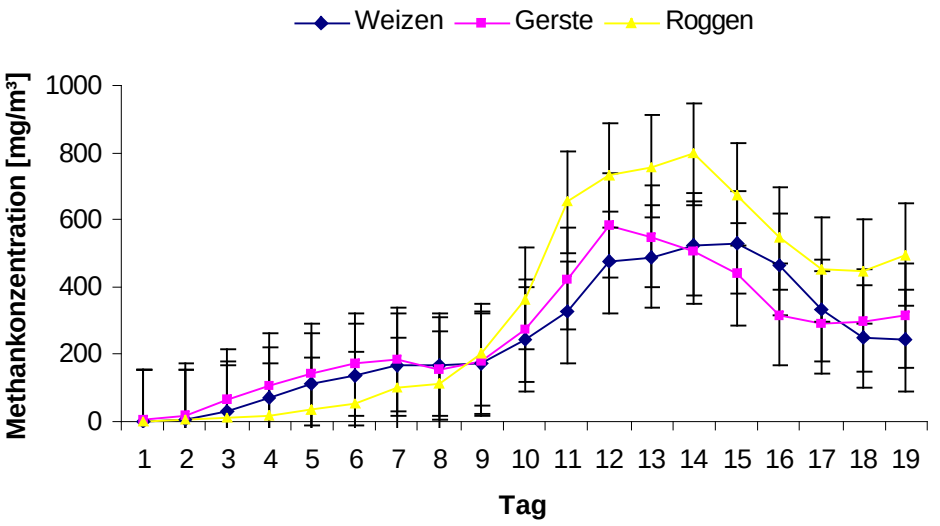


Abbildung 17: Mittlere Methankonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh (LSM±SE) in Abhängigkeit vom Versuchstag. LSMs innerhalb eines Versuchstages unterscheiden sich nicht signifikant voneinander mit P = 0,05., n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

In Abbildung 18 wird die mittlere Kohlenstoffdioxidkonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh dargestellt.

Die Konzentrationsverläufe über 19 Tage sind bei allen drei Stroharten sehr ähnlich. An Tag 8 ist durch das Belüften (Probeentnahme) ein Absinken der Konzentrationen zuerkennen. Das Absinken der Konzentrationen wird ab dem 15. Tag durch das tägliche Belüften der Container noch stärker beobachtet. Bei Roggen und Gerste ist ein leichter Anstieg nach Tag 17 und bei Weizen am letzten Tag des Versuches zu verzeichnen.

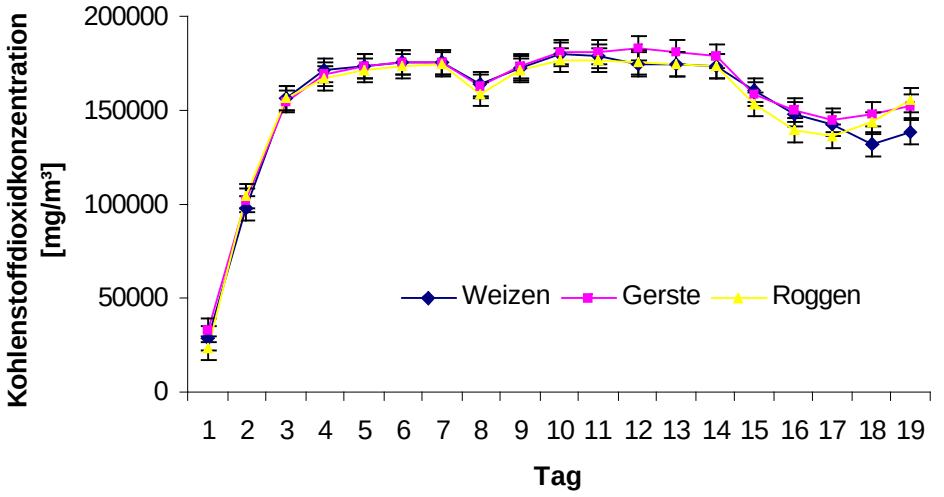


Abbildung 18: Mittlere Kohlenstoffdioxidkonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh (LSM±SE) in Abhängigkeit vom Versuchstag. LSMs innerhalb eines Versuchstages unterscheiden sich nicht signifikant voneinander mit P = 0,05, n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

Ähnlich wie der Verlauf der Kohlenstoffdioxidwerte, zeigt sich die Wasserdampfkonzentration bei den verschiedenen Substraten ohne große Abweichungen. In Abbildung 19 wird die mittlere Wasserdampfkonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh in Abhängigkeit vom Versuchstag dargestellt. Insgesamt ist von Tag 1 zu Tag 19 eine leicht sinkende Tendenz zu beobachten.

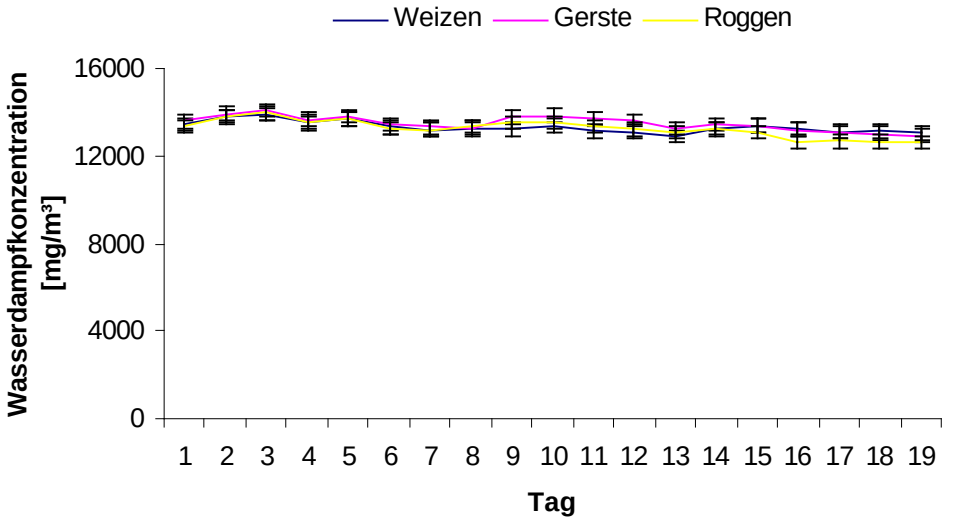


Abbildung 19: Mittlere Wasserdampfkonzentration von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh (LSM±SE) in Abhängigkeit vom Versuchstag. LSMs innerhalb eines Versuchstages unterscheiden sich nicht signifikant voneinander mit P = 0,05, n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

In Abbildung 20 ist der Verlauf der mittleren Sauerstoffkonzentrationen zu sehen. In den ersten drei Tagen ist ein schneller kontinuierlicher Abfall der Sauerstoffkonzentration in allen drei Containern zu verzeichnen. So sind an Tag 7 zwischen 0,30 % und 0,6 % in den Containern zu messen.

Durch das Lüften an Tag 8 steigen die Werte für diesen Tag bei Weizen auf 2,3 % bei Gerste und Roggen auf 2,6 % wieder an. Ab Tag 9 bis Tag 14 fallen die Werte bei Gerste und Roggen auf 0,5 % bzw. auf 0,2 % ab.
Bei Weizen ist bis Tag 10 ein Schwinden des Sauerstoffes festzustellen, danach wiederum ein leichtes Ansteigen der Werte bis Tag 14 auf 1,12 % zu verzeichnen. Ab Tag 15 und somit dem täglichen Belüften bis zum Ende der einzelnen Versuchsreihen, ist bei allen Stroharten ein Anstieg der Werte erkennbar.
Auffällig ist allerdings bei Weizen ein Einbruch an Tag 18 von 5,8 % auf 5,2 % sowie bei Roggen das Abrutschen des Sauerstoffgehaltes am 19. Tag von 5 % auf 3,6 %.

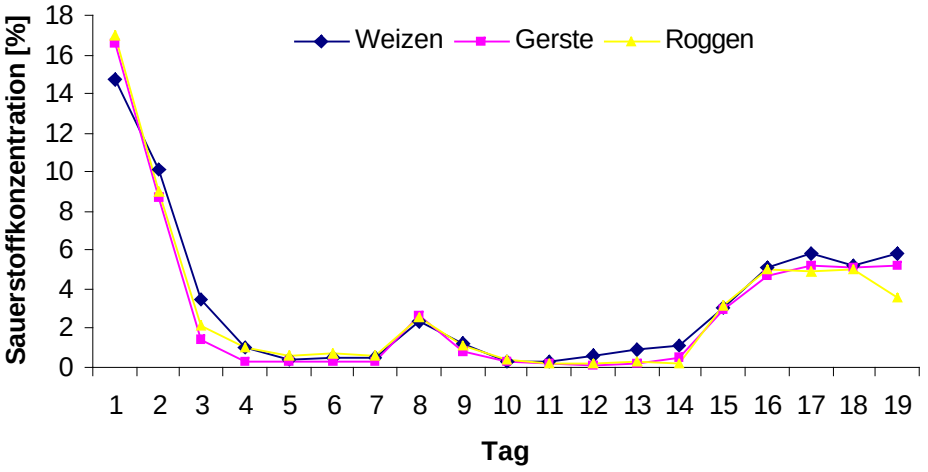


Abbildung 20: Tagesmittelwerte der Sauerstoffkonzentrationen von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh über den gesamten Versuchsverlauf, n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

Zwischen den Temperaturen der beiden Meßhöhen im Substrat (30 und 5 cm) wurden bei allen drei Stroharten keine Unterschiede festgestellt. In Abbildung 21 wird am Beispiel der Meßhöhe 30 cm der Verlauf der mittleren Temperaturen innerhalb eines Versuchsdurchganges dargestellt.

In den ersten drei Tagen wird bei allen Stroharten ein kontinuierlicher Anstieg der Temperaturen festgestellt, danach blieben die Werte auf einem konstanten Niveau. Das Lüften (Probeentnahme) an Tag 8 und Tag 15 hatte eine kurzzeitige Erhöhung der Temperaturen zur Folge. Das tägliche Lüften an den Tagen 15-19 hatte keinen temperaturerhöhenden Einfluss, die mittleren Werte blieben konstant.

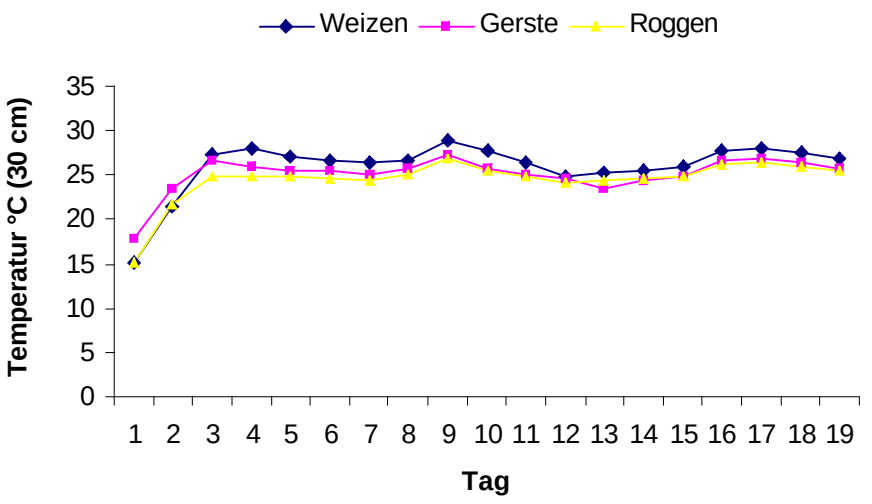


Abbildung 21: Tagesmittelwerte der Temperatur t1 (30 cm Höhe) von Weizen-, Gersten- und Roggenstroh über den gesamten Versuchsverlauf, n = 57 Tagesmittelwerte/Strohart

In Tabelle 20 werden die Ergebnisse der Probenanalyse hinsichtlich der Gehalte an Gesamtkohlenstoff, Gesamtstickstoff, Trockenmasse, pH-Werten und den Stickstoffraktionen Ammonium, Nitrit und Nitrat aufgeführt.

Tabelle 20: Mittlere Gehalte an Gesamtkohlenstoff, Gesamtstickstoff und den Stickstofffraktionen Ammonium, Nitrit und Nitrat sowie Trockenmasse und pH-Wert in der Weizen-/Gersten- und Roggenmistprobe an Tag 1, 8, 15, 19

Weizen	**Probe Tag 1 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 8 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 15 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 19 MW ± Stdabw.**
TN [%]	0,45 ± 0,27	0,46 ± 0,10	0,55 ± 0,25	0,33 ± 0,09
TC [%]	13,18 ± 5,33	12,92 ± 3,36	12,16 ± 3,90	9,46 ± 1,26
C/N	29,08/1	28,28/1	22,10/1	28,38/1
TM [%]	36,59 ± 7,10			21,49 ± 2,99
pH-Wert	6,97 ± 0,31	6,93 ± 0,06	6,97 ± 0,15	6,93 ± 0,06
NO^{2-}-N [mg/100g]	0,12 ± 0,08	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,02
NO^{3-}-N [mg/100g]	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NH_{4+}-N [mg/100g]	0,38 ± 0,61			2,01 ± 0,99

Gerste	**Probe Tag 1 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 8 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 15 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 19 MW ± Stdabw.**
TN [%]	0,66 ± 0,21	0,38 ± 0,49	0,31 ± 0,09	0,30 ± 0,10
TC [%]	20,69 ± 4,11	10,54 ± 13,11	11,77 ± 3,00	10,15 ± 2,38
C/N	31,51/1	27,75/1	37,97/1	33,46/1
TM [%]	46,06 ± 4,13			25,83 ± 2,15
pH-Wert	7,00 ± 0,26	7,00 ± 7,20	6,90 ± 0,17	6,93 ± 0,15
NO^{2-}-N [mg/100g]	0,13 ± 0,02	0,09 ± 0,07	0,10 ± 0,07	0,06 ± 0,03
NO^{3-}-N [mg/100g]	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
NH_{4+}-N [mg/100g]	0,01 ± 0,01			0,69 ± 0,36

Roggen	**Probe Tag 1 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 8 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 15 MW ± Stdabw.**	**Probe Tag 19 MW ± Stdabw.**
TN [%]	0,89 ± 0,20	0,51 ± 0,09	0,42 ± 0,25	0,58 ± 0,24
TC [%]	23,22 ± 3,15	14,27 ± 3,06	11,31 ± 3,42	13,59 ± 2,03
C/N	26,18/1	27,80/1	26,71/1	23,57 ± 5,28
TM [%]	51,78 ± 8,10			31,40
pH-Wert	7,10 ± 0,62	7,07 ± 0,29	7,27 ± 0,15	7,17 ± 0,25
NO^{2-}-N [mg/100g]	1,11 ± 1,26	0,16 ± 0,06	0,12 ± 0,09	0,10 ± 0,04
NO^{3-}-N [mg/100g]	4,11 ± 2,80	<0,05	<0,05	<0,05
NH_{4+}-N [mg/100g]	14,95 ± 11,96			13,34 ± 2,75

3.1.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI)

Die durchgeführte Untersuchung in Braunschweig hatte zum Ziel, den Einfluss verschiedener Einstreumaterialien auf die gas- und partikelförmigen Emissionen im Liegebereich einer Gruppen-Auslaufhaltung zu untersuchen. Die Parameter Staub- und Gaskonzentration wurden dazu kontinuierlich während des gesamten Versuchszeitraums erfasst.

3.1.2.1 Hauptversuch

Partikel

Insgesamt betrug der Mittelwert aller ermittelten PM 10-Partikelkonzentrationen 36,2 µg/m³. Die Standardabweichung betrug 47,8 µg/m³ und die Werte schwankten im Versuchszeitraum zwischen 0,1 µg/m³ bis 938,8 µg/m³. Die mittlere Konzentration der PM 10-Staubpartikel war bei der Einstreuvariante „Weizenstroh“ mit 54,9 µg / m³ am höchsten und bei der Variante „Strohpellets“ am geringsten (24,6 µg/m³). Der Mittelwert der Variante „Holzspäne“ lag mit 34,4 µg/m³ zwischen diesen Werten (Abb. 22). Zwischen allen drei Varianten bestehen hochsignifikante Unterschiede (Scheffé-Test: $p < 0{,}001$).

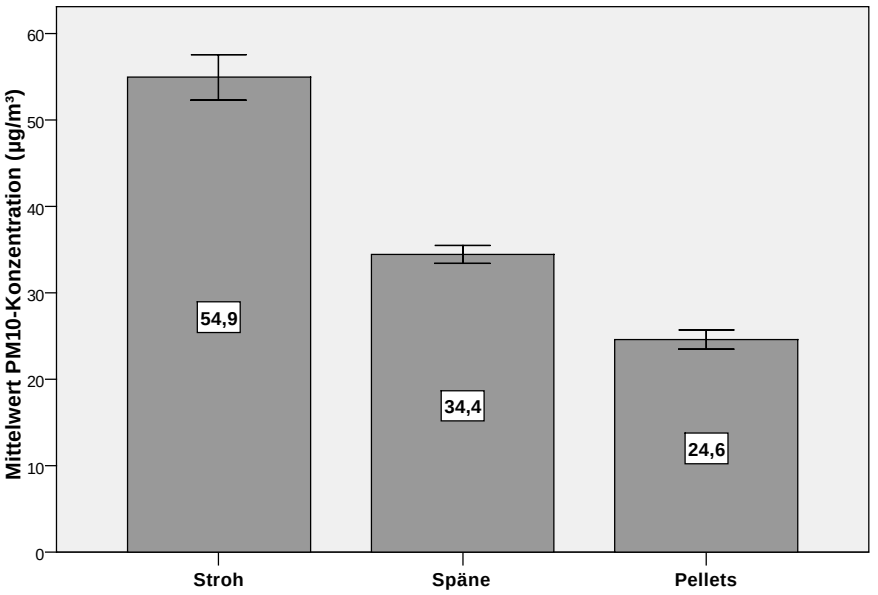


Abbildung 22: Mittelwertvergleich der gesamten PM 10-Partikelkonzentration in der Gruppenhaltung (Fehlerbalken: 95 % Konfidenzintervall)

Außerdem zeigt die PM 10-Partikelkonzentration einen engen Bezug zur Tageszeit und den damit verbundenen Stallaktivitäten. Die Konzentration der PM 10-Partikel war während des zweiten Zeitblocks (6:00 – 10:59 Uhr), in dem die Stallarbeiten stattfanden, stets am höchsten (Mittelwert: 118,9 µg/m³). Zu einer Abnahme der Partikelkonzentration kam es während des Zeitblocks 3 (11:00 – 22:59). Der Mittelwert lag hier bei 100,1 µg/m³. Den niedrigsten Wert erreichte jedoch der Zeitblock 1 (Mittelwert: 57,6 µg/m³), der die Haupt-Ruhezeit der Pferde beinhaltet. Abbildung 23 zeigt die mittlere PM 10-Partikelkonzentration während der drei Zeitblöcke, unterteilt nach Einstreumaterialien. Ein Mittelwertvergleich der drei Zeitblöcke ergab jeweils hochsignifikante Unterschiede zueinander (Scheffé-Test: $p < 0{,}001$).

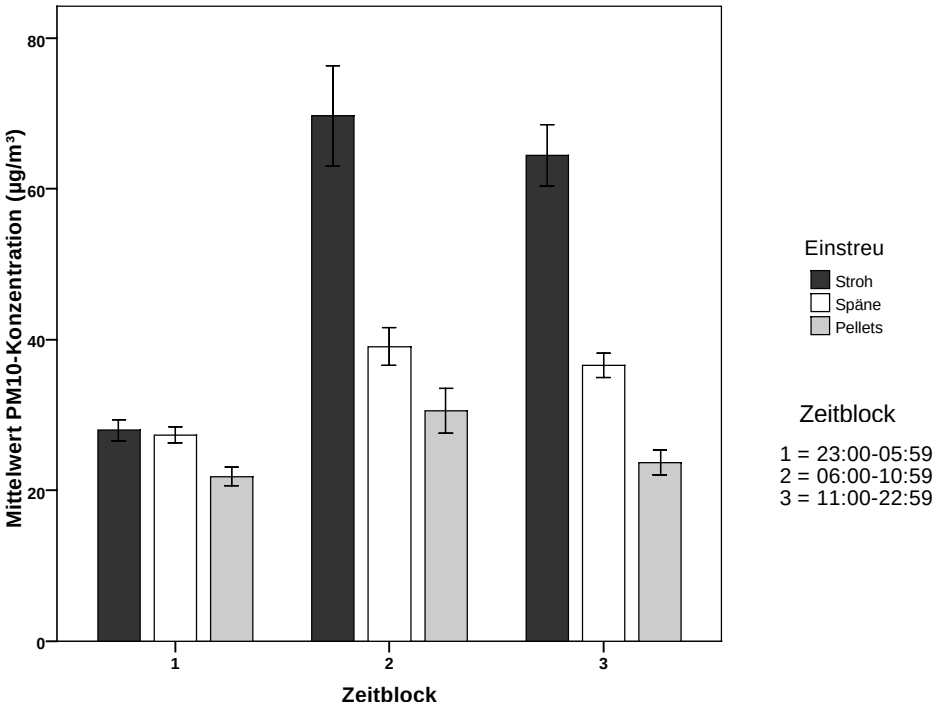


Abbildung 23: Unterschiede der gesamten PM 10-Partikelkonzentration in Abhängigkeit der Zeitblöcke und Einstreumaterialien (Fehlerbalken: 95 % Konfidenzintervall)

Abbildung 24 zeigt die mittleren Partikelkonzentrationen PM 10 der drei Einstreumaterialien am jeweils ersten Versuchstag (Durchgang 2) einer neuen Einstreuvariante. Zuvor wurden dafür Stunden-Mittelwerte der Messwerte gebildet.

Deutliche Anstiege wurden vormittags gegen 10 und 11 Uhr verzeichnet. Zu diesem Zeitpunkt wurde jeweils die neue Einstreu im Liegebereich verteilt. Die Konzentration war bei der Neueinstreu des Weizenstrohs (256,1 µg/m³) am geringsten. Eine höhere

PM 10-Konzentration wurde bei der Einstreu der Strohpellets (330,8 µg/m³) gemessen, jedoch war die Partikelkonzentration bei der Ersteinstreu der Holzspäne mit einem Maximalwert von 781,9 µg/m³ besonders hoch.

Ein vorhergehender Anstieg der gemessenen Konzentration um 6 Uhr (Pellets) bzw. 7 Uhr (Stroh und Späne) ist auf die Entmistung des zuvor genutzten Einstreumaterials zurückzuführen.

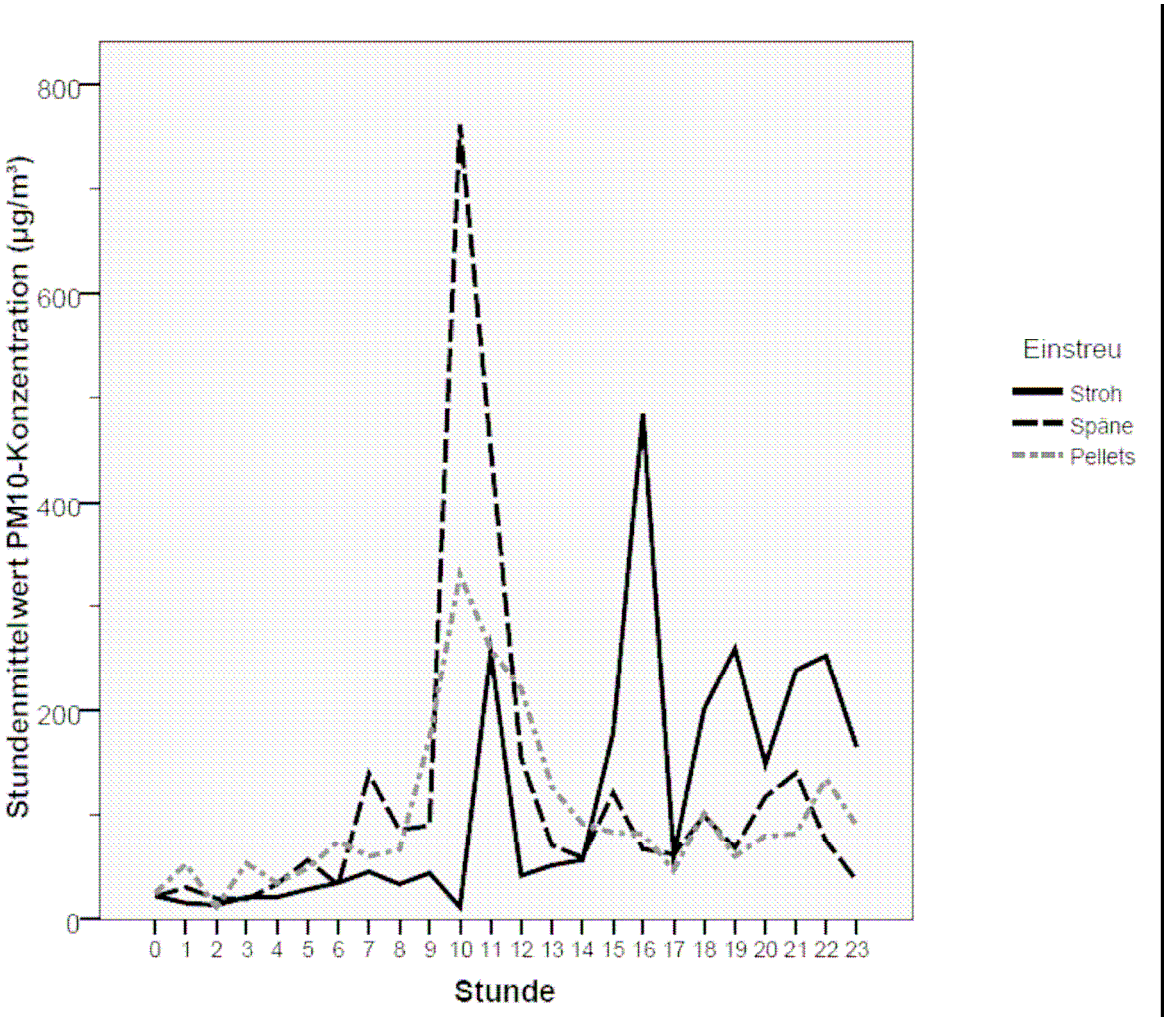


Abbildung 24: PM 10-Partikelkonzentration jeweils am 1. Versuchstag einer neuen Einstreuvariante im Durchgang 2 der Gruppenhaltung (Stunden-Mittelwerte)

Eine Betrachtung der PM 10-Partikelkonzentrationen in den ersten zwei Versuchswochen zeigte, dass sich die mittleren Partikelkonzentrationen im Stall bei allen drei Einstreumaterialien verringert haben (Abb. 25).

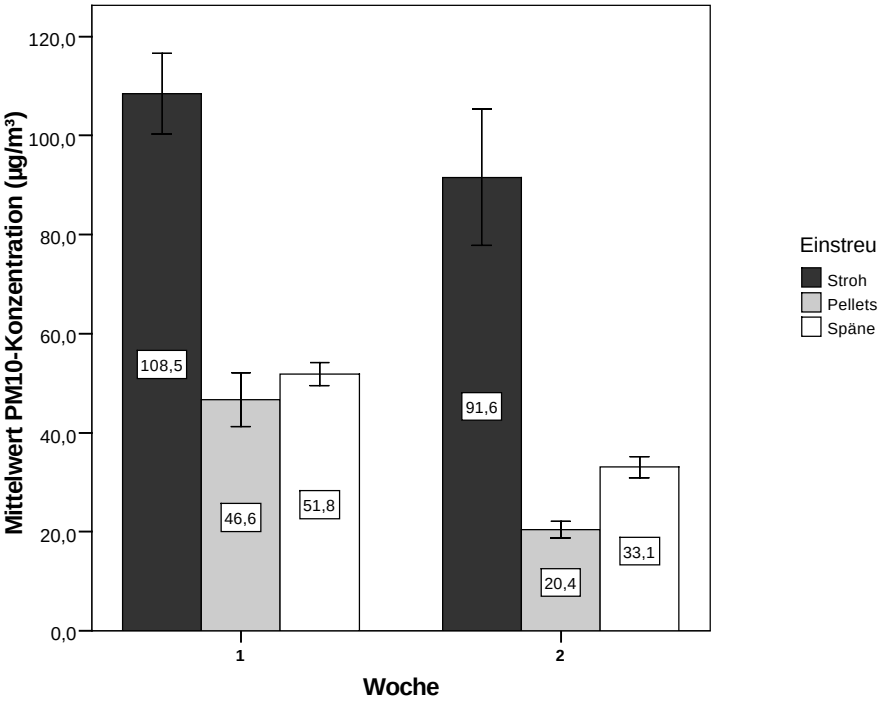


Abbildung 25: PM 10-Partikelkonzentration der drei Einstreumaterialien (Gesamtmittelwert) in Abhängigkeit der Versuchswoche (Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall)

Die relative Luftfeuchte sowie die Lufttemperatur im Stall hatten in dieser Untersuchung keinen signifikanten Einfluss auf die Partikelkonzentration. Auch der Einfluss der Wiederholung war nicht signifikant.

<u>Gase</u>

Die mittleren Ammoniakkonzentrationen (NH_3) lagen im Liegebereich der Gruppenhaltung bei Weizenstroh-Einstreu bei 1,5 ± 1,04 mg/m³ (Messhöhe: 0,50 m) bzw. bei 1,1 ± 0,86 mg/m³ (Messhöhe: 1,30 m). Bei der Verwendung von Strohpellets als Einstreu fand sich die geringste Konzentration an Ammoniak. Sie betrug hier im Mittel 1,2 ± 0,73 mg/m³ in der Messhöhe 0,50 m und 0,9 ± 0,50 mg/m³ in einer Messhöhe von 1,30 m. Die mittlere NH_3-Konzentration war bei der Verwendung von Holzspänen mit 2,2 ± 1,65 mg/m³ (Messhöhe: 0,50 m) bzw. 1,5 ± 0,95 mg/m³ (Messhöhe: 1,30 m) am höchsten. Die gemessenen Konzentrationen der Gase Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) sind ebenso wie der Gehalt an Wasser-

dampf (H_2O) den folgenden Tabellen zu entnehmen. Die Tabelle 21 enthält die Messwerte, die in einer Höhe von 0,50 m gemessen wurden und die Tabelle 22 die Konzentrationen der Messposition 1,30 m.

Tabelle 21: Konzentrationen (Gesamtwerte) von Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Lachgas, Methan und Wasserdampf im Liegebereich der Gruppenhaltung (Messhöhe 0,50 m) in Abhängigkeit der verschiedenen Einstreumaterialien

		Mittlere Gaskonzentration [mg/m³] (gemessener Wert)				
Material		**NH_3**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**H_2O**
Weizenstroh	Mittelwert	1,45	976,83	1,32	4,13	7556,44
	Standardabweichung	1,04	321,05	0,67	2,44	1449,97
	Minimum	0,17	484,00	0,41	0,27	4740,00
	Maximum	6,25	6120,00	5,24	15,10	12200,00
Strohpellets	Mittelwert	1,17	1315,86	0,67	7,50	11606,27
	Standardabweichung	0,73	351,54	0,28	3,04	1806,66
	Minimum	0,11	798,00	0,24	2,98	630,00
	Maximum	4,11	4130,00	3,84	36,40	17900,00
Holzspäne	Mittelwert	2,16	1018,50	1,46	7,19	10272,95
	Standardabweichung	1,56	367,92	1,22	4,13	2115,64
	Minimum	0,13	453,00	0,20	2,14	600,00
	Maximum	15,10	5540,00	10,60	46,00	16700,00

Tabelle 22: Konzentrationen (Gesamtwerte) von Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Lachgas, Methan und Wasserdampf im Liegebereich der Gruppenhaltung (Messhöhe 1,30 m) in Abhängigkeit der verschiedenen Einstreumaterialien

		Mittlere Gaskonzentration [mg/m³] (gemessener Wert)				
Material		**NH_3**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**H_2O**
Weizenstroh	Mittelwert	1,10	819,4	0,80	3,70	7180,90
	Standardabweichung	0,86	217,60	0,57	2,38	1525,86
	Minimum	0,12	445,00	0,18	0,26	320,00
	Maximum	6,60	2150,00	5,09	10,90	12400,00
Strohpellets	Mittelwert	0,90	1107,0	0,50	6,90	11233,30
	Standardabweichung	0,50	250,48	0,20	2,54	4410,69
	Minimum	0,11	802,00	0,21	2,85	700,00
	Maximum	4,08	5240,00	4,54	23,10	123000,00
Holzspäne	Mittelwert	1,50	875,5	0,80	6,40	9722,80
	Standardabweichung	0,95	284,91	0,79	3,57	3975,63
	Minimum	0,21	430,00	0,14	0,32	190,00
	Maximum	9,25	1830,00	8,91	27,80	109000,00

Für die Ammoniakkonzentration wurde eine Umrechnung in „ppm“ (parts per million) vorgenommen (Tab. 23), um einen besseren Vergleich zu den Literaturangaben (siehe Tab. 1) zu ermöglichen.

Tabelle 23: Mittlere Konzentrationen (Gesamtmittelwert) von Ammoniak im Liegebereich der Gruppenhaltung in Abhängigkeit der verschiedenen Einstreumaterialien und unterschiedlicher Messhöhen

		NH_3- Konzentration [ppm]			
Material	**Messposition**	**Mittelwert**	**Standardabweichung**	**Minimum**	**Maximum**
Weizenstroh	0,50 m	2,08	1,50	0,25	8,98
	1,30 m	1,64	1,24	0,17	9,48
	Insgesamt	1,86	1,39	0,17	9,48
Strohpellets	0,50 m	1,68	1,05	0,16	5,91
	1,30 m	1,28	0,73	0,15	5,86
	Insgesamt	1,48	0,92	0,15	5,91
Holzspäne	0,50 m	3,11	2,24	0,19	21,70
	1,30 m	2,14	1,37	0,30	13,29
	Insgesamt	2,62	1,92	0,19	21,70
Insgesamt	0,50 m	2,32	1,79	0,16	21,70
	1,30 m	1,71	1,21	0,15	13,29
	Insgesamt	2,01	1,56	0,15	21,70

Der Grenzwert für Ammoniakkonzentrationen von 10 ppm (BMVEL, 1995) wurde nur während der Verwendung der Holzspäne-Einstreu überschritten. Dabei waren es insg. 28 Messungen, die diesen Grenzwert überschritten haben und das überwiegend im Bereich der Messhöhe 0,50 m nahe dem Ausgang zur Stallgasse.

Bei der Auswertung der Messdaten in Braunschweig fiel auf, dass ein Anstieg der Gaskonzentrationen im Stallgebäude sehr häufig mit einem Anstieg der Gaskonzentrationen in der Außenluft einherging. Da sich der Stall in der Nähe der Rinderstallungen befand, wurde vermutet, dass bei ungünstiger Windrichtung eine Beeinträchtigung der Stallluft im Pferdestall durch die „Abgase“ der Rinderstallungen bestand. Der Lufteinlass für die Messung der Außenluft befand sich nahe dem Dachfirst an der Paddockabgewandten Seite, so dass die Luft aus dem Pferdebereich nicht dort hingelangen konnte.

Um eine mögliche Beeinflussung der gemessenen Gaskonzentrationen auszugleichen, wurde für die folgenden Signifikanzberechnungen zunächst für jeden gemessenen Wert eine Differenz zur Außenluft berechnet. Die mittleren Ammoniakkonzentrationen und die Standardabweichungen dieser Differenzen sind in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Mittlere Konzentrationen (Gesamtmittelwert) und Standardabweichungen der Konzentrationsdifferenzen für Ammoniak in Abhängigkeit vom Einstreumaterial und unterschiedlicher Messhöhen

		Mittlere Differenz der NH_3- Konzentration [mg/m³]	
Material	**Messposition**	**Mittelwert**	**Standardabweichung**
Weizenstroh	0,50 m	0,66	0,61
	1,30 m	0,35	0,47
	Insgesamt	0,50	0,56
Strohpellets	0,50 m	0,61	0,51
	1,30 m	0,33	0,32
	Insgesamt	0,47	0,45
Holzspäne	0,50 m	1,20	1,19
	1,30 m	0,52	0,60
	Insgesamt	0,86	1,00

Bei der Betrachtung der Differenzen zur Außenluft ist die geringste Ammoniakkonzentration ebenfalls bei den Strohpellets zu verzeichnen, gefolgt vom Weizenstroh und den höchsten Messwerten bei den Holzspänen. Es bestanden jeweils signifikante Unterschiede zwischen den Holzspänen und den anderen Einstreuarten (Scheffé-Test: $P < 0,001$). Hingegen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Materialien Weizenstroh und Strohpellets (Scheffé-Test: $P = 0,165$).

Tabelle 25 stellt die berechneten Differenzen der Kohlendioxidmessungen (CO_2) als Mittelwerte und die jeweiligen Standardabweichung dar. Die CO_2-Werte waren bei Weizenstroh und Spänen am geringsten, wobei zwischen beiden Materialien kein signifikanter Unterschied bestand (Scheffé-Test: $P = 0,672$). Die CO_2-Konzentration war bei der Verwendung der Strohpellets am höchsten, was einen jeweils signifikanten Unterschied gegenüber Stroh und Spänen (Scheffé-Test: $P < 0,001$) ausmachte.

Tabelle 25: Mittlere Konzentrationen (Gesamtmittelwert) und Standardabweichungen der Konzentrationsdifferenzen für CO_2 in Abhängigkeit des Einstreumaterials und unterschiedlicher Messhöhen

		Mittlere Differenz der CO_2- Konzentration [mg/m³]	
Material	**Messposition**	**Mittelwert**	**Standardabweichung**
Weizenstroh	0,50 m	311,11	239,82
	1,30 m	153,33	130,45
	Insgesamt	232,22	208,52
Strohpellets	0,50 m	462,33	316,90
	1,30 m	253,89	228,65
	Insgesamt	358,11	295,28
Holzspäne	0,50 m	308,37	231,05
	1,30 m	166,42	129,28
	Insgesamt	237,39	200,19

Der Versuchstag hatte einen bedeutenden Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen im Stall. Abbildung 26a zeigt den Konzentrationsverlauf über die jeweils ersten 14 Tage des zweiten Versuchsdurchgangs in Abhängigkeit der Einstreumaterialien. Die Ammoniakkonzentrationen fielen bei allen drei Materialien in den ersten 2 bis 3 Tagen deutlich ab. In den folgenden vier Tagen kam es zu einem Anstieg der Ammoniakkonzentrationen. Ab dem 7. bzw. 8. Versuchstag fiel die mittlere Ammoniakkonzentration bei der Verwendung von Spänen und Stroh kontinuierlich ab. Hingegen kam es bei der Verwendung der Strohpellets ab dem 9. Versuchstag zu einem Konzentrationsanstieg. Zunächst war die gemessene Konzentration bei den Pellets ab diesem Tag höher als bei Weizenstroh. Die höchste Ammoniakkonzentration war jedoch in den ersten zwei Wochen stets bei der Verwendung der Holzspäne zu verzeichnen. An dieser Verteilung änderte sich in der dritten Woche nichts.

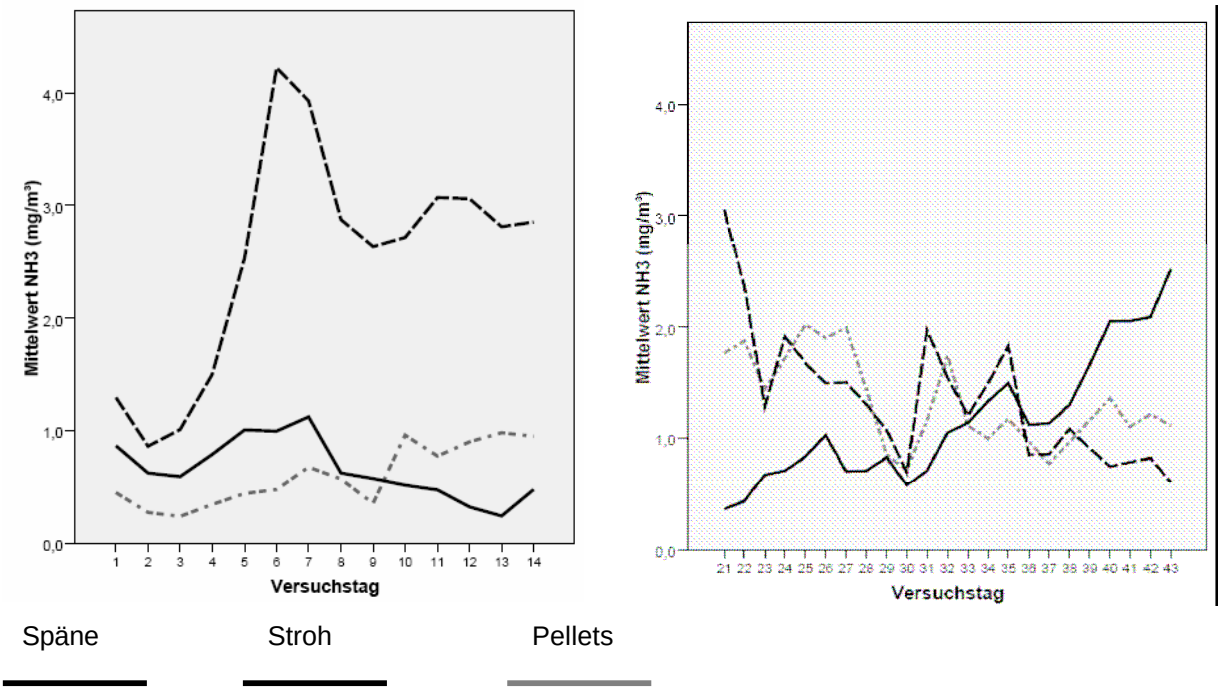


Abbildung 26: Gesamtmittelwert der Ammoniakkonzentrationen a) im Verlauf der ersten 14 Tage und b) im Verlauf der 4. bis 6. Woche in Abhängigkeit vom Einstreumaterial (Tagesmittelwerte / Material)

Ab der 4. Woche (Abb. 26b) sanken jedoch die Ammoniakkonzentrationen bei den Holzspänen und die Tagesmittelwerte variierten ab Tag 23 stets zwischen 0,6 und 2,0 mg/m³. Bei den Strohpellets variierten die Tagesmittelwerte ab der 4. Woche ebenfalls zwischen 0,6 und 2,0 mg/m³. Dabei lag ihre durchschnittliche Konzentration bis zum Tag 33 über der Ammoniakkonzentration des Weizenstrohs und ab Tag 34

stets darunter. Das Weizenstroh, das als Mistmatratze verwendet wurde, verursachte ab der 4. Woche einen kontinuierlichen Anstieg der mittleren Ammoniakkonzentration/Tag. Ab Tag 36 lag die Konzentration (> 1,2 mg/m³) stets über der Ammoniakkonzentration der beiden anderen verwendeten Einstreumaterialien.

Der Verlauf der mittleren Kohlenstoffdioxid-, Lachgas-, Methan- und Wasserdampfkonzentrationen innerhalb von sechs Wochen ist der Abbildung 27 zu entnehmen.

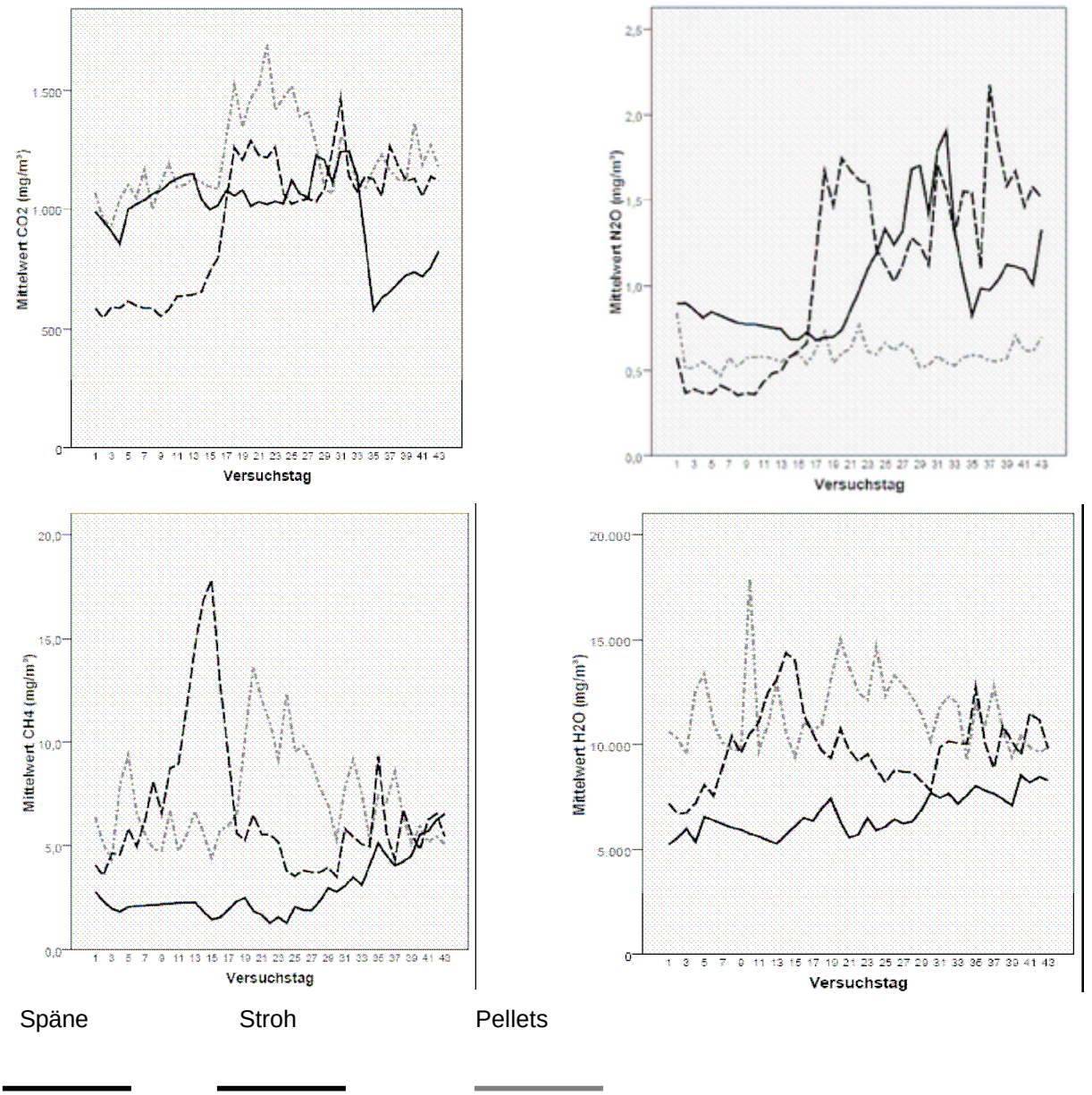


Abbildung 27: Gesamtmittelwerte der Konzentrationen von Kohlendioxid, Lachgas, Methan und Wasserdampf über 6 Wochen (Tagesmittelwerte / Material) in Abhängigkeit vom Einstreumaterial

Hinsichtlich der Ammoniakkonzentrationen konnten innerhalb eines Tagesverlaufs sowohl Unterschiede zwischen den Tageszeiten als auch zwischen den Einstreumaterialien festgestellt werden (Abb. 28a). Die geringste mittlere Ammoniakkonzentration war jeweils zwischen 3 und 4 Uhr feststellbar und die höchsten Werte waren um 10 Uhr (Späne und Stroh) bzw. um 12 Uhr (Pellets) messbar. Bei der Verwendung von Spänen und Stroh kam es danach zu einem kontinuierlichen Abfall der gemessenen Ammoniakkonzentrationen, wohingegen die Konzentration bei den Pellets von 12 bis 21 Uhr zunächst variierte zwischen 1,1 und 1,3 mg/m³ und erst dann auf 0,75 mg/m³ abfielen. Der Vergleich der Einstreumaterialien zeigte im Verlauf des Tages stets die höchste Ammoniakkonzentration bei Verwendung der Späne. Die Gaskonzentration war geringer bei der Verwendung von Stroh und am geringsten bei der Pellets-Einstreu.

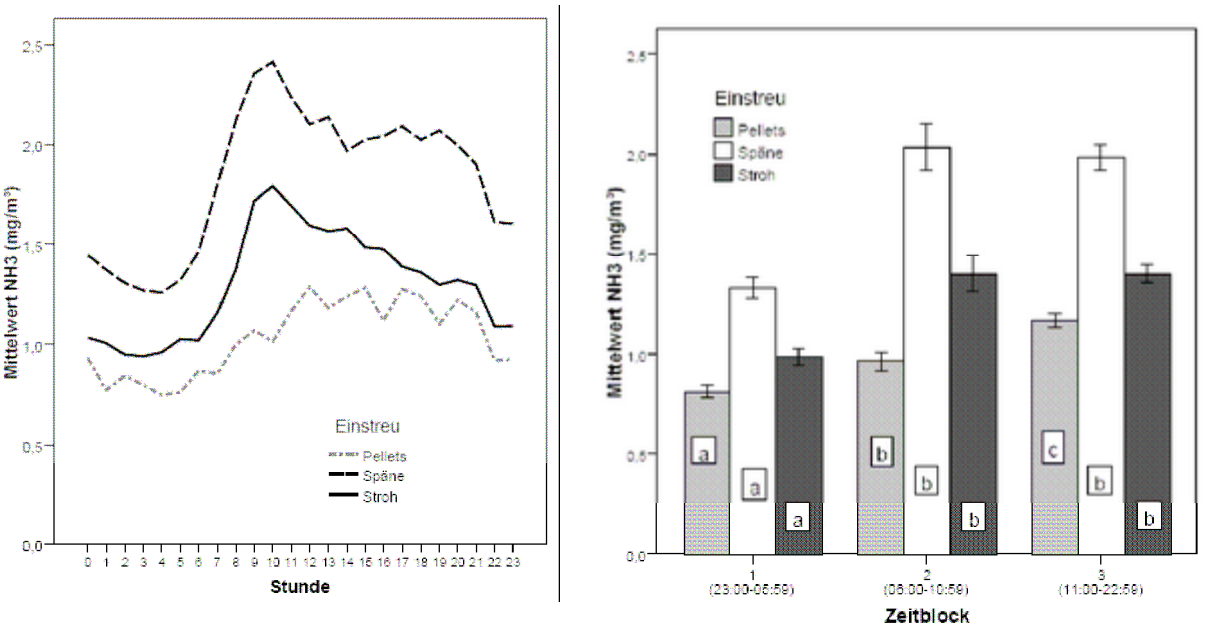


Abbildung 28: Gesamtmittelwert der Ammoniakkonzentrationen a) im Verlauf eines Tages (Stundenmittelwerte/Material) und b) nach Zeitblöcken (Mittelwerte/Zeitblock und Material); a,b,c = Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben innerhalb eines Materials unterscheiden sich signifikant voneinander (P < 0,05); Fehlerbalken: 95 % Konfidenzintervall

Die Eingruppierung der Einstreumaterialien innerhalb eines Tagesverlaufs spiegelt sich auch in der Betrachtung nach Zeitblöcken wider (Abb. 28b). Zwischen den Zeitblöcken 1 (23:00-5:59) und 2 (6:00-10:59) bestanden bei allen Einstreumaterialien jeweils hochsignifikante Unterschiede (Scheffé-Test: P < 0,001). Ebenso bestanden jeweils hochsignifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zeitblöcke 1 und 3 (11:00-22:59). Zwischen den Werten der Zeitblöcke 2 und 3 ließ sich nur bei

Verwendung der Strohpellets ein signifikanter Unterschied (Scheffé-Test: $P < 0,001$) feststellen.

Mikrobiologisches Monitoring

Zu Beginn der Versuche und jeweils am Ende eines Versuchsdurchgangs wurden Einstreuproben gesammelt und mikrobiologisch untersucht. Die Zahl der Gesamtkeime, Actinomyceten und Schimmelpilze ist der Tabelle 26 zu entnehmen. Die Actinomyceten wurden nur am Ende der Versuche analysiert, da ihre Analyse sehr aufwendig und kostspielig ist. Zu Beginn der Versuche wurden in keiner der Einstreuproben Schimmelpilze nachgewiesen. Die Gesamtkeimzahl war sowohl zu Beginn als auch am Ende der Versuche beim Weizenstroh am höchsten. Bei allen untersuchten Materialien wurden am Ende der Versuchsvarianten Actinomyceten nachgewiesen, deren Gehalt beim Weizenstroh am höchsten war. Schimmelpilze wurden ebenfalls in allen Proben am Ende der Versuche nachgewiesen. Der höchste Gehalt an Schimmelpilzen wurde bei den Strohpellets nachgewiesen.

Tabelle 26: Gesamtkeimzahl sowie Actinomyceten- und Schimmelpilzgehalte in den unterschiedlichen Einstreumaterialien vor Beginn der Untersuchungen sowie jeweils am Ende eines Versuchsdurchgangs von 7 Wochen

Material	**Zeitpunkt der Probennahme**	**Gesamtkeimzahl 36 °C [KbE/g]**	**Actinomyceten 37 °C [KbE/g]**	**Schimmelpilze 37 °C [KbE/g]**
Weizenstroh	Versuchsbeginn	$1,2 \times 10^9$	n.a.	0
	Versuchsende	$5,9 \times 10^9$	$5,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^5$
Strohpellets	Versuchsbeginn	$6,4 \times 10^4$	n.a.	0
	Versuchsende	$3,0 \times 10^9$	$2,0 \times 10^7$	$6,1 \times 10^5$
Holzspäne	Versuchsbeginn	$3,1 \times 10^4$	n.a.	0
	Versuchsende	$1,1 \times 10^9$	$6,8 \times 10^5$	$2,9 \times 10^3$

n.a. nicht analysiert

3.1.2.2 Zusatzversuch

Nach Abschluss der siebenwöchigen Versuchsphase der Pellets-Einstreu wurden die PVC-Folienvorhänge vor den Ausgängen der Gruppenhaltung entfernt und die Messung der Partikel- und Gaskonzentrationen in den folgenden zwei Wochen fortgesetzt. Die gemessenen Konzentrationen wurden verglichen mit den beiden letzten Wochen der Versuchsphase mit noch vorhandenen Vorhängen.

Partikel

Während des Zusatzversuches betrug der Mittelwert der Partikelkonzentrationen (PM 10) bei Vorhandensein der Folienvorhänge 95,56 ± 135,10 µg/m³ und nach Abnahme der Vorhänge 277,97 ± 197,68 µg/m³ Die Werte schwankten dabei insgesamt zwischen 0,3 µg/m³ bis 990,0 µg/m³ (Tab. 27).

Tabelle 27: PM10-Partikelkonzentration mit und ohne Folienvorhängen vor den Ausgängen

	PM 10-Partikelkonzentration [µg/m³]			
Untersuchung	**Mittelwert**	**Standardabweichung**	**Minimum**	**Maximum**
mit Vorhängen	96,56	135,10	0,30	977,00
ohne Vorhänge	277,97	197,68	1,00	990,00
Insgesamt	180,90	190,03	0,30	990,00

Nach Entfernung der Folienvorhänge vor den Ausgängen des Liegebereichs kam es zu einem hochsignifikanten Anstieg der Staubpartikel-Konzentration im Innern des Stalls (SNK-Test: $P < 0,001$).

Abbildung 29 zeigt den Verlauf der PM 10-Konzentration in den zwei Wochen vor der Entfernung der Vorhänge (bis 19.08.2008) und in den zwei darauf folgenden Wochen.

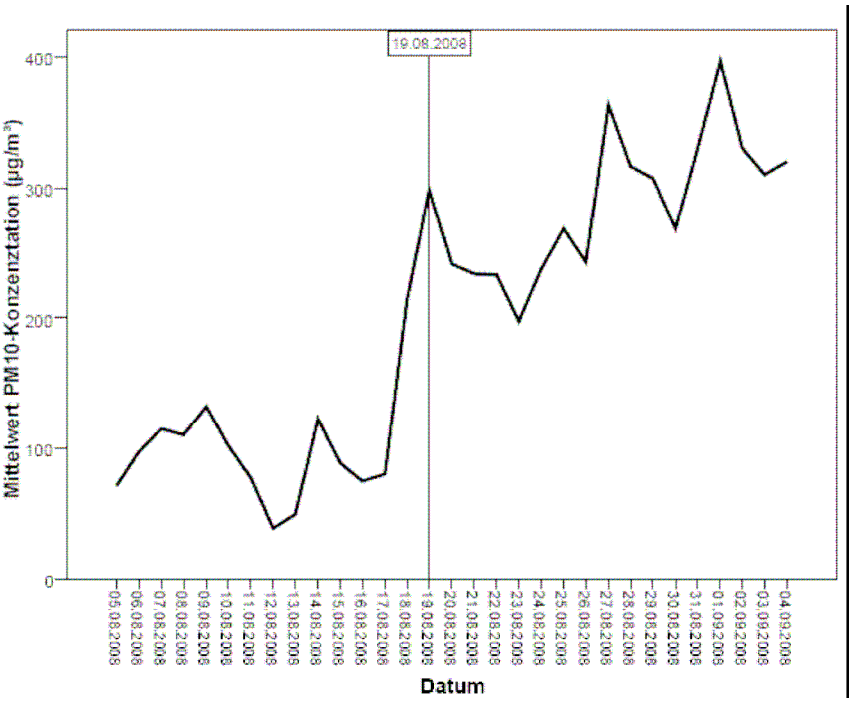


Abbildung 29: Mittlere PM 10-Partikelkonzentration (Tagesmittelwerte) mit Folienvorhängen (bis 19.08.2008) und nach Abnahme der Vorhänge

Gase

Die gemessenen Konzentrationen der Gase Ammoniak (NH_3), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) sind ebenso wie der Gehalt an Wasserdampf (H_2O) der folgenden Tabelle (Tab. 28) zu entnehmen. Sämtliche gemessenen Konzentrationen sanken nach Entfernung der Folienvorhänge. Dabei handelt es sich mit Ausnahme der Wasserdampf-Messung (SNK-Test: P = 0,371) um jeweils hochsignifikante Unterschiede (SNK-Test: P < 0,001).

Tabelle 28: Konzentrationen von Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Lachgas, Methan und Wasserdampf mit und ohne Folienvorhängen vor den Ausgängen

		Mittlere Gaskonzentrationen [mg/m³]				
Untersuchung		**NH_3**	**CO_2**	**N_2O**	**CH_4**	**H_2O**
mit Vorhängen	Mittelwert	1,11	1189,80	0,58	6,59	10811,17
	Standardabweichung	0,44	217,96	0,18	2,18	1617,61
	Minimum	0,42	822,00	0,21	3,48	700,00
	Maximum	3,29	2250,00	1,74	36,40	14700,00
ohne Vorhänge	Mittelwert	0,65	958,77	0,50	5,98	10871,53
	Standardabweichung	0,33	134,89	0,13	1,61	1301,70
	Minimum	0,03	781,00	0,30	2,52	7660,00
	Maximum	2,28	1950,00	1,39	20,70	13900,00

Abbildung 30 zeigt den Verlauf der Ammoniak- und Kohlenstoffdioxidkonzentration vom 05.08.2008 bis 04.09.2008. Dieser Zeitraum beinhaltet die letzten zwei Wochen, in denen die Vorhänge noch vorhanden waren und die zwei Wochen nach Abnahme der Streifenvorhänge. Sowohl die NH_3- als auch die CO_2-Konzentrationen fielen nach dem 19.08.2008 (Tag, an dem die Vorhänge entfernt wurden) deutlich ab.

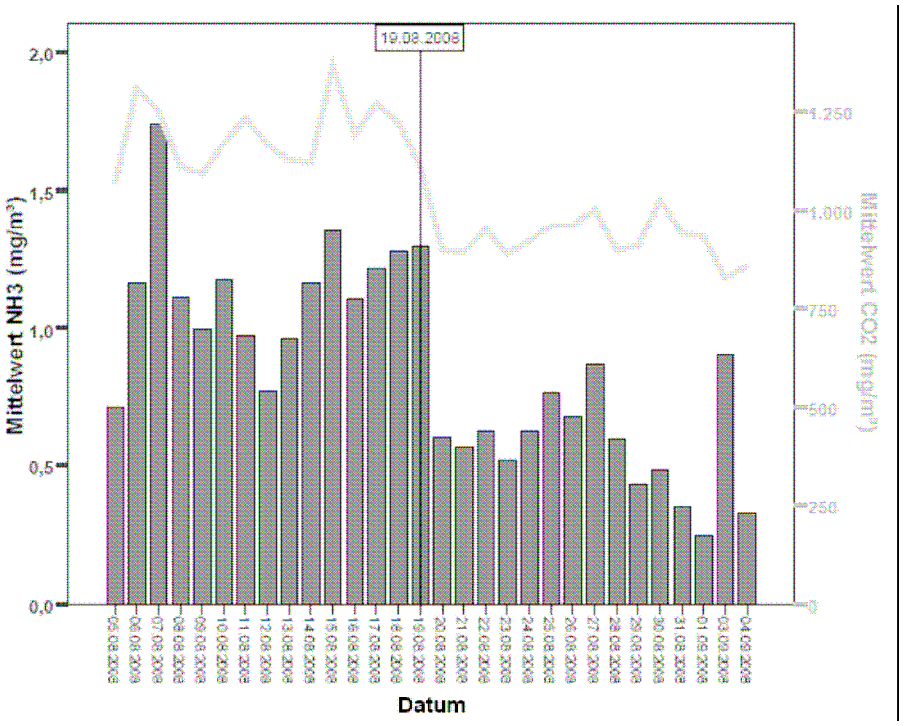


Abbildung 30: Mittlere Ammoniak- und Kohlenstoffdioxidkonzentrationen (Tagesmittelwerte) mit Folienvorhängen (bis 19.08.2008) und nach Abnahme der Vorhänge

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

3.2.1 Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems Vechta (FOSVWE)

Versuchsteile 1 und 2

Anhand der Ergebnisse aus den abgeschlossenen Untersuchungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Die Ergebnisse des Versuches haben bestätigt, dass Einstreumaterialien wie Holzspäne oder Strohpellets die PM 10-Partikelkonzentrationen in der Stallluft im Vergleich zu Stroh reduzieren.

Hinsichtlich der Ammoniakkonzentrationen im Stall zeigte die Einstreu mit Weizenstroh Vorteile gegenüber den Strohpellets und Holzspänen. Es ist jedoch anzunehmen, dass bei einer höheren Einstreumenge und einer regelmäßigen Nachstreu von Strohpellets und Holzspänen, durch einen Erhöhung des Kohlenstoffangebotes, die Konzentrationen geringer ausfallen könnten.

Durch die Ergebnisse der Untersuchungen unter In situ - Bedingungen, erscheint es sinnvoll, die Arbeiten im Stall zu erledigen, wenn sich keine Pferde im Stall befinden. Die Tätigkeiten im Stall (Füttern, Misten bzw. Säubern und Begradigen der Box, Fegen) verursachen sowohl erhöhte Ammoniak- als auch PM 10-Partikelkonzentrationen.

Hinsichtlich des Einstreumanagements bleibt festzuhalten, dass eine zweiwöchige Mistmatratze mit Stroh keinen negativen Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen im Stall hat. Sie bietet sogar Vorteile im Vergleich zum täglichen Misten hinsichtlich der Partikel- und Gasgenerierung. Auch im Verlauf einer sechswöchigen Mistmatratze werden keine kontinuierlich ansteigenden Ammoniakwerte im Stall erfasst. Anhand dieser Ergebnisse ist es also sinnvoll, auf das tägliche Ausmisten zu verzichten, wobei jedoch auf einen regelmäßige Nachstreu geachtet werden sollte.

Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass, neben den genannten Faktoren Ammoniak und PM 10-Partikelkonzentration, weitere Faktoren berücksichtigt werden

sollten: Die negativen Auswirkungen des Matratzenstreuverfahrens werden zum einen durch einen Anstieg des Parasitenbefalls und durch eine starke Insektenvermehrung im Stall deutlich. Zum anderen bietet die Mistmatratze einen idealen Nährboden für pathogene Krankheitserreger.

Werden die Ergebnisse der mikrobiologischen Analyse betrachtet, so kann festgestellt werden, dass auch in qualitativ gutem Stroh Spuren von Schimmelpilzen und sonstigen aeroallergenen Anteilen zu finden sind. Die Verwendung von aufbereiteten Einstreumaterialien wie z.B. Strohpellets oder Holzspänen kann demnach besonders für Pferde mit Allergien und chronischen Atemwegserkrankungen vorteilhaft sein.

Neben der Partikel- und Gasgenerierung gibt es noch weitere Kriterien, die u.a. die Wahl des Einstreumaterials beeinflussen. Hierzu gehören:

- Verfügbarkeit
- Kosten (Kosten in der Anschaffung, Verbrauch, etc.)
- Arbeitswirtschaft (Handhabung und Pflege, Praxistauglichkeit, Management)
- Lagerung (Lagerungskapazität, Lagerungsform)
- Schmackhaftigkeit für das Pferd, Raufuttergrundlage
- Pferdeverhalten (Beschäftigung durch Einstreu)
- Entsorgung (anfallende Mistmenge, Kompostierbarkeit)

Hinsichtlich des Pferdeverhaltens in der Box hat Stroh, durch ein höheres Beschäftigungspotential, Vorteile gegenüber Strohpellets oder Spänen (BACHHAUSEN, 2008).

<u>Versuchsteil 3</u>

In Versuchsteil 3 wurde das Abgasverhalten von Weizen-, Roggen- und Gerstenstroh miteinander verglichen. Hinsichtlich des Abgasverhaltens (Ammoniak, Methan, Kohlenstoffdioxid) aus Mistmatratzen wurden keine signifikanten Unterschieden zwischen Weizen-, Roggen- und Gerstenstroh festgestellt. Jedoch ist die mittlere Lachgaskonzentration von Roggen mit 17,35 mg/m³ signifikant verschieden zu der Lachgaskonzentration von Weizen mit 15,78 mg/m³ und von Gerste mit 15,51 mg/m³. Werden die Ammonium-, Nitrit-, und Nitratwerte von Roggenstroh in Tabelle 20 betrachtet, so werden hier deutlich erhöhte Ammoniumwerte bereits an Tag 1 mit einem Gehalt von 14,95 mg/100g (im Vergleich Gerste = 0,01 mg/100 g und Weizen = 0,38 mg/100g)

ersichtlich. Ebenfalls an Tag 19 liegt der Wert mit 13,34 mg/100g weit über denen von Gerste und Weizen.
Um eine Erklärung dieser hohen Werte zu erhalten, wurden weitere Proben des Ausgangsmaterials Roggenstroh vorgenommen. Diese Analysen ergaben ebenfalls erhöhte Ammoniumwerte, aufgrund dessen zu vermuten ist, dass das Ausgangsmaterial bereits kontaminiert war.

Wird der gesamte Ablauf des Versuches betrachtet, so sind folgende Anmerkungen zu machen.
In mehreren Abbildungen der Gaskonzentrationen ist ein leichter Anstieg der Werte an Tag 19 zu erkennen. Bei einer weiteren Untersuchung zu oben aufgeführter Thematik wäre es empfehlenswert, die einzelne Durchgangsdauer länger als 19 Tage anzusetzen, um zu sehen, wie sich der Konzentrationsverlauf weiter entwickelt.

Weiterhin wäre es von Vorteil, mehr als eine Sauerstoffsonde im Substrat einzubringen, um an mehreren Stellen gleichzeitig den Sauerstoffgehalt messen zu können. Der Vorgang des Belüftens (Probeentnahme aus dem Container) ist ebenfalls zu überdenken. So konnte nicht genau festgehalten werden, wieviel Sauerstoff tatsächlich in den Container gelangt. Durch das Anheben des Deckels zur Probenentnahme ist nicht immer die gleiche Belüftungsdauer bzw. -intensität gewährleistet, obwohl darauf geachtet wurde, die Zeitintervalle stets gleich zu halten.

3.2.2 Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig (vTI)

Während der Versuche in der Gruppen-Auslaufhaltung in Braunschweig waren die gemessenen Partikelkonzentrationen (PM 10) mit durchschnittlich 36,2 ± 47,8 µg/m³ insgesamt sehr gering. Ebenso lagen die gemessenen Schadgas-Konzentrationen an den meisten Versuchstagen weit unter den Grenzwerten.

Somit ist die Verwendung aller drei untersuchten Einstreumaterialien in der Gruppenhaltung als gesundheitlich unbedenklich einzustufen. Trotzdem sollte bei der Einstreu von Pferdeställen die Belastung in der Luft so gering wie möglich sein, da Pferde sehr empfindliche Atemwegsorgane besitzen.

Insbesondere Pferde, die bereits Erkrankungen der Atemwege hatten oder chronisch lungenkrank sind, können schon auf geringe Anstiege der Partikel- oder Schadgas-Konzentrationen mit einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes reagieren. Daher wurde in der Untersuchung betrachtet, bei welcher Einstreu die geringste Belastung zu erwarten ist.

<u>Hauptversuch</u>

Die Versuche der Gruppen-Auslaufhaltung haben gezeigt, dass alternative Einstreumaterialien wie Holzspäne oder Strohpellets im Vergleich zu Stroh, die Partikelkonzentrationen in der Stallluft reduzieren können. Dabei war die Partikelkonzentration bei der Verwendung der Strohpellets (Reduktion um 54 %) noch geringer als bei den Spänen (Reduktion um 37 %).

Hinsichtlich der gemessenen Ammoniakkonzentrationen im Liegebereich der Gruppenhaltung traten bei der Verwendung von Holzspänen signifikant höhere Belastungen auf als bei der Verwendung von Weizenstroh und Strohpellets. Nur bei den Holzspänen kam es zu einer kurzzeitigen Überschreitung des Grenzwertes für Ammoniakkonzentrationen von 10 ppm. Bei der Einstreuvariante der Strohpellets war die Ammoniakkonzentration etwas geringer als beim Weizenstroh, jedoch nicht signifikant verschieden.

Die Betrachtung der Messwerte über sieben Wochen hat jedoch gezeigt, dass die Messwerte großen Schwankungen unterlagen.

So waren die mittleren Ammoniakkonzentrationen der **Holzspäne** in der 2. bis 4. Woche am höchsten und fielen dann kontinuierlich ab, so dass sie in der 7. Woche sogar die geringste Konzentration aller verwendeten Einstreumaterialien aufwiesen.

Beim **Weizenstroh** (Mistmatratze) hingegen waren die mittleren Ammoniakkonzentrationen während der ersten vier Versuchswochen relativ gering, stiegen ab dem 30. Versuchstag aber kontinuierlich an, so dass bei diesem Einstreumaterial in der 7. Versuchswoche die höchsten Ammoniakkonzentrationen messbar waren.

Bei der Verwendung der **Strohpellets** war innerhalb der ersten vier Versuchswochen ein langsamer Anstieg der mittleren Ammoniakkonzentration feststellbar und während der letzten drei Wochen ein Abfall der Ammoniakkonzentrationen. Insgesamt war die Spannweite bei dieser Einstreu jedoch am geringsten.

Diese Erkenntnisse sollten bei der Verwertbarkeit der Ergebnisse berücksichtigt werden. Somit sind die Eigenschaften einer Einstreu auch eng mit dem Entmistungsverfahren und dem Management eines Stallbetreibers verbunden.

Bei der Verwendung von **Holzspänen** in einer Gruppenhaltung wäre anzuraten, dass die Grundeinstreu vom ersten Tag länger als 1 Monat verwendet werden müsste, um einen positiven Effekt zu erzielen. Vermutlich erreicht die Späneschicht erst nach einer gewissen Durchfeuchtung ihre maximale Saugfähigkeit. Da sich die Pferde während der hiesigen Untersuchung auch ganztags im Freien auf den angrenzenden Stallausläufen aufhalten konnten, war der eingestreute Aufenthaltsbereich sicherlich auch seltener frequentiert als in einem geschlossenen Laufstall. Auch die entsprechende Haltungsform ist somit bei der Einstreuwahl zu berücksichtigen, da sie zu einer Beeinträchtigung der Partikel- und Staubkonzentrationen führen kann.

Bei der Verwendung von **Stroh** als Mistmatratze kam es während der letzten drei Versuchswochen zu einem kontinuierlichen Anstieg der Ammoniakkonzentration auf Tagesmittelwerte von bis zu 2,5 mg/m³. Während der Versuche wurde der Liegebereich täglich sehr großzügig nachgestreut. Die gemessenen Konzentrationen lagen dabei noch weit unter den empfohlenen Grenzwerten (10 ppm, entspricht ca. 7 mg/m³). Somit kann Stroh in einer Gruppenhaltung als Mistmatratze verwendet werden, wenn der Liegebereich täglich gut nachgestreut wird. Es kann leider nicht gesagt werden, wie lange die Matratzenstreu insgesamt im Liegebereich verbleiben könnte, da diese Variante aus zeitlichen Gründen nach jeweils 7 Wochen beendet wurde. In diesem Fall sollten weiterführende Untersuchungen stattfinden, um zu ermitteln, wielange es dauern würde, bis der Grenzwert der Ammoniakkonzentration erreicht ist. Auch bei dieser Beurteilung sind die örtlichen Gegebenheiten bei Einstreuempfehlungen zu berücksichtigen.

Die besten Messergebnisse konnten in der Gruppen-Auslaufhaltung bei der Verwendung von **Strohpellets** erzielt werden. Die mittlere Ammoniakkonzentration lag bei 1,03 ± 0,64 mg/m³ mit einem Maximum von 4,11 mg/m³ und der geringsten Spannweite (4,0 mg/m³) aller drei Einstreumaterialien. Da auch die Partikelkonzentrationen sehr gering waren sind Strohpellets für die Liegebereiche in Gruppenhaltungen gut geeignet. Allerdings müsste auch hier eine Untersuchung über einen längeren Zeitraum zeigen, in welchem Zeitraum die Werte dieses Niveau halten würden und wie sich die Verwendung dieser Einstreu in einem geschlossenen Laufstall auf die Luftqualität auswirken würde.

Hinsichtlich des Stallmanagements sollten Pferdehalter außerdem beachten, dass die täglichen Stallarbeiten zu einem starken Anstieg der Partikel- und Ammoniakkonzentrationen geführt haben. Insbesondere die Grundeinstreu am ersten Tag des jeweiligen Versuchsdurchgangs hatte eine hohe Partikelkonzentration im Stallbereich zur Folge. Da es zwischen zwei bis vier Stunden gedauert hat, bis die Partikelkonzentration gesunken war, sollten die Pferde frühestens vier Stunden nach dem Einstreuen des Liegebereichs wieder in den Stall gelassen werden.

Die Pferde sollten sich aber auch während der täglichen Stallarbeiten und zwei bis drei Stunden danach nicht im Stallgebäude aufhalten, da die Ammoniakkonzentrationen zu dieser Zeit stark angestiegen sind und mehrere Stunden vergingen bis die Werte wieder gesunken sind. Vor allem bei Spänen uns Stroh als Einstreu kam es zu einem schnellen Ammoniakanstieg, der lange Zeit nach den Stallarbeiten noch erhöht war.

<u>Zusatzversuch</u>

In einem zusätzlichen Versuchsabschnitt wurde der Einfluss von Folienvorhängen vor den Ausgängen zu den angrenzenden Stallausläufen untersucht. Nach Entfernung der Vorhänge kam es einerseits zu einem hochsignifikanten Abfall der Ammoniakkonzentration, andererseits zu einem hochsignifikanten Anstieg der Partikelkonzentration im Stallgebäude. Ob ein Einsatz der Vorhänge sinnvoll ist, hängt davon ab, ob Pferde empfindlicher auf Staubbelastungen oder auf hohe Ammoniakkonzentrationen reagieren. Dazu müssten noch weitere Untersuchungen stattfinden. Bei einer Empfehlung für oder gegen die Vorhänge sollten die Gegebenheiten des ent-

sprechenden Stalles und die gesundheitliche Verfassung der Pferde Berücksichtigung finden.

Die Abweichungen zu den Messergebnissen der Versuche in Vechta sind vermutlich durch die andere Haltungsform bedingt. Zum einen wurde der Liegebereich in Braunschweig sehr großzügig eingestreut und zum anderen hielten sich die Pferde auch viele Stunden auf den Außenpaddocks auf, wo sie zum Teil auch die Nacht verbracht haben. Die Akzeptanz der Pferde war bei allen drei Materialien gut, wobei sie sich anfangs auf den Pellets seltener hingelegt haben. Einige Pferde haben die Pellets in großen Mengen gefressen, was aber zu keinen Verdauungsstörungen geführt hat. Koliken gab es nur während der Variante, in der mit Stroh eingestreut wurde.

Bei der Wahl der Einstreu sollten Pferdehalter daher auch die Individualität der Pferde berücksichtigen, da auch Faktoren wie Alter-, Gesundheitszustand, Kolikanfälligkeit, Liege- und Fressverhalten sowie Abkotungs- und Urinierverhalten einen großen Einfluss auf das Stallklima haben. Zudem sollte auf eine gute Futterqualität geachtet werden, da z. B. staubiges und verschimmeltes Heu oder verunreinigtes Kraftfutter ebenfalls zu Atemwegsproblemen führen können. Bei Verzicht auf Stroh ist zudem auf die Deckung des Rohfaserbedarfs zu achten.

4 Zusammenfassung

Neben weiteren Faktoren hat besonders das Einstreumaterial, durch materialspezifische Unterschiede hinsichtlich Partikelfreisetzung im Stall, Feuchtigkeitsaufnahme und Ammoniakbindung, einen großen Einfluss auf die klimatischen Haltungsbedingungen. In vorliegendem Projekt wurden unterschiedliche Einstreumaterialien hinsichtlich ihrer Eignung als Einstreu für Pferde in Einzel- und Gruppenhaltungssystemen unter Praxisbedingungen analysiert und miteinander verglichen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen folgende Versuchsziele:

- Quantifizierung der Freisetzung von biogenen Gasen aus unterschiedlichen Einstreumaterialien,
- Analyse der Generierung von luftgetragenen Partikeln in Abhängigkeit vom Einstreumaterial,
- Bewertung des Einflusses des Entmistungsintervalls auf die Partikel- und Gasentwicklung im Pferdestall mit Boxenhaltung.

In einem weiteren Versuchsabschnitt wurde unter standardisierten Bedingungen das Abgasverhalten von Mistmatratzen in Abhängigkeit von der Getreideart in speziell angefertigten Kompostreaktoren simuliert. Ziel dieser Simulation war es, festzustellen, ob getreideartspezifische Unterschiede hinsichtlich der gasförmigen Emissionen aus der Mistmatratze entstehen.

Das Einstreumaterial und die Stallaktivität (Füttern/Fressen, Säubern der Boxen/Streuen/Fegen) sowie der Versuchstag hatten sowohl in den Einzelboxen als auch im Gruppen-Liegebereich einen signifikanten Einfluss auf die PM 10-Partikelkonzentrationen im Stall ($P < 0,05$). Über den gesamten Versuchszeitraum lagen die Partikelkonzentrationen während der Einzelhaltung bei der Einstreu mit Strohpellets auf dem niedrigsten Niveau mit einem Mittelwert von 111,2 ± 149,2 µg/m³. Der Mittelwert der Partikelkonzentration (PM 10) bei Weizenstroh und Holzspäne lag bei 227,5 ± 280,8 µg/m³ bzw. 140,9 ± 141,9 µg/m³. Im Liegebereich der Gruppenhaltung war die Partikelkonzentration ebenfalls während der Verwendung von Strohpellets am geringsten (24,6 ± 34,35 µg / m³). Eine signifikante Erhöhung der Partikelkonzentration (PM 10) brachte die Einstreu mit Holzspänen (34,4 ± 35,43 µg / m³). Bei den Versuchen in der Gruppenhaltung war die mittlere

Konzentration der Staubpartikel bei der Einstreu mit Weizenstroh signifikant am höchsten (54,9 ± 70,01 µg / m³).
Deutliche Konzentrationsanstiege waren während der Versuche in der Einzelhaltung vormittags ab 11 Uhr bzw. in der Gruppenhaltung zwischen 6 und 11 Uhr messbar (Zeitpunkt der Boxenreinigung; Einstreuen; Fegen der Stallgasse). Zudem wurde in der Einzelhaltung abends ab 18 Uhr (Fütterung; Fegen der Stallgasse) bei allen Materialien eine erhöhte Partikelkonzentration (PM 10), jedoch besonders bei Weizenstroh mit einem Maximalwert von 720,9 µg/m³, ermittelt. In der Einzelhaltung unterscheidet sich die mittlere Partikelkonzentration (PM 10) von Weizenstroh am Tag der Ersteinstreu mit 557,8 ± 31,7 µg/m³ signifikant von der mittleren Konzentration von Holzspänen (218,6 ± 31,5 µg/m³) und Strohpellets (185,9 ± 38,5 µg/m³) ($P < 0,05$).

In der Gruppenhaltung hat hingegen die Ersteinstreu mit Holzspänen zur signifikant höchsten Partikelkonzentration (PM 10) geführt (Maximum: 781,9 µg/m³). Während der Grundeinstreu der Strohpellets wurde ein Maximum von 330,8 µg/m³ erreicht und bei der ersten Einstreu des Weizenstrohs 256,1 µg/m³. Zum einen könnte die relativ große Fläche und die gute Durchlüftung im Stallbereich der Gruppenhaltung zu den besseren Ergebnissen des Strohs geführt haben und zum anderen spielt die Strohqualität eine Rolle bei der Staubentwicklung. Beiden Haltungsvarianten gemeinsam war jedoch die höhere Staubbelastung der Späne im Vergleich zu den Pellets.

Die mittleren Ammoniakkonzentrationen (LSM ± SE) lagen in den Einzelboxen über alle drei Durchgänge bei der Einstreu mit Weizenstroh bei 2,89 ± 0,14 mg/m³. Bei der Einstreu mit Strohpellets lagen die mittleren Ammoniakkonzentrationen bei 5,14 ± 0,14 mg/m³ und mit Holzspänen bei 4,14 ± 0,10 mg/m³. Die Werte unterschieden sich signifikant ($P < 0,001$) Die Ammoniakwerte variierten generell bei allen drei Materialien zwischen den 14 Tagen deutlich stärker als innerhalb eines Tages.
Die mittleren Kohlenstoffdioxidwerte lagen während der Einzelhaltung bei allen drei Substraten auf einem ähnlichen Niveau mit 1519,9 ± 15,1 mg/m² bei Weizenstroh, 1545,9 ± 15,2 mg/m³ bei Strohpellets und 1492,4 ± 11,1 mg/m³ bei Holzspänen.

In der Gruppenhaltung wurde der Liegebereich in zwei Durchgängen mit jeder Einstreu sieben Wochen lang eingestreut. In diesem Zeitraum betrugen die mittleren Ammoniakkonzentrationen bei der Verwendung von Weizenstroh 1,30 ± 0,97 mg/m³,

bei den Strohpellets 1,03 ± 0,64 mg/m³ und bei den Holzspänen 1,83 ± 1,34 mg/m³. Während der siebenwöchigen Versuchsdauer zeigten die Messwerte jedoch große Schwankungen. Dabei ließen sich bei den Strohpellets neben den geringsten Mittelwerten auch die geringsten Spannweiten ermitteln, so dass sie für die Gruppenhaltung gut geeignet sind. Bei den Holzspänen ließen sich in den ersten vier Wochen relativ hohe Ammoniakkonzentrationen messen und in der siebten Woche die geringsten Konzentrationen, wobei es sich bei dem Weizenstroh genau umgekehrt verhielt. Somit hat die Verwendungsdauer und die tägliche Pflege der Einstreu einen großen Einfluss auf das Stallklima, der unbedingt Berücksichtigung finden sollte.
Im Liegebereich der Gruppenhaltung betrug die mittlere Kohlenstoffdioxid-Konzentration bei dem Weizenstroh 898,2 ± 285,3 mg/m², bei den Strohpellets 1211,5 ± 322,6 mg/m³ und bei den Holzspänen 947,1 ± 336,7 mg/m³

Hinsichtlich des Einflusses des Entmistungsintervalls in der Einzelhaltung wurden folgende Ergebnisse ermittelt: Die höchsten Werte wurden gemessen, wenn der Stall täglich komplett ausgemistet wurde (Variante 2, LSM = 2,17 ± 0,02 mg/m³). Die geringsten Werte wurden ermittelt, wenn täglich nur der Kot entfernt wurde (Variante 3, LSM = 1,62 ± 0,04 mg/m³). Die zweiwöchige Mistmatratze (Variante 1) verursachte mittlere Ammoniakwerte von 1,93 ± 0,03 mg/m³. Die mittleren Ammoniakkonzentrationen unterschieden sich signifikant voneinander in allen drei Entmistungssystemen ($P < 0,05$).
Bei der zweiwöchigen Mistmatratze (Variante 1) wurden die signifikant geringsten mittleren Partikelkonzentrationen (LSM = 124,4 ± 13,4 µg/m³) im Vergleich zu Variante 2 (tägliches Ausmisten, LSM = 248,9 ± 10,7 µg/m³) und zu Variante 3 (tägliche Kotentfernung, LSM = 281,7 ± 16,5 µg/m³) erfasst.
Bei einer Mistmatratze über sechs Wochen wurden mittlere Ammoniakkonzentrationen von 2,33 ± 0,33 mg/m³ festgestellt. Die Wochenmittelwerte von Ammoniak stiegen bis zur vierten Woche leicht an, dann blieben die Werte bis zur sechsten Woche auf einem konstanten Niveau. Ein ähnlicher Verlauf wurde bei Lachgas und Kohlenstoffdioxid beobachtet.
Die Wochenmittelwerte der Partikelkonzentrationen (PM 10) schwankten zwischen ca. 90 und 140 µg/m³. Generell wurde jedoch im Verlauf von Woche 1 zu Woche 6 eine leicht sinkende Tendenz beobachtet.

Hinsichtlich des Abgasverhaltens (Ammoniak, Methan, Lachgas, Kohlenstoffdioxid) aus Mistmatratzen wurden keine signifikanten Unterschieden zwischen Weizen-, Roggen- und Gerstenstroh festgestellt.
In einer zusätzlichen Versuchsvariante wurde in der Gruppenhaltung der Einfluss von Folienvorhängen vor den Ausgängen zum Auslauf untersucht. Die Entfernung der Vorhänge führte einerseits zu einer hochsignifikanten Verringerung der mittleren Ammoniakkonzentrationen um 41 %, aber andererseits zu einem signifikanten Anstieg der Partikelkonzentration (PM 10) im Stallbereich um das zwei- bis dreifache. Die Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas verringerten sich ebenfalls hochsignifikant.

Die analysierten Parameter in dieser Untersuchung, vorwiegend die Gas- und Partikelfreisetzung aus verschiedenen Einstreumaterialien, spielen eine wichtige Rolle hinsichtlich der Wahl der Einstreu. Abschließend bleibt jedoch festzuhalten, dass weitere Faktoren wie das Pferdeverhalten (Beschäftigung, Wohlbefinden, Abkotungs- und Urinierverhalten), die Fütterung der Pferde (Futterqualität, Raufuttergrundlage), die Arbeitswirtschaft (inkl. Kosten und Lagerung) und die Entsorgungsthematik einen bedeutenden Einfluss auf die Einstreuwahl ausüben.

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen

Ursprünglich geplante Ziele:

a) In einem Technikumversuch sollten folgende Einstreumaterialien unter standardisierten Bedingungen miteinander analysiert und verglichen werden: Weizenstroh, entstaubte Späne, Hanf, Leinenstroh, Strohpellets und Papierschnitzel.
b) In Versuchsteil 1 sollten ausgewählte Einstreuarten aus dem Technikumversuch unter Praxisbedingungen in Einzelboxen (Vechta) untersucht werden. Ziel war es, den Einfluss des Einstreumaterials auf die Partikel- und Gasentwicklungen zu ermitteln.
c) Aufgabe in Versuchsteil 2 war es, den Einfluss des Entmistungsintervalls auf Partikel- und Gasentwicklungen zu analysieren.
d) In Versuchsteil 3 sollte unter standardisierten Bedingungen das Abgasverhalten von Mistmatratzen in Abhängigkeit von der Getreideart in speziell angefertigten Kompostreaktoren simuliert werden.
e) In einem Vorversuch in der Einzelboxenhaltung der Versuchsanlage Braunschweig sollte das Abgasverhalten von drei Einstreumaterialien in weitgehend geschlossenen Einzelboxen analysiert werden.
f) Ausgewählte Einstreuarten aus dem Technikumversuch sollten unter Praxisbedingungen in einer Gruppen-Auslaufhaltung (Hauptversuch Braunschweig) untersucht werden. Ziel war es, analog zu den Versuchen in Vechta, den Einfluss des Einstreumaterials auf die Partikel- und Gasentwicklungen zu ermitteln.
g) Während des Hauptversuches sollte zugleich der Einfluss eines Folienvorhangs vor den Zugängen zum Liegebereich der Gruppenhaltung untersucht werden.
h) Praxisempfehlungen zu einer für Pferde optimalen Haltungsumwelt sollen formuliert werden.

Tatsächlich erreichte Ziele und Hinweise auf weiterführende Fragestellungen:

a) Der Technikumversuch wurde plangemäß durchgeführt. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurden die Einstreumaterialien Weizenstroh, entstaubte Späne und Strohpellets für die Praxisversuche ausgewählt.

b) In Versuchsteil 1 konnten umfassende Ergebnisse hinsichtlich der Gas- und Partikelkonzentrationen ermittelt werden.
   In einer weiterführenden Untersuchung wäre es sinnvoll, weitere alternative Einstreumaterialien in Einzelboxenhaltungen zu untersuchen, da auf dem Markt viele verschiedene Materialien angeboten und in der Praxis auch genutzt werden.

c) In Versuchsteil 2 konnte der Einfluss des Entmistungsintervalls auf Partikel- und Gasentwicklungen erfolgreich analysiert werden. Eine Untersuchung der Mistmatratze könnte in einer weiterführenden Untersuchung über einen längeren Zeitraum erfolgen, um zu untersuchen, wie lange eine Matratze maximal in einer Box genutzt werden kann. In der Praxis finden sich sehr unterschiedliche Handhabungen dieser Haltungsalternative.

d) Versuchsteil 3 konnte wie geplant durchgeführt werden. Hinsichtlich des Abgasverhaltens von Mistmatratzen in Abhängigkeit von der Getreideart konnten keine signifikanten Unterschiede dargestellt werden.

e) Das Abgasverhalten von drei Einstreumaterialien in weitgehend geschlossenen Einzelboxen konnte planmäßig analysiert werden. Zudem konnten sich die Mitarbeiter mit den Eigenschaften und der Handhabung der Einstreumaterialien vertraut machen. Für den Hauptversuch konnte daher die Vorgehensweise bei der Einstreupflege weitgehend abgestimmt und standardisiert werden.

f) In einer Gruppen-Auslaufhaltung (Hauptversuch Braunschweig) konnten umfangreiche Ergebnisse bezüglich der Einflüsse der Einstreumaterialien auf die Partikel- und Gasentwicklungen ermittelt werden.
   In einem weiterführenden Versuch sollten die Einstreuarten über einen längeren Zeitraum genutzt werden, da in der hiesigen Untersuchung starke Veränderungen innerhalb der siebenwöchigen Versuchsphase auffielen. Weitere Haltungssysteme (z. B. Gruppen-Laufstall, Einzel-Auslaufhaltung) und andere Einstreumaterialien wären ebenfalls von großem Interesse.

g) Vor Beginn des Hauptversuchs haben Gasmessungen ohne Vorhandensein der Folienvorhänge vor den Stallausgängen gezeigt, dass nur sehr niedrige Gaskonzentrationen messbar waren. Um aber die einzelnen Einstreumaterialien genauer vergleichen zu können, wurde entschieden, die Folienvorhänge durchgehend hängen zu lassen. Nach Abschluss des Hauptversuchs wurde aber eine zweiwöchige Versuchsphase angeschlossen, in der das Stallklima nach Entfernung der Vorhänge analysiert wurde. Dabei traten hochsignifikante Unterschiede auf.

h) Praxisempfehlungen wurden formuliert und sollen durch weitere Publikationen den Pferdehaltern zugänglich gemacht werden.

6 Literaturverzeichnis

Airaksinen, S.; Heinonen-Tanski, H.; Heiskanen, M.L. (2001): Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. Journal of Equine Veterinary Science, 21(3), 125-130.

Arndt, S. (2001): Vergleich der Pferdehaltung in bäuerlich-ländlichen Kleinbetrieben mit derjenigen in hauptberuflichen, städtischen Pferdewirtschaftsbetrieben im Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang mit Atemwegserkrankungen. Diss., Justus-Liebig-Universität Gießen.

Art, T.; McGorum, B.C.; Lekeux, P. (2002): Environmental Control of Respiratory Disease. In: Lekeux, P. (Ed.): Equine Respiratory Diseases, International Veterinary Information Service, New York.

Bachhausen, I. (2008): Einfluss verschiedener Einstreumaterialien auf das Verhalten von Pferden in Boxenhaltung. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.

Bakemeier, H.: Gössling, H.; Krabetz, R. (1974): Ammoniak. In: Bartholomé, E.; Biekert, E.; Hellman, H. Ley, H.: Weigert, W. M.; Weise, E. (Hrsg.) Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, Band 7, 444-507. Verlag Chemie, Weinheim-New York.

Banhazi, T.; Cargill, C.; Marr, G.; Kefford, A.; Moore, K.; Koch, S.; Payne, H.; Nicholls, N. (2000): Relating airborne pollution to housing and management factors. Final Report to the Pig Research and Development Corporation, Canberra, Australia.

Banhazi, T.; Woodward, R.; Hynd, P. (2002): Improving air quality in bedded systems. Animal Production Australia, 24, 375.

Bartz, J. (1992): Staubmessungen im direkten Einatmungsbereich eines Pferdes mit Hilfe eines „personal samplers“. Diss., Tierärztl. Hochsch. Hannover.

Beck, J. (2005): Pferdemist – Problemlösung durch mechanische Aufbereitung, Kompostierung und thermische Verwertung. Landtechnik, 1, 40-41.

Beyer, Sabine (1998): Konstruktion und Überprüfung eines Bewertungskonzeptes für pferdehaltende Betriebe unter dem Aspekt der Tiergerechtheit. Diss., Gießen.

BMVEL (1995): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. www.verbraucherministerium.de (29.07.2004).

Breining, F. (1998): Einstreu in der Pferdehaltung und Lagerung von Pferdemist. In: Fachgespräch Pferdehaltung, 25. November 1998, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und ländliches Bauwesen Baden-Württemberg e.V., S. 49-53.

Cargill, C. (1999): Reducing dust in horse stables and transporters. Rural Industries Research and Development Corporation. Publication No. 99/44. www.rirdc.gov.au.

Chrichlow, E.C.; Yoshida, K.; Wallace, K. (1980): Dust levels in riding stables. Equine Veterinary Journal, 12, 185-188.

Clarke, A.F. (1987): A review of environmental and host factors in relation to equine respiratory disease. Equine Veterinary Journal, 19 (5), 435-441.

Clarke, A.F. (1987a): Air hygiene and equine respiratory disease. Equine Practice, 196-203.

Curtis, L.; Raymond, S.; Clarke, A. (1996): Dust and ammonia in horse stalls with different ventilation rates and bedding. Aerobiologia, 12, 239-247.

Deegen, E. (1984): Partikelinhalation bei Pferden mit chronisch obstruktiver Bronchitis. In: Dust in animal houses. Symposium of the International Society of Animal Hygiene, Hannover, 13.-14. March 1984, 114-119, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (Hrsg.)

Deutsche Reiterliche Vereinigung/FN Warendorf: Jahresbericht 2003. www.fn-dokr.de/isy.net/servlet/broadcast/jahresbericht_fakten.html (30.8.2004).

DIN 18910 (1992): Wärmeschutz geschlossener Ställe. Wärmedämmung und Lüftung. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin.

Dixon, P.M.; Railton, D.I.; McGorum, B.C. (1995): Equine pulmonary disease: a case control study of 300 referred cases Part 2: Details of animals and of historical and clinical findings. Equine Veterinary Journal, 27, 422-427.

Dunlea, A.P. and Dodd, V.A. (1999): A mechanical ventilation system for horse stables to control respirable dust. Irish Veterinary Journal, 52 (5), 257-262.

Korries, O. (2003): Untersuchung pferdehaltender Betriebe in Niedersachsen. Bewertung unter dem Aspekt der Tiergerechtheit, bei Trennung in verschiedene Nutzungsgruppen und Beachtung haltungsbedingter Schäden. Diss., Tierärztl. Hochsch. Hannover.

Ferro, E.; Ferrucci, F.; Salimei, E.; Antonin, M.; Codazza, D.; Caniatti, M. (2000): Relationship between the conditions of lower airways in healthy horses, environmental factors and air quality in stables. Pferdeheilkunde, 16 (6), 579-586.

Fleming, K. (2004): Experimentelle Untersuchungen zur Luftqualität im Pferdestall mit Boxenhaltung. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.

Fleming, K.; Hessel E.F.; Van den Weghe H.F.A. (2008): Evaluation of factors influencing the generation of ammonia in different bedding materials used for horse keeping. Journal of Equine Veterinary Science, 28(4), 223-231.

Gerber, V.; Robinson, N.E.; Luethi, S.; Marti, E.; Wampfler, B.; Straub, R. (2003): Airway inflammation and mucus in two age groups of asymptomatic well-performing sport horses. Equine Veterinary Journal, 35 (5), 491-495.

Haake, B. (1992): Felduntersuchungen zum Einfluss von Einstreu und Futterart auf die Luftqualität in freigelüfteten Boxen in einem Reitstall. Diss., Tierärztl. Hochsch. Hannover.

Häußermann, A.; Beck, J.; Jungbluth, T. (2002) Einstreumaterialien in der Pferdehaltung. Landtechnik, 57, 50-51.

Hartung, J. (1990): Wirkungen von Ammoniak auf Nutztiere. In: KTBL (Hrsg.) Ammoniak in der Umwelt - Kreisläufe, Wirkungen, Minderung, S. 14.1-11. Gemeinsames Symposium 10.-12. Oktober 1990, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.

Hilliger, H.G. (1990): Stallgebäude, Stallluft und Lüftung. Enke-Verlag, Stuttgart.

Hoeksma, P., Verdoes, N., Oosthoek, J und Voermans, J.A.M. (1992): Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. Livestock Production Science, 31, 121-132.

Hörmann, A. (2006): Experimentelle Untersuchungen zu Gas- und Schwebstaubkonzentrationen im Pferdestall mit Boxenhaltung unter besonderer Berücksichtigung des Pferdeverhaltens und der Stallarbeit. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.

Holcombe, S.J.; Jackson, C.; Gerber, V.; Jefcoat, A.; Berney, C.; Eberhardt, S.; Robinson, N.E. (2001): Stabling is associated with airway inflammation in young Arabian horses. Equine Veterinary Journal, 33 (3), 244-249.

Jaggy, U. (1996): Einfluss des Stallklimas, insbesondere von Heustaub, auf die Lungengesundheit von Pferden - Eine Feldstudie. Diss., Tierärztl. Hochsch. Hannover.

Jones, R.D.; McGreevy, P.D.; Robertson, A.; Clarke, A.F.; Wathes, C.M. (1987): Survey of the design of racehorse stables in the south west of England. Equine Veterinary Journal, 19, 454-457.

Katayama, Y.; Oikawa, M.; Yoshihara, T.; Kuwano, A.; Hobo, S. (1995): Clinicopathological effects of atmospheric ammonia exposure on horses. Journal of Equine Science, 6 (3), 99-104.

Kirschvink, N.; Di silvestro, F.; Sbai, I.; Vandenput, S.; Art, T.; Roberts, C.; Lekeux, P. (2002): The use of cardboard bedding material as part of an environmental control regime for heaves-affected horses: In vitro assessment of airborne dust and aeroallergen concentration and in vivo effects on lung function. The Veterinary Journal, 163(3), 319-325.

Kotimaa, M.H.; Oksanen, E.F.; Koskela, P. (1991): Feeding and bedding materials as source of microbial exposure an dairy farms. Scand J Work Environ Health, 17, 117-122.

Lawrence, L.M.; Bump, K.D.; McLaren, D.G. (1988): Aerial ammonia levels in horse stalls. Equine Practice, 10 (10), 20-23.

Malikides, N.; Hodgson, J. (2003): Inflammatory Airway Disease in young thoroughbred Racehorses. Rural Industries Research and Development Corporation, Publication No 03/089. www.rirdc.gov.au (30.7.2004).

Marten, J. und Jaep, A. (1991): Pensionspferdehaltung im landwirtschaftlichen Betrieb. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.

McGorum, B.C.; Ellison, J.; Cullen, R.T. (1998): Total and respirable airborne dust endotoxin concentrations in three equine management systems. Equine Veterinary Journal, 30 (5), 430-434.

Meyer, H. und Coenen, M. (2002): Pferdefütterung. 4.Aufl., Parey Buchverlag, Berlin, S. 92-115.

Monteny, G.J. (2000): Modelling of Ammonia Emissions from Dairy Cow Houses. Ph.D.Thesis, Univ. Wageningen, Netherlands.

Morawetz, E. (2000): Alles über Einstreu, Pferderevue (Band 4), Seite 40-44. URL: http://www.pferderevue.at/index.php?module=prnews&func=artshow&art_id=399727#top (27.04.2006).

Müller, H.-J. (1993): Messung von Geruchsstoff- und Schadgasemissionen aus der Tierhaltung. In: Technik und Verfahren in der Tierhaltung Institut für Agrartechnik e.V. (Hrsg.) Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 3, 123-148.

Neubert, U. (2001): Pensionspferdeställe – Funktionalität und Kundenwünsche zusammenbringen. In: Pferdehaltung – Zucht, Aufzucht und Pensionspferde. Hrsg.: Bauförderung Landwirtschaft e.V., Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup. S. 100-109.

Ni, J. (1998): Emission of Carbon Dioxide and Ammonia from Mechanically Ventilated Pig House. PhD-Thesis Nr. 338, Katholieke Universiteit Leuven, Belgien.

Oldenburg, J. (1989): Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift 333, Darmstadt.

Pearson, C.C.; Sharples, T.J. (1995): Airbone dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. Journal of agricultural Engineering Research, 60, 145-154.

Pedersen, G.R.; Søndergaard, E.; Ladewig, J. (2004): The influence of bedding on the time horse spend recumbent, Journal of Equine Veterinary Science, 24, 153-158.

Petersen, S.; Tölle, K.H.; Blobel, KJ.; Krieter, J. (2004): Bewertung pferdehaltender Betriebe in Schleswig-Holstein. In: Tagungsband Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V. (DGfZ) und Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaft (GfT) am 29./30. September 2004 in Rostock.

Piotrowski, J. (1992): Forschungsergebnisse und Erkenntnisse zur tiergerechten Pferdehaltung. Züchtungskunde, 64, 222-235.

Pirkelmann, H. (1991): Pferdehaltung. Ulmer Verlag, Münster.

Pratt, S.E.; Lawrence, L.M.; Barnes, T.; Powell, D.; Warren, L.K. (2000): Measurement of ammonia concentrations in horse stalls. Journal of Equine Veterinary Science, 20 (3), 197-200.

Sindt, P. (2001): Futter- und Einstreulager, möglichst auf kurzen Wegen erreichbar. In: Pferdehaltung – Zucht, Aufzucht und Pensionspferde. Hrsg.: Bauförderung Landwirtschaft e.V., Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup. S. 113-116.

Sonnenberg, H. (2002): Mechanische Aufbereitung von Einstreumaterial für die Tierhaltung zur Verbesserung der Qualität. Diss. Fachbereich Agrartechnik, Universität Kassel/Witzenhausen, FAL Braunschweig.

Szabo, E.; Schäfer, I.; Büscher, W. (2004): Staubfreisetzung von Einstreumaterialien in der Pferdehaltung. Landtechnik, 59, 336-337.

Tanner, M.K.; Swinker, A.M.; Traub-Dargatz, J.L.; Stiffler, L.A.; McCue, P.M.; Vanderwall, D.K.; Johnson, D.E.; Vap, L.M. (1998): Respiratory and environmental effects of recycled phone book paper versus sawdust as bedding for horses. Journal of Equine Veterinary Science, 18(7), 468-476.

Vandenput, S.; Istasse, L.; Nicks, B.; Lekeux, P. (1997): Airborne dust and aeroallergen concentrations in different sources of feed and bedding for horses. The Veterinary Quaterly, 19 (4), 154-158.

Vandenput, S.; Votion, D.; Duvivier, D.H.; Van Erck, E.; Anciaux, N.; Art, T.; Lekeux, P. (1998): Effect of set stabled environmental control on pulmonary function and airway reactivity of COPD affected horses. The Veterinary Journal, 155, 189-195.

Vissienon, T.; Bergmann, A.; Hennig, T. (1999): Potentielle Schadfaktoren in Pferdeställen – Eine Übersicht. Amtstierärztliche Dienst- und Lebensmittelkontrolle, 6 (IV), 311-314.

Wackenhut, K.S. (1994): Untersuchungen zur Haltung von Hochleistungssportpferden unter Berücksichtigung der Richtlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Diss., Tierärztliche Fakultät Ludwigs-Maximilians-Universität München.

Ward, P.L.; Wohlt, J.E.; Katz, S.E. (2001): Chemical, physical and environmental properties of pelleted newspaper compared to wheat straw and wood shavings as bedding for horses. Journal of Animal Science, 79, 1359-1369.

Webster, A.J.F.; Clarke, A.F.; Madelin, T.M.; Wathes, C.M. (1987): Air hygiene in stables 1: Effects of stable design, ventilation and management on the concentration of respirable dust. Equine Veterinary Journal, 19(5), 448-453.

Wilson, M.R.; Takov, R.; Friendship, R.M.; Martin, S.W.; MacMillan, I.; Hacker, R.R.; Swaminathan, S. (1986): Prevalence of respiratory diseases and their association with growth rate and space in randomly selected swine herds. Canadian Journal of Veterinarian Research, 50, 209-216.

Woods, P.S.; Robinson, N.E.; Swanson, M.C.; Reed, C.E.; Broadstone, R.V.; Derksen, F.J. (1993): Airborne dust and aeroallergen concentration in a horse stable under two different management systems. Equine Veterinary Journal, 25 (3), 172-174.

Zeitler, M. (1986): Staub-, Keim- und Schadgasgehalt in der Pferdestallluft, unter Berücksichtigung der FLH (Farmer`s lung hay) - Antigene. Tierärztliche Umschau, 41, 839-845.

Zeitler-Feicht, M. H. (1996): Mindestanforderungen an die Gruppenhaltung von Pferden unter Tierschutzgesichtspunkten, Tierärztliche Umschau, 51, 611-614.

Zeitler-Feicht, M.H.; Bohnet, W.; Düe, M.; Esser, E.; Franzky, A.; Pollmann, U. (2004): Positionspapier zu den Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V., Bramsche.

7 Publikationen

Zeitschriftenaufsätze (peer-reviewed)

1. Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. 2008. Evaluation of factors influencing the generation of ammonia in different bedding materials used for horse keeping. Journal of Equine Veterinary Science, 28 (4); 223-231.

2. Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. 2008. Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping. Journal of Equine Veterinary Science 2008, 28 (7); 408-418.

3. Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. 2008. Gas and particle concentrations in horse stables as a function of the bedding, as well as the mucking interval. submitted: Journal of Animal Science, Oktober 2008.

Tagungsbeiträge

1. Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. Airborne dust and ammonia formation from bedding materials in horse stables. CIGR World Congress 2006, Bonn, Germany, September 3-7, 2006.

2. Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. Generierung von luftgetragenen Partikeln aus unterschiedlichen Einstreumaterialien für die Pferdehaltung. Vortragstagung der DGfZ und GfT, Hohenheim, 26./27. September 2007.

3. Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. Evaluierung der Einflussfaktoren auf die Generierung von Ammoniak in unterschiedlichen Einstreusubstraten für die Pferdehaltung. 8. Tagung: Bau, Technik und Umwelt, Bonn, 8.-10. Oktober 2007. KTBL (Hrsg), ISBN 978-3-939371-41-0.

Geplante Veröffentlichungen

1. Hoffmann, G.; F.-J. Bockisch. Posterbeitrag auf der internationalen Messe Euro-Tier in Hannover, 11.–14. November 2008.

2. Van den Weghe, H. F. A. Generierung von luftgetragenen Partikeln und Gasen aus verschienenen Einstreumaterialien, Göttinger Pferdetage, 25.-26. Februar 2009.

3. Hoffmann, G. Einfluss verschiedener Einstreumaterialien auf luftgetragene Partikel und Gase bei Pferden in Gruppenhaltung, Göttinger Pferdetage, 25.-26. Februar 2009.

4. Hessel, E.: Einfluss des Entmistungsregimes bei Boxenhaltung auf die Generierung von luftgetragenen Partikeln und Gasen, Göttinger Pferdetage, 25.-26. Februar 2009.

5. Artikel in Pferdefachzeitschriften (z.B. ReiterRevue, Cavallo, Freizeit im Sattel).