

Aus dem Department für Nutztierwissenschaften
-Abteilung Verfahrenstechnik in der Veredelungswirtschaft-
der Georg-August-Universität Göttingen
Fakultät für Agrarwissenschaften

**Analyse und Bewertung physikalisch-chemischer und
stofflicher Parameter auf die Freisetzung von biogenen Gasen und
luftgetragenen Partikeln aus Substraten bei der Haltung von
Warmblutpferden in eingestreuten Einzelboxen**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
an der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Kathrin Fleming
geboren in Löningen

Göttingen, November 2008

D 7

Referentin
Korreferent

PD Dr. E. Hessel
Prof. Dr. Dr. M. Gauly

Tag der mündlichen Prüfung: 6. November 2008

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Stand des Wissens	3
2.1 Allgemeines zur Pferdehaltung	3
2.2 Kriterien zur Bewertung der Stallluftqualität	4
2.2.1 Gase	5
2.2.1.1 Ammoniak	5
2.2.1.2 Kohlenstoffdioxid	10
2.2.1.3 Methan	12
2.2.1.4 Lachgas	13
2.2.2 Luftgetragene Partikel	15
2.2.2.1 Physikalische Charakterisierung	16
2.2.2.2 Klassifizierung von Partikelkonzentrationen	18
2.2.2.3 Grenzwerte und Auswirkungen auf die Pferdegesundheit	22
2.2.3 Lufttemperatur und relative Luftfeuchte	23
2.2.4 Luftbewegung/Lüftungsintensität	24
2.3 Einstreumaterialien in der Pferdehaltung	25
2.3.1 Anforderungen an die Einstreu	25
2.3.2 Eigenschaften verschiedener Einstreumaterialien	27
2.3.2.1 Getreidestroh	27
2.3.2.2 Getreidestrohpellets	28
2.3.2.3 Holzprodukte	28
2.3.2.4 Hanf- /Leineneinstreu	30
2.3.2.5 Papier	30
2.3.3 Kosten verschiedener Einstreumaterialien	31
2.3.4 Einstreuverfahren/Einstreumanagement	32
3 Beiträge mit Begutachtung	35
3.1 Evaluation of factors influencing the generation of ammonia in different bedding materials used for horse keeping	35

3.2	Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping	45
3.3	Gas and particle concentrations in horse stables with individual boxes as a function of the bedding material and the mucking-out regime.....	57
4	Diskussion.....	92
4.1	Pferdeverhalten.....	92
4.2	Bereitstellungskosten.....	94
4.3	Entsorgung.....	97
5	Fazit.....	100
6	Zusammenfassung.....	102
7	Summary.....	105
8	Literaturverzeichnis.....	108

Abkürzungsverzeichnis

ca.	= circa
C/N – Verhältnis	= Kohlenstoff/Stickstoff – Verhältnis
CH ₄	= Methan
CO ₂	= Kohlenstoffdioxid
CO(NH ₂) ₂	= Harnstoff
d	= Day
d _{ae}	= aerodynamischer Durchmesser
d.h.	= das heißt
diam.	= Diameter
dt	= Dezitonne
et al.	= und andere
g	= Gramm
GLM	= General Linear Model
h	= Hour
H ₂ O	= Wasser
H ₂	= molekularer Wasserstoff
kg	= Kilogramm
LSM	= Least Square Means
L	= Liter
m ³	= Kubikmeter
m ²	= Quadratmeter
mg	= Milligramm
m/s	= Meter pro Sekunde
mV	= Millivolt
n	= Umfang der Stichprobe
NH ₃	= Ammoniak
NH ₃ (f)	= Ammoniak (flüssige Phase)
NH ₃ (g)	= Ammoniak (gasförmige Phase)
NH ₄ ⁺	= Ammonium-Ion
N ₂ O	= Distickstoffoxid (Lachgas)
NH ₂ OH	= Hydroxylamin
NO ₂ ⁻	= Nitrit-Ion

NO_3^-	= Nitrat-Ion
N_2	= molekularer Stickstoff
O_2	= Sauerstoff
OH^-	= Hydroxid-Ion
P	= Signifikanzniveau
PM	= particulate matter
p	= Dichte
ppm	= parts per million
R^2	= Bestimmtheitsmaß
RAO	= Recurrent Airway Obstruction
REG	= Regression
REM	= Rapid Eye Movement
s	= Standardabweichung
SD	= Standardabweichung/standard deviation
SE	= Standardfehler/standard error
t	= Temperatur
u.a.	= unter anderem
Vol %	= Volumenprozent
Wk	= Week
\bar{x}	= arithmetischer Mittelwert
z.B.	= zum Beispiel
€	= Euro
%	= Prozent
°C	= Grad Celsius
μg	= Mikrogramm
μm	= Mikrometer

1 Einleitung und Zielsetzung

Seit mehr als 5000 Jahren steht das Pferd unter dem züchterischen Einfluss des Menschen. Dennoch haben sich grundlegende Ansprüche des Tieres an die Umgebung kaum verändert. Als ursprüngliches Steppentier ist das Pferd an ständigen Auslauf, an genügend Frischluft und an Sozialkontakt mit Artgenossen gewöhnt. Es besitzt ein hervorragendes Thermoregulationsvermögen und verfügt über ein höchst effizientes, aber auch sehr anspruchsvolles Atmungssystem.

Die Domestikation des Pferdes und vor allem seine Nutzung als Sportpferd sind mit einem Stallaufenthalt, insbesondere mit der Haltung in Einzelboxen, eng verbunden (KORRIES, 2003). Diese Haltung ermöglicht eine individuelle Fütterung und Betreuung der Pferde, eine ständige Verfügbarkeit und eine einfache Tierkontrolle sowie einen Schutz vor gegenseitigen Verletzungen. 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. Voraussetzung dafür ist die Erhaltung der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit des Pferdes (WILSON et al., 1986).

Für die Gesundheit des Pferdes spielt die Qualität der Stallluft, die im Wesentlichen durch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Gas- und Staubgehalt und der Intensität der Luftbewegung im Stall charakterisiert wird, eine wichtige Rolle, wobei der Atmungsapparat der Pferde besonders empfindlich auf Staubpartikel und einige biogene Gase reagiert (HOLCOMBE et al., 2001; MALIKIDES und HODGSON, 2003). Vor allem die Einzelhaltung in Innenboxen wird, bedingt durch suboptimale Luftverhältnisse, häufig für viele Atemwegserkrankungen bei Pferden verantwortlich gemacht (GERBER et al., 2003).

Neben weiteren Faktoren hat die Einstreuart, durch materialspezifische Unterschiede hinsichtlich Partikelfreisetzung im Stall, Feuchtigkeitsaufnahme und Ammoniakbindung, einen großen Einfluss auf die klimatischen Hal-

tungsbedingungen (BANHAZI et al., 2000; DUNLEA und DODD, 1999; WOODS et al., 1993).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zum einen unterschiedliche Einstreumaterialien hinsichtlich ihrer Eignung als Einstreu für Pferde unter standardisierten Bedingungen in einem Technikumversuch zu analysieren und miteinander zu vergleichen. Es gilt herauszufinden, welche Einstreuvarianten sich am besten für eine Verbesserung des Stallklimas und eine Reduzierung der gas- und partikelförmigen Emissionen eignen, um gute Voraussetzungen für eine optimale Haltungsumwelt der Pferde zu schaffen.

Um einen umfassenden Effekt auf das gesamte Stallklima bewerten zu können, wurden ausgewählte Materialien (Weizenstroh, Strohpellets, entstaubte Späne) außerdem in Praxisversuchen eingesetzt und analysiert. Darüber hinaus wurde der Einfluss des Entmistungsintervalls auf die Partikel- und Gasentwicklung im Pferdestall mit Boxenhaltung untersucht. Die Auswirkungen einer mehrwöchigen Strohmistmatratze auf die Luftqualität im Pferdestall wurden im Vergleich zum täglichen Misten analysiert und bewertet.

2 Stand des Wissens

2.1 Allgemeines zur Pferdehaltung

In der Pferdehaltung ist zwischen zahlreichen Aufstallungsformen zu unterscheiden (GRAUVOGL et al., 1997; Abb. 1). 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).

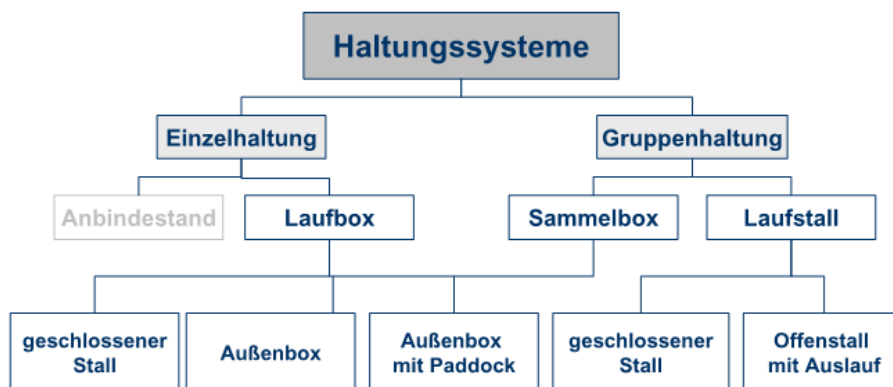


Abbildung 1: Aufstallungssysteme für die Pferdehaltung (GRAUVOGL et al., 1997)

Die Haltung von Sport- und Freizeitpferden ist mit einem temporären Stallaufenthalt, insbesondere in Einzelboxen, eng verbunden. Untersuchungen zeigen, dass gerade die praxisübliche Stallhaltung durch unzureichende Luftqualitäten für viele Atemwegserkrankungen verantwortlich ist (GERBER et

al., 2003; VANDENPUT et al., 1998). Nur durch gute Luftverhältnisse ist eine Pferdehaltung als positiv zu bewerten (BLUNDEN et al., 1994).

Derzeit leben mehr als eine Million Pferde in Deutschland (DEUTSCHE REITERLICHE VEREINIGUNG, 2003). Einige Studien bestätigen, dass der größte Anteil, sowohl im Sport- als auch im Zucht- und Freizeitbereich, in Innenboxen gehalten wird. Nach PIOTROWSKI (1992) ist die Einzelhaltung in Innenboxen wärmegeämmter Ställe die meist verbreitete Aufstallungsform von Pferden in Deutschland. 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. Auch WACKENHUT (1994) kommt bei ihren Analysen zu dem Ergebnis, dass ca. 90 % der Pferde in den 50 von ihr untersuchten Reitsportanlagen einzeln in Innenboxen gehalten werden. Ihre Untersuchungen bezogen sich auf Anlagen, die sich über das gesamte Gebiet der „alten“ Bundesländer verteilt haben.

2.2 Kriterien zur Bewertung der Stallluftqualität

In einer Zeit, in der das Pferd nicht mehr als Arbeitstier, sondern fast ausschließlich als Sport- und Luxusgefährte dient, verbringt es bis zu 23 Stunden im Stall und ist somit einer ständigen Belastung durch gesundheitsgefährdende Partikel aus der Stallluft ausgesetzt (JUSSEN et al., 1984; WEBSTER et al., 1987). Eine mangelhafte Luftqualität im Pferdestall kann deutliche gesundheitliche Schäden des Tieres hervorrufen. Hier tritt vor allem der Atmungstrakt des Pferdes in den Vordergrund, der durch einige biogene Gase, hohe Partikelkonzentrationen und suboptimale Lufttemperatur- und Luftfeuchtwerte im Stall sehr stark belastet und geschädigt wird.

In Untersuchungen von GERBER et al. (2003) und VANDENPUT et al. (1998) wird deutlich, dass gerade die praxisübliche Stallhaltung durch unzureichen-

de Luftqualitäten für viele Atemwegserkrankungen verantwortlich ist. Besonders chronische Atemwegserkrankungen treten oft als Folge ständigen negativen Klimabedingungen im Pferdestall auf. Mitunter sind solche Erkrankungen des Respirationstraktes beim Pferd in der tierärztlichen Praxis in führender Position der zu behandelnden und klinisch relevanten Erkrankungen (BRACHER, 1987; SEIDENSTICKER, 1999).

Die Kriterien, die die Luftqualität in der Pferdehaltung bestimmen sowie bestehende Grenz- und Richtwerte, werden im Folgenden (Kapitel 2.2.1-2.2.4) ausführlich dargestellt.

Die Luft im Pferdestall setzt sich aus drei verschiedenen Faktorbereichen zusammen. Unterschieden wird zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Parametern, die sowohl einzeln als auch zusammen 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 Gase. 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).

2.2.1 Gase

Eine Vielzahl von biogenen Gasen entsteht bei der Stallhaltung von Tieren aufgrund metabolischer Umsetzungsprozesse im Tier und 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). Zu den wichtigsten Gasen, die in der Stallluft auftreten, gehören Ammoniak (NH_3), Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2) sowie die Stickstoffoxide, vor allem Lachgas (N_2O).

2.2.1.1 Ammoniak

Ammoniak ist ein farbloses, stechend riechendes, giftiges reizendes Gas, welches leicht wasserlöslich ist und schwach basisch reagiert. Es entsteht

primär durch die Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Stoffe (z.B. Kot oder Harn) (BAKEMEIER et al., 1974).

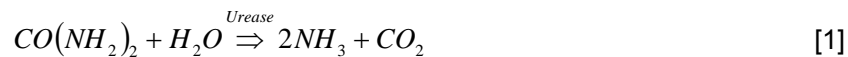
Der Stickstoff, der nach der Futteraufnahme nicht im Tierkörper verbleibt, wird mit dem Kot und Harn ausgeschieden. Die Nichtprotein-Stickstoffverbindungen werden in Form von Harnstoff mit dem Urin ausgeschieden (MONTENY, 2000). Die Menge und Art dieser Stickstoffverbindungen stellt den Ausgangspool für die Ammoniakbildung und -freisetzung dar (HARTUNG, 2002a). Annähernd 85 % des gebildeten Ammoniaks stammen dabei aus dem Harnstoff (HOEKSMAN et al., 1992), der Rest entsteht bei den Fäulnisprozessen eiweißhaltiger organischer Verbindungen unter Beteiligung ureaseaktiver Bakterien (OLDENBURG, 1989).

Die Matratzeinstreu 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 Ammoniakbildung, die zudem durch eine Durchfeuchtung mit Urin gefördert wird (LAWRENCE et al., 1988).

Folgende Prozesse sind an der Bildung und Freisetzung von Ammoniak beteiligt:

- *Ammoniakbildung durch enzymatische Harnstoffspaltung*

Das Enzym Urease katalysiert die enzymatische Bildung von Ammoniak aus Harnstoff in der flüssigen Phase (SCHLEGEL, 1992):



Bei der Harnstoffspaltung (Hydrolyse) sind eine Vielzahl von Bakterien beteiligt, welche Harnstoff als Stickstoffquelle nutzen (SCHLEGEL, 1992).

Die Hydrolyse beginnt bereits nach 30 bis 60 Minuten nach der Harnausscheidung (AARNINK et al., 1992; MONTENY und ERISMAN, 1998) und ist in der Regel bereits nach zwei Stunden vollständig abgeschlossen. Die Geschwindigkeit des Prozesses wird von der Höhe der Harnstoffkonzentration beeinflusst, die als limitierender Faktor der Ammonifizierung angesehen werden kann (HARTUNG, 2002a).

- *Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammonium und gelöstem Ammoniak*

Nach hydrolytischer Spaltung des Harnstoffs wird Stickstoff in Form von Ammoniak entweder in die Umgebungsluft emittiert oder aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit in Form von Ammonium in der Lösung gebunden (SCHLEGEL, 1992). Zwischen dem ionisierten (Ammonium, NH_4^+) und nicht-ionisierten Ammoniak liegt in der flüssigen Phase ein Dissoziationsgleichgewicht vor:



Die Höhe des relativen Anteils von Ammoniak am gesamten ammoniakalischen Stickstoff steht in positiver Abhängigkeit von der Temperatur und des pH-Wertes des Kot-Harngemisches. Die Menge an freiem Ammoniak in der Lösung ist eine Funktion des pH-Wertes und der Ionisationskonstanten K_b und K_w (LOEHR, 1974). Mit Hilfe der von LOEHR (1974) formulierten Gleichung 3 kann der Anteil nicht-ionisierten (undissoziierten) Ammoniaks in der Lösung (F) berechnet werden:

$$F = \frac{[NH_3]}{[NH_3] + [NH_4^+]} = \frac{10^{pH}}{10^{pH} + K_b/K_w} \quad [3]$$

F = Anteil nicht-ionisierten Ammoniaks [%]

K_b = Dissoziationskonstante (Basenkonstante) [$mol \times l^{-1}$]

K_w = Dissoziationskonstante des Wassers [$mol^2 \times l^{-2}$]

$K_b/K_w = [-3,4 \times \log_e (0,024 \times \theta)] \times 10^9$

θ = Temperatur [$^{\circ}C$]

Es kommt zu einer Verschiebung der NH_3 - NH_4^+ -Anteile. Das NH_3 - NH_4^+ -Gleichgewicht in einer wässrigen Lösung verschiebt sich mit steigendem pH und steigender Temperatur Richtung NH_3 . Freies NH_3 tritt erst im alkalischen Bereich bei pH-Werten über 8,0 auf. Bei pH-Werten unter 7, d.h. unter sauren Bedingungen, liegt fast der gesamte Stickstoff als Ammonium vor. In Abbildung 2 wird der Einfluss des pH-Wertes und der Temperatur auf das Dissoziationsgleichgewicht von Ammoniak und Ammonium in wässrigen Lösungen nach Gleichungen von SRINATH und LOEHR (1974) und ZHANG et al. (1994) dargestellt.

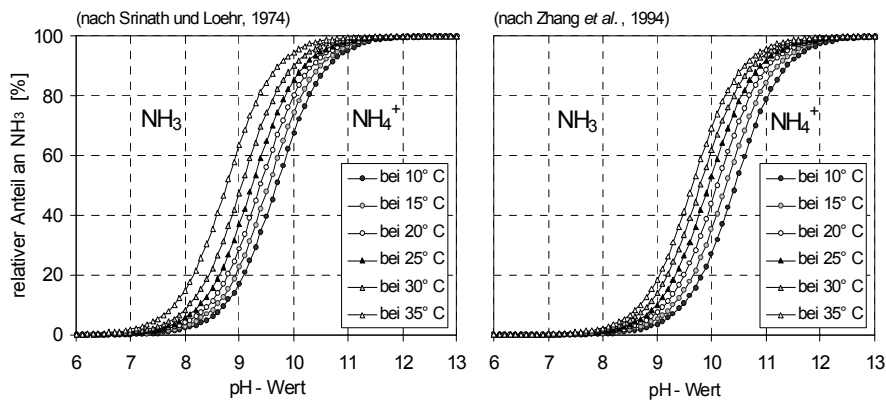


Abbildung 2: Einfluss des pH-Wertes und Temperatur auf das Dissoziationsgleichgewicht von NH_3 und NH_4 in wässrigen Lösungen (MEISSNER, 2004 nach den Gleichungen von SRINATH und LOEHR, 1974 und ZHANG et al., 1994)

- *Ammoniakfreisetzung durch den Stoffübergang von der flüssigen Phase in die Luft*

Die Freisetzung des in der flüssigen Phase durch Hydrolyse gebildeten Ammoniaks in die Luft unterliegt den Gesetzmäßigkeiten des Stoffübergangs von einer flüssigen in die gasförmige Phase. Entsprechend dem Gesetz von HENRY hängt die freigesetzte Menge an gasförmigen Ammoniak von dem temperaturabhängigen (T) Gleichgewicht der Konzentration an Ammoniak in der Flüssigkeit (f) und der Konzentration in der Gasphase (g) an der Phasengrenzschicht ab:



Die Höhe des letztendlich freigesetzten Ammoniak wird bestimmt durch die Partialdruckdifferenz des gasförmigen NH_3 an der Grenzfläche und der darüber liegenden Luft, die Größe der Phasengrenzfläche und durch den Stoffübergangskoeffizienten, der wiederum positiv mit der Luftgeschwindigkeit über der Grenzschicht und der Temperatur korreliert (MONTENEY und ERISMAN, 1998). Je nach Haltungform 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. Die Leitlinien zur Beurteilung von Pfer-

dehaltungen geben einen Richtwert für Ammoniakkonzentrationen im Pferdestall von höchstens 10 ppm an. (BMVEL, 1995).

Folgende durchschnittliche Ammoniakwerte in Pferdeställen sind u.a. in der Literatur bekannt.

Tabelle 1: Literaturübersicht (Autoren und Messverfahren) zu den herrschenden Ammoniakkonzentrationen in Pferdeställen

	Ammoniakkonzentration [ppm] ($\bar{x} \pm s$)
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	
Messverfahren	1,67 ± 0,26
	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

Die Rahmenbedingungen der Untersuchungen haben einen deutlichen Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen. Die Ammoniakkonzentrationen im Pferdestall werden u.a. vom Luftwechsel bzw. von der Lüftungsintensität im Stall sowie vom Luftvolumen pro Pferd beeinflusst. Auch die Stallhygiene (regelmäßige Einstreu, Entmistungsverfahren und -intervall) spielt eine wichtige Rolle hinsichtlich der Ammoniakwerte im Stall (CLARKE, 1987).

Ammoniak besitzt keratolytische Eigenschaften, wirkt reizend und irritierend besonders auf Schleimhäute und am Auge (HARTUNG, 1990). Beim Einatmen löst sich Ammoniak in den Schleimhäuten der oberen Luftwege. Dabei kann es zu Verätzungen kommen, wodurch der Weg für Folgeinfektionen freigelegt wird. Bei hohen Konzentrationen werden Atmung und Herzstätigkeit verändert, Blutdruck und Atemfrequenz erhöhen sich (MOTHES, 1973).

Fast alle Atemwegserkrankungen werden durch hohe Konzentrationen von Ammoniak nachteilig beeinflusst. Sowohl HARTUNG et al. (1989) als auch VAN CAENEGEM und WECHSLER (2000) sprechen von nachweislichen Schäden an Atmungsorganen bei Pferden, Schleimhautreizungen und zusätzlichen respiratorischen Symptome bei Konzentrationen ab 30 ppm. 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).

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. Auch Lungenentzündungen bei Fohlen und hohe Ammoniakkonzentrationen in Stall stehen laut LAWRENCE et al. (1988) in einem engen Zusammenhang.

2.2.1.2 Kohlenstoffdioxid

Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses, geruchloses, saures Gas, das schwerer ist als Luft und sich somit bei zu geringer Luftbewegung über dem Boden ansammeln kann (VAN CAENEGEM und WECHSLER, 2000). Es entsteht im Tier beim Abbau der Kohlenstoffkette von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen (RADE und KAMPHUES, 1999).

Die Hauptquelle für Kohlenstoffdioxid ist das Tier, denn Kohlenstoffdioxid 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).

Kohlenstoffdioxid ist kein direktes Schadgas, der CO₂- 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).

Die Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen geben einen Richtwert für Kohlenstoffdioxid im Pferdestall von höchstens 1000 ppm an (0,1 Vol %) (BMVEL, 1995).

Folgende Kohlenstoffdioxidmittelwerte im Pferdestall sind u.a. in der Literatur bekannt (Tabelle 2):

Tabelle 2: Literaturübersicht (Autoren und Messverfahren) zu den herrschenden Kohlenstoffdioxidkonzentrationen in Pferdeställen

	Kohlenstoffdioxidkonzentrationen [ppm]
	$\bar{x} \pm s$
ZEITLER (1986)	
Innenboxen mit Stroheinstreu	700 ± 200
Messverfahren	Diffusionsprüfröhrchen (Fa. Dräger), diskontinuierlich
HAAKE (1992)	
unterschiedliche	815 ± 75
Versuchsanordnungen	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 (mit Öl)	551
Messverfahren	kontinuierlich, 72 Stunden
FLEMING (2004)	
Innenboxen (Fenster) mit Stroheinstreu	830 ± 285
Messverfahren	photoakustisch, kontinuierlich; 8 Wochen
HÖRMANN (2006)	
Innenboxen mit Stroheinstreu	1231 ± 585
Messverfahren	photoakustisch, kontinuierlich; 8 Wochen

Kann in einem geschlossenen Stall keine oder nur unzureichend Frischluft zugeführt werden, findet kein erforderlicher Luftaustausch statt, der Sauerstoffgehalt der Luft sinkt rapide ab, und der Kohlenstoffdioxidgehalt nimmt zu. Ein erhöhter Kohlenstoffdioxidgehalt weist auf einen ungenügenden Luftwechsel des Stalles hin, was eine Erhöhung aller Luftschadstoffe zur Folge hat (ZEITLER-FEICHT et al.; 2004).

Die Kohlenstoffdioxidkonzentration der Außenluft beträgt nach KRUPA (2001) 370 ppm.

2.2.1.3 Methan

Methan wird durch den anaeroben Abbau von organischer Substanz gebildet und kann gleichzeitig durch Oxidationsprozesse abgebaut werden. Die natürliche Quelle des Methans ist die Vergärung kohlenstoffhaltiger organischer Substanz durch Mikroorganismen (SCHLEGEL, 1992; Abb. 3). Dabei werden die polymeren organischen Stoffe (Cellulose, Stärke, Eiweiß, Fette, u.a.) in drei Stufen – Hydrolyse, Fermentation und Acetogenese – von einer komplexen anaeroben Mikrobengemeinschaft zu CO_2 , H_2 und kurzkettigen Karbonsäuren abgebaut; daraus wird in der abschließenden vierten Stufe Methan gebildet (WELLINGER et al., 1991, HÜTHER et al., 1997).

Wichtig für die Methanbildung sind die Abwesenheit von Sauerstoff, Dunkelheit und ein Redoxpotential von -300 mV (SCHLEGEL, 1992). Begünstigt wird diese durch eine ausreichende Menge an leicht abbaubarer Substanz, Temperaturen über $3 \text{ }^\circ\text{C}$, pH-Werte zwischen 6 und 8, ein C/N-Verhältnis zwischen 10 und 16 sowie ein Wassergehalt von über 50 % (HÜTHER, 1999).

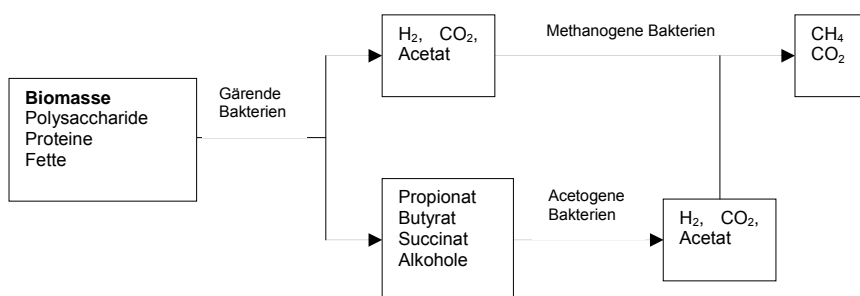


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Methanbildung (SCHLEGEL, 1992)

Methan stellt ein bedeutendes Spurengas dar, welches sowohl direkt als auch indirekt am Treibhauseffekt beteiligt ist (AHLGRIMM und DÄMMGEN, 1994). In der landwirtschaftlichen Produktion gibt es zwei Hauptquellen für Methan. Zu nennen wären hier der Reisanbau und die Viehhaltung (Pansenverdauung der Wiederkäuer). Die Höhe der Methanproduktion hängt von der Tiergröße, Tierart, dem Futterverzehr und der Futterverdaulichkeit (Futterzusammensetzung) ab (WILKERSON et al., 1994).

Die Methanquellen im Pferdestall liegen hauptsächlich in der Mistmatratze (Exkrememente). Durch die anaeroben Verhältnisse in den tiefen Schichten des Mistes entsteht ein optimaler Bereich für die Methanbildung.

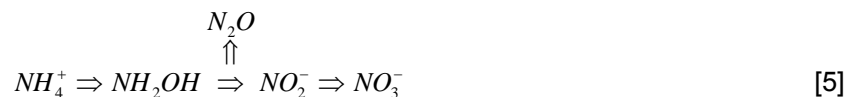
In der Literatur werden die Auswirkungen der Methangehalte auf die Gesundheit von Pferden nicht speziell behandelt. Dementsprechend werden auch keine Grenz- oder Richtwerte für Methankonzentrationen in Pferdeställen angegeben.

2.2.1.4 Lachgas

Die Lachgasbildung und -freisetzung findet fast ausschließlich durch mikrobiologische Prozesse im Stickstoffkreislauf statt. Zusammen mit anderen Stickoxiden wird Lachgas als Nebenprodukt bei unvollständigem Ablauf der Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse gebildet (SCHLEGEL, 1992).

Die Stärke der Lachgasbildung hängt von vielen Faktoren ab, die vor allem einen Einfluss auf die Lebensbedingungen der an der Nitrifikation und Denitrifikation beteiligten Mikroorganismen haben (SCHLEGEL, 1992; KNOWLES, 1982). Bei einer optimal ablaufenden Nitrifizierung wird kein Lachgas als Zwischenprodukt gebildet. Es entsteht nur bei einer geringen Verfügbarkeit an Sauerstoff als Folge der Reduktion oxidierter N-Verbindungen (SIBBESEN und LIND, 1993).

Nitrifikation:



Denitrifikation:



Bei einer hohen Ammoniumkonzentration, einem Wassergehalt von 50-60 %, einer hohen Verfügbarkeit von organischem Kohlenstoff, guter Durchlüftung, Temperaturen von 25-30 °C und einem pH-Wert von 6-8 herrschen optimale Bedingungen für die Nitrifikation.

Bei der Denitrifikation wird unter anaeroben Bedingungen Nitrat zu molekularem Stickstoff umgebaut. Hier entsteht Lachgas nur als Zwischenprodukt (KNOWLES, 1982; FOCHT und VERSTRAETE, 1977).

Die wichtigste Quelle für Lachgas im Pferdestall sind mikrobielle Umsetzungen von Stickstoffverbindungen in der Mistmatratze.

Relativ hohe Lachgaswerte werden in Tiefstreuställen und Kompostställen für Mastschweine aufgrund der Einstreu und der damit verbundenen geringen Verfügbarkeit von Sauerstoff festgestellt (MUNCH, 1995; CLEMENS und AHLGRIMM, 2001; KAISER, 1999; VAN DEN WEGHE et al., 1998). In den oberen O₂-reichen Schichten wird Ammonium nitrifiziert und später bei O₂-Mangel zu Lachgas oder molekularem Stickstoff denitrifiziert (GROENESTEIN und VAN FAASSEN, 1996).

Lachgas ist ein Spurengas, das sowohl direkt als auch indirekt am Treibhauseffekt beteiligt ist, indem es Licht im infraroten Bereich absorbiert. Es hat demnach, wie Methan, eine klimarelevante Bedeutung (BENNDORF, 2001). Die Auswirkungen von Lachgas auf die Gesundheit von Pferden werden in der Literatur ebenfalls nicht ausführlich dargestellt, Grenz- oder Richtwerte für Lachgaskonzentrationen in Pferdeställen werden nicht beschrieben.

2.2.2 Luftgetragene Partikel

Luftgetragene Partikel werden üblicherweise im Sprachgebrauch als „Staub“ bezeichnet. Viele dieser luftgetragenen Partikel sind von anorganischer Natur, aber auch sogenannte primäre Aerosolpartikel sind Bestandteile der Umgebungsluft (SEEDORF und HARTUNG, 2002).

Stäube werden als disperse Verteilungen fester Stoffe in Gasen beschrieben, die durch mechanische Prozesse oder Aufwirbelungen entstehen (MAK-Liste, DFG, 2001), damit gehören sie neben Rauchen und Nebeln zu den Aerosolen. Bioaerosole sind eine Teilmenge der Aerosole. Sie sind Aerosole biologischer Herkunft oder können Lebewesen durch Infektion, Allergie, Vergiftung oder andere Prozesse beeinflussen (COX, 1995).

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 sowie auch Aeroallergene mit sich tragen. Die unbelebten und belebten Partikel treten als gemeinsames Agglomerat in der Luft auf, denn ca. 80 % der luftgetragenen Mikroorganismen sind an Partikel angelagert und in dieser Verbindung als Cluster bezeichnet (MÜLLER et al., 1977).

Nach PEARSON und SHARPLES (1995) stellt das Futter mit einem Anteil von 80-90 % die wesentliche Quelle für Partikelentstehung in der Nutztierhaltung dar. Als weitere Quellen kommen die Einstreu (55-68 %) sowie die Tiere (2-12 %) durch Verlust von Hautschuppen, Haaren oder Federn in Frage.

In weiteren Untersuchungen, in denen speziell die Pferdehaltung betrachtet wurde, gelten auch besonders das Einstreumaterial und das Futter als die primären Entstehungsquellen für Partikelfreisetzung (ART et al., 2002; BANHAZI et al., 2000; CLARKE, 1994; RAYMOND, 1994; WEBSTER et al., 1987; WOODS et al., 1993). Ein geringer Anteil an luftgetragenen Partikeln kommt natürlicherweise von außen in den Stall hinein (DAWSON, 1990).

2.2.2.1 Physikalische Charakterisierung

Luftgetragene Partikel sind bestimmten aerodynamischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen (COX, 1995).

- Nach der BROWN'sche Bewegung steigt die Bewegungsintensität der Partikel mit steigender Temperatur und abnehmender Partikelgröße.
- Zudem ist jedes Teilchen der Gravitation ausgesetzt, welche in Abhängigkeit von Partikelmasse und -größe die Sinkgeschwindigkeit eines Teilchens bestimmt.
- Auch können Aerosolpartikel Ladungsträger sein, so daß elektrische Kräfte zwischen den Partikeln selbst oder zwischen anderen Oberflächen im Raum wirken können.
- Partikel bewegen sich durch unterschiedliche Wärmeregionen im Raum von der wärmeren zur kälteren Zone.
- Das Auftreffen elektromagnetischer Wellen auf Aerosolteilchen führt zu Reflexion, Refraktion, Absorption und Streuung. Partikel interagieren zusätzlich in bewegten Luftmassen mit strömungsdynamischen Kräften.

Je nach stofflicher Qualität wirken Partikel hygroskopisch, sie sind in der Lage, Wasserstoffmoleküle zu binden. Das Ausmaß dieser Eigenschaft wird durch die relative Luftfeuchte und die Temperatur mitbestimmt. Die relative Luftfeuchte beeinflusst außerdem die Größe, Masse, Dichte und Form der Aerosolpartikel (SEEDORF und HARTUNG, 2002).

Die in der Luft dispers verteilten Partikel unterscheiden sich sowohl in Bezug auf Oberflächenbeschaffenheit als auch in Form und Größe auf unterschiedliche Art und Weise. Stäube können faserartig gestreckt oder gekrümmt, schuppenförmig, von sphärischer Gestalt oder polymorph erscheinen. Die Form der Partikel kann eine Rolle bezüglich der Gesundheitsgefährdung spielen. Grund dafür ist: Faserartige Partikel können schädlicher sein als sphärisch geformte Partikel, vorausgesetzt die Inhaltsstoffe sind gleich (HEBER, 1995).

Die Funktionsbestimmende Größe eines Partikels ist der aerodynamische Durchmesser (d_{ae}). Als aerodynamischer Durchmesser eines Partikels beliebiger Form und Dichte wird der Durchmesser einer Kugel mit der Dichte 1 g/cm^3 bezeichnet, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit in ruhender oder laminar strömender Luft besitzt. Dieser Zusammenhang ist gültig für Partikel mit einem $d_{ae} > 0,5 \text{ }\mu\text{m}$ (DFG, 2001).

Als Näherungsformel für d_{ae} gilt:

$$d_{ae} \approx d \sqrt{pc} \quad [7]$$

wobei d der geometrische Durchmesser, p die Dichte und c einen Korrekturfaktor darstellt, der infolge der BROWN'schen Bewegung vor allem für Partikel mit einem Durchmesser $< 0,5 \text{ }\mu\text{m}$ zu berücksichtigen ist (MUHLE, 1994).

Mit dem Partikeldurchmesser sind die Sinkgeschwindigkeiten (Sedimentationsgeschwindigkeiten) und daher auch die Verweildauer der Partikel in der Luft verbunden. Die Sedimentationsgeschwindigkeit von luftgetragenen Partikeln lassen sich in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser berechnen (PEDERSEN, 1992; Abb. 4).

Da die Sinkgeschwindigkeiten Aussagen über die Depositionsrate von Partikeln erlauben, ist die Deposition auch ein Eliminationsmechanismus für eine Verringerung der Partikel in der Stallluft.

$$V_{dust} = \frac{d^2 \cdot p_{dust} \cdot C(D)}{18 \cdot \mu} \cdot g$$

V_{dust} : Sinkgeschwindigkeit, m/sec
 d : Partikeldurchmesser, m
 p_{dust} : Staubpartikeldichte, kg/m^3
 μ : Viskosität, Ns/m^2
 $C(D)$: Cunningham'slipcorrectionfactor
 g : Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/sec}$)

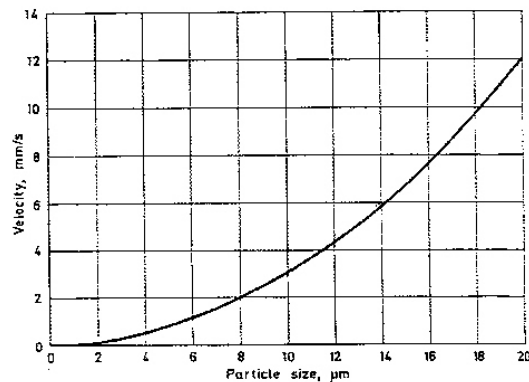


Abbildung 4: Gleichung für gravitationsbedingte Sinkgeschwindigkeit von Partikeln und graphische Darstellung der Sinkgeschwindigkeit für unterschiedliche Partikelgrößen für eine Partikeldichte von 1 kg/m^3 und einer Lufttemperatur von $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (PEDERSEN, 1992)

2.2.2.2 Klassifizierung von Partikelkonzentrationen

Die Einteilung von Partikelfractionen kann durch unterschiedliche Kriterien erfolgen. In der europäischen Norm EN 481 (1993) werden die Partikel nach der Position fraktioniert, an der sie durch den Atemvorgang im menschlichen Organismus theoretisch deponiert werden. Diese Fraktionen werden unterteilt in:

PM 100 (<100 µm)	= Einatembare Fraktion: Der Massenanteil der Partikel, der durch den Mund und die Nase eingeatmet wird.
PM 10 (<10 µm)	= Thorakale Fraktion: Der Massenanteil, der über den Kehlkopf hinaus zur Lunge vordringt.
PM 5 (<5 µm)	= Alveolengängige Fraktion: Der Massenanteil, der bis in die untersten Luftwege vordringt.

Durch Differenzierung können zwei weitere Fraktionen bestimmt werden:

PM 100 - PM 10 (100 - 10 µm) = Extrathorakale Fraktion: Der Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der nicht über den Kehlkopf hinaus vordringt.

PM 10 - PM 5 (10 - 5 µm) = Tracheobronchiale Fraktion: Der Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der über den Kehlkopf hinaus vordringt, aber nicht in die nichtzilierten Luftwege gelangt.

PM bedeutet „particulate matter“.

In nachfolgender Abbildung 5 werden die genannten Staubfraktionen und ihre Eindringtiefen in den menschlichen Atmungstrakt schematisch dargestellt.

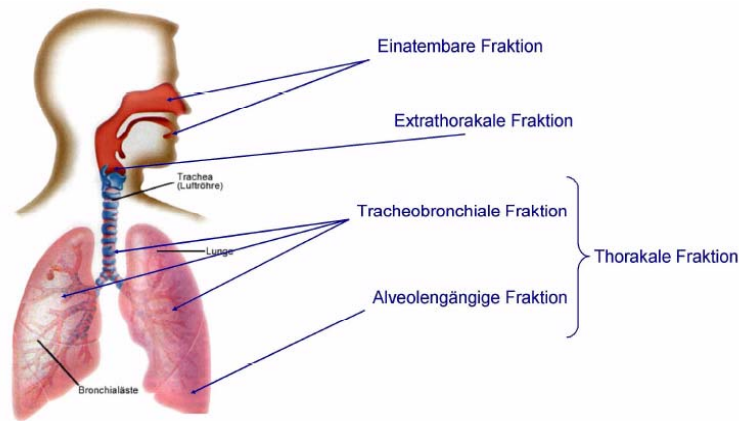
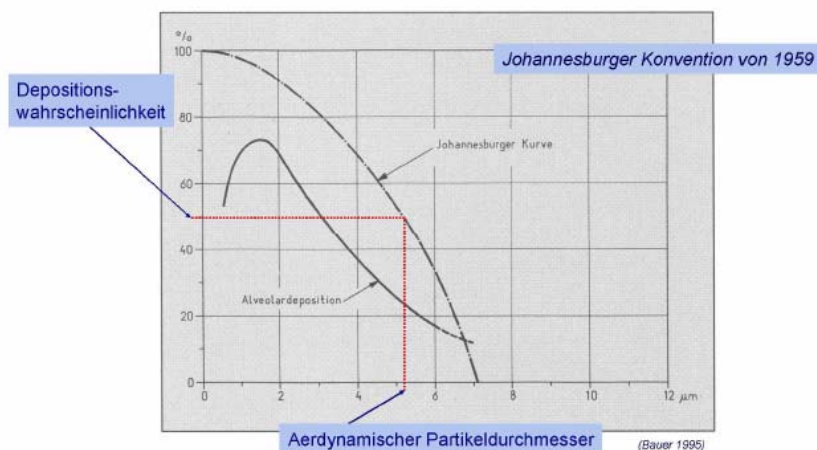


Abbildung 5: Staubfraktionen und ihre Eindringtiefen in die menschlichen Atemwege (Quelle: <http://www.altanapharma.com/>)

Die Abbildung 6 zeigt die Abscheidekurve (Punkt-Strichlinie) für die alveolengängige Staubfraktion nach der Johannesburger Konvention von 1959. Jedem aerodynamischen Partikeldurchmesser auf der Abszisse ist eine auf der Ordinate abzulesende Ablagerungswahrscheinlichkeit zugeordnet. Diese Abscheidekurve ist eine formalisierte Abbildung des tatsächlichen Ablagerungsprozesses von Staubpartikeln in den Alveolen der Lunge (durchgezogene Linie). Die charakteristische Zahl zu der Abscheidekurve ist der Partikeldurchmesser für den eine 50%ige Ablagerungswahrscheinlichkeit besteht. Für die Johannesburger Kurve ist das ein Durchmesser von ca. 5,1 μm .

A



B

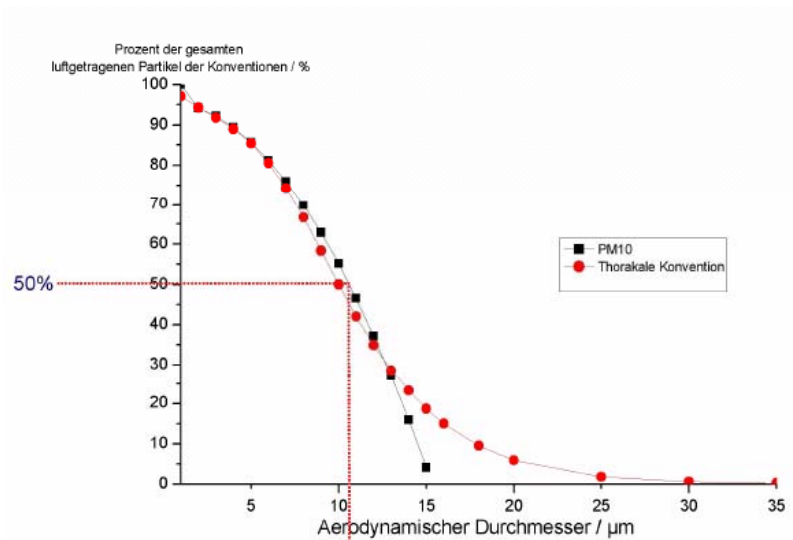


Abbildung 6: (A) Abscheidekurve nach Johannesburger Konvention von 1959 und Alveolardeposition (BAUER, 1995) sowie (B) die Abscheidekurve für die PM 10- und Thorakalstaubfraktion.

Bei der Betrachtung und Bewertung von Staubbelastungen durch Umweltschwebstoffe wird nicht auf die gleichen Fraktionen, wie sie in der Arbeitswelt benutzt werden zurückgegriffen. Beim Umweltschwebstoff wird ebenfalls vom Schwebstaub (Total Suspended Particulates) ausgegangen. Die zentralen Staubfraktionen nach ISO 7708 (1995) sind PM 10: coarse dust (Grobstaub) und PM 2.5: fine dust (Feinstaub). Die PM 10- Fraktion entspricht in etwa der Thorakalfraktion, die PM 2.5- Fraktion der Alveolarfraktion.

In früheren Studien wurden Partikelkonzentrationen in Pferdeställen ermittelt (BANHAZI et al., 2002; CARGILL, 1999; CHRICHLOW et al., 1980; FERRO et al., 2000; VANDENPUT et al., 1997; WOODS et al., 1993; ZEITLER, 1986). Auch hier wurden die Partikel weitestgehend in den Größenordnungen PM 100, PM 10 und PM 5 fraktioniert und gemessen.

In früheren Untersuchungen wurden u.a. folgende Partikelkonzentrationen ermittelt (Tabelle 3):

Tabelle 3: Literaturübersicht (Autoren und Messverfahren) zu den herrschenden Partikelkonzentrationen in Pferdeställen

	Partikelkonzentration [mg/m³]
	$(\bar{x} \pm s)$
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 (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
HÖRMANN (2006)	
Innenboxen (Fenster) mit Stroheinstreu	
Fraktion < 10 µm	0,09 ± 0,11
Messverfahren	kontinuierlich, gravimetrisch

2.2.2.3 Grenzwerte und Auswirkungen auf die Pferdegesundheit

Der Atmungsapparat des Pferdes bietet eine große Angriffsfläche für eingeatmete Partikel. Luftgetragene Partikel wirken schädigend auf den Atmungsapparat. Neben der mechanischen Reizung durch die Partikel ist es die allergisierende, infektiöse oder toxische Wirkung, die die Pferdegesundheit beeinträchtigt (ART et al., 2002). Luftgetragene Partikel dienen vielen Mikroorganismen als Transportmittel und Nährboden und erhöhen so die Infektionsgefahr. Neben den Bakterien können vor allem Pilzsporen für die Atemwege gefährlich werden.

Vor allem die respirable Fraktion der eingeatmeten Partikel kann bis in die tieferen Atemwege vordringen und durch ihre direkten Wirkungen große Schäden verursachen (CARGILL, 1999). Je höher die Partikelbelastung der Luft ist, desto größer muss die Abwehrleistung des Atmungstraktes sein. Als Schutzmechanismen werden das Flimmerepithel der Atemwegsschleimhaut (Mukoziliäre Clearance), schleimbildende Becherzellen sowie Fresszellen aktiviert. So sollen luftgetragene Partikel auf mechanischem Wege eine Reflexbronchokonstriktion auslösen können, wenn diese Mechanismen überstrapaziert werden (DEEGEN, 1984).

Die Mukoziliäre Clearance kann bei einer zu starken Partikelbelastung so stark abnehmen, dass ein effektiver Abtransport der Partikel nicht mehr gewährleistet ist, was zur Entstehung unspezifischer Entzündungsreaktionen im Tracheobronchialbereich führen kann (DECONTO, 1983).

Der allgemeine Grenzwert für Partikelkonzentrationen am menschlichen Arbeitsplatz beruht auf der MAK (maximum workplace concentration) – Begründung (DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT, 2001) und liegt bei 4 mg/m^3 für die einatembare Fraktion und bei 3 mg/m^3 für die alveolengängige Fraktion. Allgemein gültige Grenzwerte für Partikelkonzentrationen in Pferdeställen sind in Deutschland nicht bekannt.

2.2.3 Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Das Pferd besitzt von Natur aus ein sehr ausgeprägtes Thermoregulationsvermögen. Es kann auch bei wechselnden Umweltverhältnissen die Körpertemperatur konstant halten. Nach DIN 18910 „Klima in geschlossenen Ställen“ (1974) werden für Renn- und Reitpferde zwar 15-17 °C als Optimallufttemperatur angegeben; diese Lufttemperaturen liegen in dem Bereich, in dem die Thermoregulation noch nicht gefordert wird. Der Aufenthalt in diesem Temperaturbereich sollte eher vermieden werden, denn er hat zur Folge, dass diese Regulation untrainiert bleibt und der Organismus des Pferdes anfälliger wird (MARTEN und JAEP, 1991; MARTEN, 2000). Die schnelle Anpassungsfähigkeit an klimatische Veränderungen sollte erhalten und gefördert und nicht durch das menschliche Eingreifen verhindert werden.

Aufgrund der ausgeprägten Thermoregulation des Pferdes kann auch von einer großen Toleranz gegenüber der Luftfeuchte im Stall ausgegangen werden (SCHNITZER, 1970). Die Luftfeuchte wird normalerweise als relative Luftfeuchte in % angegeben. Das Wasseraufnahmevermögen der Luft ist temperaturabhängig und nimmt mit steigender Temperatur zu.

Die Hauptquelle für die Wasserverdunstung und damit einhergehenden Luftfeuchte sind die Atmung, die Hautausdünstungen des Pferdes und die Einstreu.

Nach BMVEL (1995) und ZEITLER-FEICHT et al. (2004) sollen die Lufttemperaturen im Stall das ganze Jahr über den Außenlufttemperaturen gemäßigt folgen. Die relative Luftfeuchte im Pferdestall soll zwischen 60 und 80 % liegen (BMVEL, 1995; ZEITLER-FEICHT et al., 2004). Eine andauernde Luftfeuchtigkeit über 80 % kann zu Erkrankungen des Respirationsapparates führen und rheumatische Schäden verursachen (SCHNITZER, 1970). Bei einer relativen Luftfeuchte von 95 % erreichen deutlich mehr Bakterien den unteren Respirationstrakt als bei einer relativen Luftfeuchte von 65 % (LEADON, 1986). Zusätzlich wird die Möglichkeit der Pferde, ihre Körpertemperatur durch Schwitzen zu regulieren, eingeschränkt (ZEITLER-FEICHT et al., 2004).

Weiterhin werden zum einen die Überlebens- und Entwicklungsbedingungen für Viren, Bakterien und Parasiten durch Kondenswasserbildung an den Bau-

teilen im Stall begünstigt (SAINSBURY, 1991; KAADEN, 1984), zum anderen ist die korrodierende Wirkung einer hohen Luftfeuchte auf Stallbauteile negativ zu beurteilen (WATHES, 1989).

Andererseits können zu niedrige Luftfeuchtwerte (<60 %) die Schleimhäute der Atemwege austrocknen und die Infektanfälligkeit des gesamten Atmungstraktes fördern (DEEGEN, 1984).

2.2.4 Luftbewegung/Lüftungsintensität

Um eine dauerhaft gute Luftqualität im Stall zu erhalten, ist Luftbewegung und ein regelmäßiger Luftaustausch Voraussetzung.

Die Luftbewegung hat in Kombination mit der Lufttemperatur einen entscheidenden Einfluss darauf, wie gut die Tiere bei Hitze Wärme abgeben und bei Kälte eine Unterkühlung vermeiden können (VAN CAENEGEM und WECHSLER, 2000). Aus diesem Grund sollte bei hohen Lufttemperaturen die Luftgeschwindigkeit angemessen erhöht werden. Bei tiefen Lufttemperaturen sollten wiederum zugfreie Rückzugsmöglichkeiten angeboten werden (z.B. Unterstände bei ganzjähriger Weidehaltung).

Die Luftgeschwindigkeit soll den Temperaturen angepasst sein. Im Winter sollte diese mindestens 0,2 m/s betragen, im Sommer dagegen bis zu 0,6 m/s ansteigen (ZEITLER-FEICHT et al., 2004).

Im Aufenthaltsbereich der Pferde ist eine ständige Luftbewegung sicher zu stellen, denn nur so werden Wasserdampf, Schadgase, Staub und Keime ab sowie Frischluft zugeführt.

Hohe Luftgeschwindigkeiten erhöhen einerseits den Wärmeübergang pro Grad Temperaturdifferenz zwischen Tieroberfläche und Luft, andererseits verringern sie die Wärmedämmung durch Zerstörung des schützenden Luftfilms im Haarkleid. Am meisten wird das Wohlbefinden gestört, wenn die bewegte Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft hat und vorwiegend aus einer Richtung einen Körperteil trifft. Man spricht hierbei von Zugluft, und diese sollte vermieden werden (VAN CAENEGEM und WECHSLER, 2004).

Die Luftströmung unterstützt die Thermoregulation der Pferde und ist somit positiv für ihre Gesundheit. Hohe Luftströmungsgeschwindigkeiten erhöhen die Wärmeabgabe der Tiere und sind daher besonders bei hohen Lufttemperaturen wünschenswert (ZEITLER-FEICHT et al., 2004).

2.3 Einstreumaterialien in der Pferdehaltung

2.3.1 Anforderungen an die Einstreu

Neben weiteren Faktoren (z.B. das Raufutter) hat die Einstreuart, durch materialspezifische Unterschiede hinsichtlich Partikelentwicklung im Stall, Feuchtigkeitsaufnahme und Ammoniakbindung, einen großen Einfluss auf die klimatischen Haltungsbedingungen (ART et al., 2002; BANHAZI et al., 2000; CLARKE, 1994; RAYMOND, 1994; WEBSTER et al., 1987; WOODS et al., 1993).

Hinsichtlich der wichtigsten Anforderungen an die Einstreu für Pferdeställe in Bezug auf die Tiergesundheit müssen folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- *Wasserbindungsvermögen, Entwicklung von biogenen Gasen (z.B. Ammoniak)*

Nach Angaben von ZEITLER-FEICHT et al. (2004) in deren Positionspapier zu den Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten sollte der Untergrund des Liegebereiches trocken und verformbar sein. Daher sollten alle Liegeflächen eingestreut sein. Geeignet seien hierfür Einstreumaterialien, die ein gutes Wasserbindungsvermögen zeigen. Dabei ist darauf zu achten, dass keine erhöhten Gaskonzentrationen (z.B. Ammoniak) entstehen.

Da ein Pferd zwischen 8 und 12 kg Kot und 5 bis 10 l Urin am Tag absetzt (RICHTER et al., 1992), muss die Einstreu eine gute Saugfähigkeit besitzen, um Kot und Urin aufnehmen zu können.

- *Partikelgenerierung, Mikroorganismengehalt, Allergene Anteile*

In zahlreichen Untersuchungen, in denen speziell die Pferdehaltung betrachtet wurde, gilt neben dem Raufutter besonders das Einstreumaterial als die primäre Entstehungsquelle für Partikelfreisetzung (ART et al., 2002; BANHAZI et al., 2000; CLARKE, 1994; RAYMOND, 1994; WEBSTER et al., 1987; WOODS et al., 1993). Wie in Kapitel 2.2.2 ausführlich beschrieben, kann eine hohe Par-

tikelkonzentration in der Stallluft den Atmungstrakt des Pferdes nachteilig beeinträchtigen und somit gesundheitsgefährdend sein.

Die verwendeten Einstreumaterialien müssen trocken, hygienisch einwandfrei und gesundheitlich unbedenklich sein. Somit dürfen keine schimmeligen, stark staubende und giftige Materialien verwendet werden (ZEITLER-FEICHT et al., 2004).

Die Einstreu sollte nach SAWYER (2005) keine allergische Wirkung aufs Pferd haben, das heißt möglichst staubfrei und auf keinen Fall verpilzt sein.

- *Liegekomfort*

Die Einstreu soll dem Pferd außerdem einen angenehmen, weichen und nach unten isolierenden Liegekomfort bieten, sodass es sich entspannt ausruhen kann (HUNTER und HOUP, 1989). 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 (DALLAIRE, 1986). Und nicht zuletzt sollte die Einstreu die Box rutschsicher machen, um Verletzungen zu vermeiden.

Darüber hinaus gibt es noch weitere Kriterien, die u.a. die Wahl des Einstreumaterials beeinflussen. Hierzu gehören:

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

Anhand der oben genannten Kriterien werden im Folgenden unter Kapitel 2.3.2 verschiedene Einstreumaterialien für die Pferdehaltung bewertet.

2.3.2 Eigenschaften verschiedener Einstreumaterialien

2.3.2.1 Getreidestroh

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) wurden in Deutschland 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, unaufbereitet (ungehäckselst und unpelletiert), 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 Entsorgung ist Stroh relativ unproblematisch und ist gut zu kompostieren.

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

weniger verwendet, der zu ulzerativen Maulentzündungen führen kann. Auch Haferstroh wird nur eingeschränkt als Einstreu eingesetzt, da es ein schlechtes Saugvermögen besitzt und die Gefahr des Fusarienbefalls besteht (BREINING, 1998).

2.3.2.2 Getreidestrohpellets

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

2.3.2.3 Holzprodukte

Holzprodukte sind die am häufigsten verwendete Alternative zur Stroh-einstreu. 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 sind besonders für Pferde mit Lungenproblemen geeignet. Sowohl AIRAKSINEN et al. (2001) als auch CLARKE (1987a) und

KOTIMAA et al. (1991) stellten fest, dass Holzprodukte eine niedrigere Mikrobenbelastung aufweisen als Stroh.

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 Schwebstaubgehalten (PM 5) in der Stallluft trotz Verfütterung von nassem Heu auf eine hohe Schwebstaubentwicklung durch Hobelspäne. Ebenso ermittelten FERRO et al. (2000) höhere Schwebstaubgehalte (PM 5) in Späne als in Stroh.

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 erst lange 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 Entsorgung kommen (NEUBERT, 2001).

2.3.2.4 Hanf-/Leineneinstreu

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 z.B. 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 zehnfach bis fünfzehnfach höhere Staubbildung aufwies. 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.

2.3.2.5 Papier

Die Einstreu von Pferdeställen mit Papierschnitzeln hat Vorteile hinsichtlich einer hohen Feuchtigkeitsaufnahmekapazität 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 Beispiel 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.

Neben oben genannten Einstreumaterialien sind außerdem weitere Materialien wie z.B. Torf oder Rapshäcksel in der praktischen Pferdehaltung bekannt.

2.3.3 Kosten verschiedener Einstreumaterialien

Die Anschaffungskosten der unterschiedlichen Einstreumaterialien sind der folgenden Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Anschaffungskosten verschiedener Einstreumaterialien [€/dt]

Einstreumaterial	Preis [€/dt]
Stroh (Roggen, Gerste, Weizen); Großballen	8 - 9 ¹
Holzspäne	30 ²
Hanfeinstreu	65 ³
Leinstroh (Eurolin)	60 ²
Strohpellets (Biolan)	42 ²

¹Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe, 17, 2008

²www.futterexpress-rheinland.de/Pferdefutter_Kaninchen_Gefl_futter_stand_080202.pdf

³Siccoflor-Hanfeinstreu, www.nafgo.de

Anhand der genannten Preise für die Einstreumaterialien errechnen sich folgende Kosten für die Ersteinstreue einer 12 m² Pferdebox. Für die Berechnung der Ersteinstreumengen wurden bei Stroh Werte von JAEP (2004) und bei den restlichen Materialien Herstellerangaben herangezogen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Ersteinstreumengen und –kosten verschiedener Einstreumaterialien

Einstreumaterial	Menge/ Ersteinstreu [kg]	Preis/ Ersteinstreu [€]
Stroh (Roggen, Gerste, Weizen); Großballen	50 ¹	ca. 5
Holzspäne	100 ²	ca. 30
Hanfeinstreu	90 ³	ca. 60
Leinstroh (Eurolin)	100 ⁴	ca. 60
Strohpellets (Biolan)	150 ⁵	ca. 60

¹Jaep, 2004

²Allspan, www.allspan.de

³Siccoflor-Hanfeinstreu, www.nafgo.de

⁴Eurolin, www.eurolin.de

⁵Biolan, www.biolan.de/martens_hohenheim

Im Gegensatz zu Stroh werden die übrigen Einstreumaterialien nicht täglich nachgestreut. Nach Herstellerangaben erfolgt eine Ersteinstreu, die dann mindestens zwei Wochen ohne Nachstreu ausreichend ist. Die Einstreu sollte jedoch täglich gepflegt werden, eine tägliche Entfernung von Kot und sehr feuchten Stellen ist notwendig.

Stroh wird in der Praxis täglich nachgestreut. Im Durchschnitt kann man von einer Nachstreu von ca. 10 kg/Tag ausgehen (JAEP, 2004).

Dementsprechend hat man bei der Verwendung von Stroh als Einstreu Kosten von ca. 17 €/2 Wochen.

2.3.4 Einstreuverfahren/Einstreumanagement

Bei den Einstreuverfahren wird grundsätzlich zwischen dem Wechselstreuverfahren und der Matratzenstreu unterschieden. MARTEN und JAEP (2004) unterteilen des Weiteren in Wechsel-, Matratzen- und Tiefstreu. Im Wechselstreuverfahren wird täglich ein- oder mehrmals der größte Teil der verschmutzten Einstreu bzw. die gesamte Streu entfernt und durch neue ersetzt (UBBENJANS, 1981). Je nach System wird die komplette Einstreu nur alle 3-5 Tage erneuert.

Bei dem Matratzenstreuverfahren wird der Mist in der Regel nicht täglich entfernt. Es erfolgt lediglich eine tägliche Nachstreu mit frischen Stroh, so dass sich im Laufe der Zeit eine feste Schicht, Matratze, bildet. In einigen Fällen werden Kot und sehr nasse Stellen jedoch auch regelmäßig entfernt. Ein kompletter Austausch der Matratze erfolgt je nach Verfahren und Stallhöhe

alle 8-10 Wochen. Es entstehen so von oben nach unten Schichten mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt (UBBENJANS, 1981).

Bei sogenannten Tiefstreuverfahren wird meist nur zwei- bis dreimal jährlich vollständig entmistet. In einigen Fällen wird die Einstreu nur in mehrtägigen Intervallen nachgestreut (MARTEN und JAEP, 1991).

Der große Vorteil der Matratzenstreu im Vergleich zur Wechselstreu liegt eindeutig im arbeitstechnischen Bereich, da bei Wegfall des täglichen Mistens Zeit eingespart werden kann (BENDER, 1999). Zudem wird der Strohverbrauch im Vergleich zur Wechselstreu deutlich reduziert. Nach UBBENJANS (1981) ist ein 1,5- bis 2-facher Strohaufwand beim Wechselstreuverfahren gegenüber der Matratzenstreu zu verzeichnen. Beim Wechselstreuverfahren wird neben dem Stallmist auch häufig noch trockenes, frisches Stroh entsorgt. Zudem neigen Pferde dazu, die Einstreu auseinander zu scharren und liegen beim Wechselstreuverfahren unter Umständen auf hartem Boden (NEUBERT, 2001). Außerdem ist die geforderte Rutschfestigkeit nicht mehr gewährleistet (ZEITLER-FEICHT, 2004).

Die Vorteile der Wechselstreu bzw. die Nachteile der Matratzenstreu liegen im Bereich der Pferdegesundheit. Bei der Wechselstreu wird die Gefahr einer Reinfektion des Pferdes (z.B. Verwurmung) an seinen eigenen Exkrementen deutlich verringert (SCHÄFER, 1991). Die negativen Auswirkungen des Matratzenstreuverfahrens werden zum einen durch einen Anstieg des Parasitenbefalls, durch eine starke Insektenvermehrung im Stall, durch Hufstrahlerkrankungen deutlich. Zum anderen bietet die Mistmatratze einen idealen Nährboden für pathogene Krankheitserreger (SCHNITZER, 1970; ZEITLER et al., 1984; SCHÄFER, 1991).

Bei einem Tiefstreuverfahren ist die Gefahr gegeben, dass Pferde in zum Teil weichem Tiefmist einsinken, was durchaus eine Ursache von Gelenkerkrankungen und Sehenschäden sein kann. Außerdem wird die Gefahr einer Maukeerkrankung sehr begünstigt (NEUBERT, 2001).

Des Weiteren werden erhöhte Ammoniakkonzentrationen im Stall auf die Mistmatratze zurückgeführt. Untersuchungen von HESSEL et al. (2005) und

HÖRMANN (2006) zeigten jedoch, dass eine mehrwöchige Mistmatratze keine erhöhten Ammoniakkonzentrationen im Stall verursacht, solange eine entsprechende Stallhygiene in Form einer regelmäßigen und ausreichenden Nachstreu erfolgt. Ein entsprechend weites C/N - Verhältnis ist hierbei der limitierende Faktor.

In zuvor genannten Untersuchungen wurde zudem festgestellt, dass die Partikelkonzentration im Stall nach einer kompletten Neueinstreu über einen weitaus längeren Zeitraum auf einem sehr hohen Niveau war als bei der täglichen Nachstreu. Demzufolge ist anzunehmen, dass im Vergleich zur Wechselstreu bei einer Matratzenstreu eine geringere Partikelentwicklung im Stall zu erwarten ist.

3 Beiträge mit Begutachtung

3.1 *Evaluation of factors influencing the generation of ammonia in different bedding materials used for horse keeping*

Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. 2008
Journal of Equine Veterinary Science, 28 (4); 223-231.

3.2 *Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping*

Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe. 2008
Journal of Equine Veterinary Science 2008, 28 (7); 408-418.

3.3 *Gas and particle concentrations in horse stables with individual boxes as a function of the bedding material and the mucking-out regime*

Fleming, K., E. F. Hessel, H. F. A. Van den Weghe

accepted: Journal of Animal Science, July 2009

4 Diskussion

In vorliegender Arbeit wurden in drei unterschiedlichen Versuchsteilen die physikalisch-chemischen und stofflichen Parameter auf die Freisetzung von biogenen Gasen und luftgetragenen Partikeln aus Einstreumaterialien für die Pferdehaltung untersucht und bewertet.

Die Gasgenerierung und die Partikelfreisetzung aus unterschiedlichen Einstreumaterialien für die Pferdehaltung (Weizenstroh, Holzspäne, Hanfeinstreu, Leinenstroh, Strohpellets und Papierschnitzel) wurden unter standardisierten Bedingungen sowie zum Teil auch unter In situ-Bedingungen analysiert.

Darüber hinaus wurde der Einfluss des Entmistungsintervalls auf die Partikel- und Gasentwicklung im Pferdestall untersucht. Die Auswirkungen einer mehrwöchigen Mistmatratze auf die Luftqualität im Pferdestall sollten im Vergleich zum täglichen Misten analysiert werden.

Die Ergebnisse der genannten Versuchsteile wurden in den drei Beiträgen mit Begutachtung (Kapitel 3.1 - 3.3) dargestellt und umfangreich diskutiert.

In vorliegendem Kapitel sollen nun weitere wichtige Faktoren, die neben der Partikel- und Gasgenerierung einen Einfluss auf die Wahl des Einstreumaterials haben, diskutiert werden. Im Folgenden wird dabei speziell auf das Pferdeverhalten, die Arbeitswirtschaft und die Entsorgung eingegangen.

4.1 Pferdeverhalten

Nach PIRKELMANN (1991) beeinflusst die Einstreu das Ruheverhalten von Pferden. Die Einstreu soll dem Pferd einen angenehmen, weichen und nach unten isolierenden Liegekomfort bieten, sodass es sich entspannt ausruhen kann (HUNTER und HOUP, 1989). Fehlt dem Pferd die Möglichkeit, sich auch im Liegen zu erholen, leiden auf Dauer Leistungsvermögen und Belastbarkeit des Tieres (DALLAIRE, 1986).

Neben der Analyse der Gas- und Partikelgenerierung aus Weizenstroh, Strohpellets und Holzspänen (siehe Beiträge unter 3.2 und 3.3) wurden im Rahmen einer Masterarbeit zusätzlich Videoaufnahmen der Pferde angefer-

tigt, um das Verhalten bei Verwendung verschiedener Einstreumaterialien zu untersuchen.

Ziel dieser Untersuchung von BACHHAUSEN (2008) war es zu klären, ob und inwieweit das Einstreumaterial das Verhalten von Pferden in Boxenhaltung beeinflusst. Es galt herauszufinden, ob die Pferde durch die Einstreumaterialien in der Ausübung ihres natürlichen Verhaltens gefördert oder eventuell eingeschränkt werden.

Die Ergebnisse zeigten, dass das Liegeverhalten in Seitenlage nicht signifikant von der Einstreu beeinflusst wurde, es konnten aber dennoch Tendenzen festgestellt werden.

Bei der Einstreu mit Stroh wurde die längste Gesamtliegedauer beobachtet, bei der Verwendung von Strohpellets lagen die Pferde insgesamt am wenigsten.

In früheren Studien wurden ähnliche Ergebnisse erzielt. HUNTER und HOUP (1989) beobachteten ebenfalls keine Unterschiede im Liegeverhalten zwischen Stroh- und Späneeinstreu. Auch bei MILLS et al. (2000) ergaben sich hinsichtlich des Liegeverhaltens keine signifikanten Unterschiede zwischen unterschiedlichen Einstreumaterialien.

Andererseits beobachteten PEDERSEN et al. (2004) eine um das Dreifache längere Ruhedauer in Seitenlage bei Stroh als bei Späneeinstreu.

Eine ausreichende Liegedauer in Seitenlage ist von Bedeutung, da man annimmt, dass der sogenannte REM-Schlaf (rapid eye movement; der Tiefschlaf des Pferdes) wahrscheinlich nur im Liegen, besonders in der Seitenlage möglich ist. Während des REM-Schlafes ist der Muskeltonus völlig entspannt, die Atem- und Herzfrequenz sind stark verlangsamt und unregelmäßig (LEBELT, 1998; ZEITLER-FEICHT, 2001). Der REM-Schlaf ist wichtig für das körperliche und seelische Wohlbefinden des Tieres (PEDERSEN et al., 2004).

Die Beobachtungen von BACHHAUSEN (2008) zeigten außerdem, dass die Pferde bei der Stroheinstreu mehr als doppelt so lange mit der Einstreu beschäftigt waren als bei der Einstreu mit Strohpellets und Spänen. Besonders für Jungtiere scheint der Beschäftigungsfaktor der Einstreu wichtig zu sein. Die Studie zeigte, dass die beobachteten Fohlen sich mehr als doppelt so lange mit der Einstreu beschäftigten als die älteren Tiere. Aus der Verhal-

tensforschung ist bekannt, dass die Erkundung der Umwelt bei jungen, noch nicht ausgewachsenen Pferden besonders stark ist (SCHÄFER, 1991; ZEITLER-FEICHT, 2001).

Das Einstreumaterial beeinflusste das Stehverhalten (keine Beschäftigung mit der Einstreu) der Pferde signifikant. Wiederum wurden starke Unterschiede zwischen Stroheinstreu und den anderen Einstreumaterialien festgestellt. Bei der Einstreu mit Strohpellets und Spänen zeigten die Pferde ein signifikant längeres Stehverhalten als bei der Einstreu mit Stroh.

Während der Beschäftigung mit der Einstreu verbringt das Pferd in einer langsamen Vorwärtsbewegung mit dem Kopf nah am Boden. Dies ist die physiologische Körperhaltung, die das Pferd unter natürlichen Bedingungen über die Hälfte des Tages zur Futteraufnahme einnimmt. Dadurch wird auch die Ausbildung einer guten Rückenformation begünstigt (ZEITLER-FEICHT, 2001).

Nach MCGREEVY (1995) ist es sogar möglich, dass die Entwicklung von Verhaltensstörungen (z.B. Weben) durch fehlende Beschäftigungsreize aufgrund von alternativen Einstreumaterialien, wie z.B. Späne, gefördert wird.

4.2 Bereitstellungskosten

In Bezug auf die Arbeitswirtschaft spielen die Verfügbarkeit und die Kosten (Anschaffung und Verbrauch) eine wichtige Rolle. Daneben müssen auch der Lagerung, hinsichtlich notwendiger Lagerungskapazitäten sowie der Lagerungsform berücksichtigt werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Einstreu hat einen entscheidenden Einfluss auf die Wahl der Einstreu. Zum einen sind es die Anschaffungskosten, bzw. bei eigener Strohproduktion die Herstellungskosten, zum anderen aber auch der Einstreuverbrauch, der beachtet werden muss.

Werden die Anschaffungskosten der unterschiedlichen Materialien betrachtet (Tabelle 4, Kapitel 2.3.3), so ist Stroh mit 8-9 €/dt im Vergleich zu den alternativen Einstreumaterialien wie Holzspäne (ca. 30 €/dt), Hanf (ca. 65 €/dt), Leinen (ca. 60 €/dt) und Strohpellets (ca. 42 €/dt) zunächst die günstigste Variante. Demnach fallen auch die Kosten für die Ersteinstreu einer Box mit Stroh am geringsten aus.

Im Gegensatz zu Stroh werden jedoch die übrigen genannten Einstreumaterialien nicht täglich nachgestreut. Nach Herstellerangaben (ALLSPAN, EUROLIN, BIOLAN, 2008) erfolgt eine Ersteinstreue, die dann mindestens zwei Wochen ohne Nachstreue ausreichend ist. Dann erfolgt in der Regel eine wöchentliche Nachstreue. Stroh wird in der Praxis täglich nachgestreut. Dementsprechend liegt der Verbrauch der Einstreu pro Pferd und Jahr von Hanf, Leinen, Spänen und Strohpellets weit unter dem Verbrauch von Stroh, und könnte somit eine Kostenreduzierung herbeiführen. Auch HÄUSSERMANN et al. (2002) stellten in einem Vergleichsversuch mit anderen Einstreuarten bei Stroh einen etwa doppelt so hohen Verbrauch fest.

Die Aspekte Verbrauch und Kosten werden im Folgenden durch Zahlen verdeutlicht.

Die durchschnittliche Verbrauchsmenge von Stroh in Matratzenhaltung wird bei 10 kg/Pferd und Tag angesetzt. (MARTEN und JAEP, 1991). Der Strohverbrauch pro Pferd und Jahr beläuft sich bei ganzjähriger Stallhaltung auf 3650 kg.

Die üblichen Handelsformen von Holzspänen sind zum einen lose Schüttung und zum anderen plastikverschweißte Ballen von etwa 30 kg (z.B. Allspan, Goldspan). Bei einer Boxengröße von 12 m² wird eine Grundeinstreu von 4 Ballen à 30 kg (ALLSPAN, 2008) empfohlen. Das Spänebett ist zuerst noch lose, wird aber durch das Gewicht des Pferdes schnell zu einer festen Schicht getreten. In den ersten Tagen reicht es aus, lediglich den Kot aufzusammeln. Nach 14 Tagen wird wöchentlich ca. 1 Ballen (30 kg) nachgestreut, um die Einstreu kontinuierlich in einem frischen Zustand zu halten. Geht man davon aus, dass die Mistmatratze viermal jährlich erneuert wird, so ergibt sich ein Gesamtbedarf von ca. 2000 kg/Pferd und Jahr.

Leinenstreu wird in Plastiksäcken oder in Folie gepresste Ballen von ca. 20 kg (z.B. Fa. Eurolin) angeboten. Laut Herstellerangaben (EUROLIN, 2008) wird für eine 12 m² Pferdebox als Grundeinstreu (z.B. Eurolin) ca. 5 Ballen à 20 kg benötigt. Bei unruhigen Pferden, die die Box umwühlen oder sehr viel urinieren, sollte man die Grundeinstreu etwas erhöhen. In den ersten 10-14 Tagen sollte nur der Kot entfernt werden. Die Einstreu sollte nach Möglichkeit nicht aufgelockert oder umgedreht werden, sondern das Ausmisten der Box

sollte sich nur auf das Entfernen des Kotes beschränken. Nach den ersten 14 Tagen wird etwa 1 Ballen (20 kg) pro Woche nachgestreut. Bei einem viermaligen kompletten Wechsel der Mistmatratze pro Jahr wird ein Gesamtverbrauch von ca. 1400 kg/Pferd und Jahr errechnet.

Hanfeinstreu ist in ca. 20 kg schweren Plastikballen (z.B. Fa. Siccoflor) erhältlich. Die Ersteinstreue von Hanf sollte 120 kg/12 m² betragen. Zur Bildung einer Matratze sollen täglich Pferdeäpfel und ein bis zwei Mal pro Woche nasse Stellen entfernt werden. Die Nachstreuemenge beträgt etwa 10 kg wöchentlich (SICCOFLOR, 2008). Geht man davon aus, dass die Mistmatratze viermal jährlich komplett erneuert wird, so ergibt sich ein Gesamthanfbedarf von ca. 1000 kg/Pferd und Jahr.

Die häufigsten Handelsformen von Strohpellets für den Pferdebedarf sind 25 kg Säcke, Big Bags (1 t) oder auch lose Schüttung. Die Ersteinstreue mit Strohpellets sollte 150 kg/12 m² betragen. Nach jeweils 14 Tagen werden 25 kg nachgestreut. Der Verbrauch pro Pferd und Jahr liegt bei ca. 1200 kg Strohpellets, wenn die Mistmatratze viermal jährlich komplett erneuert wird.

Tabelle 6: Ersteinstreue und Gesamtverbrauch pro Pferd und Jahr sowie die Kosten pro Pferd und Jahr von handelsüblichen Einstreumaterialien bei ganzjähriger Stallhaltung

Einstreu	Ersteinstreue [kg/12 m²]	Nachstreue [kg/Woche]	Gesamtverbrauch [kg/Pferd und Jahr]	Kosten [€/Pferd und Jahr]
Stroh	ca. 40-50	70	3650	ca. 300
Holzspäne	120	30	2000	600
Strohpellets	150	12,5	1200	500
Hanfeinstreu	120	10	1000	650
Leinstroh	100	20	1400	840

Quelle: eigene Darstellung

In der Tabelle 6 werden die Verbrauchsmengen pro Pferd und Jahr der oben beschriebenen Einstreumaterialien bei ganzjähriger Stallhaltung zusammenfassend dargestellt. Zusätzlich werden die Kosten pro Pferd und Jahr dargestellt. Trotz eines weitaus geringeren Verbrauchs von alternativen Materialien und trotz einem in den letzten zwei Jahren deutlich angestiegenen Strohpreis, sind die jährliche Einstreukosten pro Pferd deutlich geringer, wenn Stroheinstreu verwendet wird.

Die für die Einstreu benötigte Lagerkapazität von alternativen Einstreumaterialien kann gegenüber Stroh deutlich reduziert werden. Einige Hersteller sprechen von bis zu 85 %. Der Strohverbrauch pro Jahr und Pferd beläuft sich bei ganzjähriger Stallhaltung auf 3650 kg. Dies entspricht in etwa 10 Großballen (Hochdruck-Vierkantballen à 350 kg). Für z.B. 20 Pferde ist somit eine Lagerkapazität für 200 Großballen nötig. Nach MARTEN (2000) entspricht dies einschließlich Leerraumanteil einer Lagerkapazität von 880 m³/Jahr (Tabelle 7).

Tabelle 7: Raumbedarf für die Strohlagerung (Dreimonatsbedarf) nach MARTEN (2000)

Aufbereitung/ Einlagerung	Raumgewicht [dt/m ³]	Lagerraum [m ³]
HD-Ballen ungestapelt	0,7	14
HD-Ballen gestapelt	1,0	11

Bei Stroh-Großballen ist mit folgenden Abmessungen oder Gewichten zu rechnen:

Durchmesser [cm]	Länge [cm]	Gewicht [kg]
140 bis 150	bis 120	bis 270
165 bis 180	150 bis 165	300 bis 500
eckige Großpacken:	150x150x140	300 bis 500

HD = Hochdruckballen

Der Platzbedarf für die Lagerung von Holzspänen, Leinstroh, Hanf oder auch Strohpellets ist geringer als bei Stroh, da weniger Material gebraucht wird. Darüber hinaus ist ihre Verfügbarkeit im Vergleich zu Stroh ganzjährig gesichert. Es müssen keine ganzjährigen Lagerkapazitäten sicher gestellt werden. Zudem haben die alternativen Einstreumaterialien den Vorteil, dass sie, durch ihre Verpackung (Folie oder Säcke), sehr lange lagerfähig sind.

4.3 Entsorgung

Die meisten Reitpferde in Deutschland stehen in flächenarmen Betrieben, wodurch die Entsorgung von Pferdemist ein mittlerweile weitreichendes Problem darstellt (BECK, 2005). Im Durchschnitt fallen jährlich pro Großpferd 90 bis 120 dt Frischmist an (PIRKELMANN, 1991). Auch nach Angaben von

BECK (2005) und SWINKER et al. (1998) entstehen pro Pferd und Jahr ca. 9 t Mist.

Da der Anteil von sauberer Einstreu im Mist jedoch meist sehr hoch ist, ist er für viele Landwirte pflanzenbaulich gesehen nicht sehr attraktiv. Kapazitätsengpässe bei der Mistlagerung sind daher häufig vorprogrammiert. Nach BECK (2005) werden Speicherkapazitäten bis zu 6 m³/Pferd benötigt.

MARTEN (2000) setzt für eine sechsmonatige Lagerung 3-4 m² Lagerfläche/Pferd an. Für die Mistentsorgung fallen laut BECK (2005) jährlich 427 € pro Pferd an.

Für viele pferdehaltende Betriebe ist es demnach wichtig, eine Einstreu zu verwenden, bei der die anfallende Mistmenge, das Mistvolumen, niedrig gehalten werden kann. Auch wenn die anfallende Mistmenge von vielen betriebsspezifischen Faktoren abhängt, haben HÄUSSERMANN et al. (2002) in einem Vergleichsversuch mit anderen Einstreuarten bei Stroh einen etwa doppelt so hohen Mistanfall festgestellt. Das Mistvolumen pro Woche betrug bei Getreidestroh 2,5 m³/Pferd. Dagegen betrug es nur 1,6 m³/Pferd bei groben Holzspänen, 1,2 m³/Pferd bei feinen Holzspänen und 1,3 m³/Pferd bei Hanfschäben.

Eine Möglichkeit zur Mistvolumenreduzierung besteht in der Zerkleinerung von Pferdemist (BECK, 2005). Durch eine Zerkleinerung wird zudem durch eine Oberflächenvergrößerung der mikrobielle Abbau beschleunigt.

Einstreuprodukte, wie z.B. Strohpellets, Hanf- und Leinenstroh und Holzspäne, die im Gegensatz zu unbehandeltem Stroh mechanisch aufbereitet und vorbehandelt sind, bieten diese oberflächenvergrößernde Struktur. Daher sind hier hinsichtlich ihrer Kompostierungseigenschaften Vorteile zu erwarten. HÄUSSERMANN et al. (2002) stellten dementsprechend bei einer zwangsbelüfteten Kompostierung einen schnelleren mikrobiellen Abbau von Hanfmist im Vergleich zu Mist aus Holzprodukten fest. SWINKER et al. (1998) stellten eine schnellere Kompostierung bei Mist aus Sägespänen und Papier im Vergleich zu Strohmist fest.

AUCH AIRAKSINEN et al. (2001) untersuchten verschiedene Einstreusubstrate hinsichtlich ihrer Kompostiereigenschaften, ermittelten jedoch keine signifikanten Unterschiede.

Zusammenfassend bleibt hier festzuhalten, dass sich jedoch hauptsächlich durch den geringeren Einstreuverbrauch und das geringere Mistvolumen Vorteile der alternativen Einstreumaterialien im Vergleich zu Stroh ergeben.

5 Fazit

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

- Die Einstreumaterialien Hanf und Leinen, die als partikelreduzierende Alternativen zur Stroheinstreu in der praktischen Pferdehaltung angeboten werden, haben diese Anforderungen unter Technikumbedingungen nicht erfüllt. Des Weiteren haben die Ergebnisse des In situ - Versuches bestätigt, dass Einstreumaterialien wie Holzspäne oder Strohpellets die 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 zu vermuten, dass bei einer höheren Einstreumenge und einer regelmäßigen Nachstreu von Strohpellets und Holzspänen, durch eine Erhöhung des Kohlestoffangebotes, 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. Säuben und Begradigen der Box, Fegen) verursachen sowohl erhöhte Ammoniak- als auch 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 komplette

Ausmisten zu verzichten, wobei jedoch auf eine regelmäßige Nachstreu geachtet werden sollte.

- 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.
- Hinsichtlich des Pferdeverhaltens in der Box hat Stroh, durch ein höheres Beschäftigungspotential, Vorteile gegenüber Strohpellets oder Spänen.
- Die geringsten Kosten werden durch die Verwendung von Stroh verursacht
- In Bezug auf die Lagerung, nötige Lagerungskapazitäten und Verfügbarkeit bieten alternative Einstreumaterialien, wie Leinen, Hanf, Späne oder Pellets Vorteile gegenüber Stroh.

6 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 der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Einstreumaterialien hinsichtlich ihrer Eignung als Einstreu für Pferde sowohl unter standardisierten Bedingungen in einem Technikumversuch als auch in einem In situ - Versuch 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.

Im Technikum wurden, bezogen auf die Einstreumasse, die signifikant höchsten Partikelkonzentrationen bei Hanf und Leinen sowohl in den kleinen (PM 1.0 und PM 2.5) als auch in den größeren Partikelfractionen (PM 10 und PM 20) festgestellt. Die Mittelwerte von Leinen und Hanf in der Partikelfraktion PM 20 lagen 200 % über denen von Strohpellets bzw. mehr als 100 % über denen von Papierschnitzeln. In der Fraktion PM 10 waren die Mittelwerte von Hanf und Leinen fünffach bzw. sechsfach so hoch wie die von Strohpellets und etwa dreifach so hoch wie die von Weizenstroh, Papier und Spänen. In der Partikelfraktion PM 1.0 wurde der höchste Mittelwert bei Hanf ermittelt. Die signifikant geringsten Werte wurden in dieser Fraktion bei Strohpellets gemessen.

Das Einstreumaterial hatte einen signifikanten Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen im Technikum. Über den gesamten Versuchsdurchgang

wurden, bezogen auf die Einstreumasse, im Mittel die geringsten Konzentrationen bei Strohpellets gemessen.

Gelöscht:

Die durchschnittlichen Ammoniakkonzentrationen betragen bei Stroh $178,0 \pm 88,6 \text{ mg/m}^3$, bei Spänen $155,2 \pm 86,9 \text{ mg/m}^3$, bei Hanf $144,6 \pm 84,8 \text{ mg/m}^3$, bei Leinen $133,7 \pm 65,9 \text{ mg/m}^3$, bei Strohpellets $60,3 \pm 38,3 \text{ mg/m}^3$ und bei Papierschnitzeln $162,6 \pm 90,3 \text{ mg/m}^3$. Die Substrattemperatur der Strohpellets war mit Maximalwerten von $38 \text{ }^\circ\text{C}$ deutlich höher als die der restlichen Materialien, die über den gesamten Versuchsverlauf konstant bei ca. $22 \text{ }^\circ\text{C}$ blieben.

In der In situ - Untersuchung hatten das Einstreumaterial und die Stallaktivität (Füttern/Fressen, Säubern der Boxen/Streuen/Fegen) sowie der Versuchstag einen signifikanten Einfluss auf die Partikelkonzentrationen im Stall ($P < 0,05$). Über den gesamten Versuchszeitraum lagen die Partikelkonzentrationen PM 10 bei der Einstreu mit Strohpellets auf dem niedrigsten Niveau mit einem Mittelwert von $111,2 \pm 149,2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Der Mittelwert der Partikelkonzentration bei Weizenstroh und Holzspäne lag bei $227,5 \pm 280,8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ bzw. $140,9 \pm 141,9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Deutliche Konzentrationsanstiege 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 $720,9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, ermittelt. Die mittlere Partikelkonzentration PM 10 von Weizenstroh unterscheidet sich am Tag der Ersteinstreue mit $557,8 \pm 31,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ signifikant von der mittleren Konzentration von Holzspänen ($218,6 \pm 31,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) und Strohpellets ($185,9 \pm 38,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) ($P < 0,05$).

Die mittleren Ammoniakkonzentrationen (LSM \pm SE) im Stall über alle drei Durchgänge lagen bei der Einstreu mit Weizenstroh bei $2,89 \pm 0,14 \text{ mg/m}^3$. Bei der Einstreu mit Strohpellets lagen die mittleren Ammoniakkonzentrationen bei $5,14 \pm 0,14 \text{ mg/m}^3$ und mit Holzspänen bei $4,14 \pm 0,10 \text{ mg/m}^3$. 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 bei allen drei Substraten auf einem ähnlichen Niveau mit $1519,9 \pm 15,1 \text{ mg/m}^2$ bei Weizenstroh, $1545,9 \pm 15,2 \text{ mg/m}^3$ bei Strohpellets und $1492,4 \pm 11,1 \text{ mg/m}^3$ bei Holzspänen.

Hinsichtlich des Einflusses des Entmistungsintervalls wurden folgende Ergebnisse ermittelt: Die höchsten Werte wurden gemessen, wenn der Stall täglich komplett ausgemistet wurde (Variante 2, $\text{LSM} = 2,17 \pm 0,02 \text{ mg/m}^3$). Die geringsten Werte wurden ermittelt, wenn täglich nur der Kot entfernt wurde (Variante 3, $\text{LSM} = 1,62 \pm 0,04 \text{ mg/m}^3$). Die zweiwöchige Mistmatratze (Variante 1) verursachte mittlere Ammoniakwerte von $1,93 \pm 0,03 \text{ mg/m}^3$. 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 PM 10 ($\text{LSM} = 124,4 \pm 13,4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) im Vergleich zu Variante 2 (tägliches Ausmisten, $\text{LSM} = 248,9 \pm 10,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) und zu Variante 3 (tägliche Kotentfernung, $\text{LSM} = 281,7 \pm 16,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) erfasst.

Bei einer Mistmatratze über sechs Wochen wurden mittlere Ammoniakkonzentrationen von $2,33 \pm 0,33 \text{ mg/m}^3$ 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 $140 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Generell wurde jedoch im Verlauf von Woche 1 zu Woche 6 eine leicht sinkende Tendenz beobachtet.

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, Raufuttergrundlage), die Arbeitwirtschaft (inkl. Kosten und Lagerung) und die Entsorgungsthematik einen bedeutenden Einfluss auf die Einstreuwahl ausüben.

7 Summary

Among other factors, bedding has an important effect on stable air quality in relation to particle generation, water and ammonia-binding capacities.

In this study, different bedding materials were analysed and compared under standardized laboratory and in situ conditions, to determine which material is best suited for creating an improved stable environment for horses. The aims of the study were to

- Quantify the generation of biogenous gases from different bedding materials,
- Analyse airborne particle generation from different bedding materials,
- Evaluate the influence of the mucking system and mucking management on particle and gas generation in horse stables

Under laboratory conditions, hemp and linen showed the significantly highest generation of airborne particles in all measured fractions (PM 1.0, PM 2.5, PM 10, PM 20). The mean concentrations of hemp and linen in particle fraction PM 20 were 200 % higher than those of straw pellets and 100 % higher than those of paper cuttings, respectively. In fraction PM 10, the mean values of hemp and linen were five to six times higher than those for wheat straw, paper and wood shavings. In particle fraction PM 1.0, the highest mean was measured with hemp. In this fraction, the significantly lowest concentrations were measured with straw pellets.

Bedding had a significant influence on ammonia generation under laboratory conditions. Over the whole observation period, the lowest gaseous ammonia concentrations were detected with straw pellets. Means of gaseous ammonia were found to be 178.0 mg/m³ for wheat straw, 155.2 mg/m³ for wood shavings, 144.6 mg/m³ for hemp, 133.7 mg/m³ for linen, 60.3 mg/m³ for straw pellets and 162.6 mg/m³ for paper cuttings. The substrate temperature of the straw pellets were, with maximum values of 38 °C, significantly higher than the temperatures of the other materials, which were constantly 22 °C.

The in situ experiment showed that bedding and stable activity (feeding, mucking, strewing, sweeping), as well as day of trial, had a significant influence on particle concentration in the stable ($P < 0.05$). Over the entire period of the experiment, particle concentration PM 10 with straw pellets was the lowest, with an average of $111.2 \pm 149.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The average particle concentrations PM 10 for wheat straw and wood shavings were $227.5 \pm 280.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $140.9 \pm 141.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Clear increases were found in the morning from 11 a.m. (the time at which the boxes were cleaned, and strewing and sweeping of the stable aisle took place) and in the evening from 6 p.m. (feeding, sweeping the stable aisle) for all materials, but especially with wheat straw, with a maximum value of $720.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bedding with wheat straw caused a greater development of particles compared to wood shavings and straw pellets. The average concentration of wheat straw differed significantly, on the first day of the experiment, with a mean value of $557.8 \pm 31.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, from the mean concentration of wood shavings ($218.6 \pm 31.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and straw pellets ($185.9 \pm 38.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ($P < 0.05$).

Over the whole trial period of the in situ experiment, mean ammonia concentrations in the stable were found to be $2.89 \pm 0.14 \text{ mg}/\text{m}^3$ for wheat straw, $5.14 \pm 0.14 \text{ mg}/\text{m}^3$ for straw pellets and $4.14 \pm 0.10 \text{ mg}/\text{m}^3$ for wood shavings. The values differed significantly ($P < 0.001$). Generally, the variation in ammonia concentrations were much higher between the 14 days of the trial than within a one day period. The mean carbon dioxide concentrations for all three materials reached a similar level with $1519.9 \pm 15.1 \text{ mg}/\text{m}^2$ for wheat straw, $1545.9 \pm 15.2 \text{ mg}/\text{m}^2$ for straw pellets and $1492.4 \pm 11.1 \text{ mg}/\text{m}^2$ for wood shavings.

The following results were obtained for the influence of the mucking variant. The mean ammonia concentrations were significantly different between all three mucking variants. The highest concentrations were measured when the stable was mucked out completely every day (Variant 2, LSM = $2.17 \pm 0.02 \text{ mg}/\text{m}^3$). The lowest concentrations were detected, when feces were removed every day (Variant 3, LSM = $1.62 \pm 0.04 \text{ mg}/\text{m}^3$). When the bedding was not mucked out over a period of 14 days (Variant 1), mean ammonia concentrations of $1.93 \pm 0.03 \text{ mg}/\text{m}^3$ were recorded. The mean values of the three mucking variants differ significantly ($P < 0.05$).

The mean particle concentrations PM 10 (LSM) for Variant 2 (mucking out completely every day) and 3 (removing feces every day) do not differ significantly from one another, with values of $248.9 \pm 10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $281.7 \pm 16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively ($P = 0.103$). In the case of Variant 1 (no mucking out), the average concentrations, with a LSM of $124.36 \pm 13.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ are, however, significantly lower compared to the two other variants ($P < 0.001$).

With bedding for six weeks without mucking out, mean ammonia concentration of $2.33 \pm 0.33 \text{ mg}/\text{m}^3$ were measured. In the case of the trace for ammonia concentration, it is apparent that the average weekly value slightly increased up until week 4, then remained at a constant level up until week 6. A similar developing of the values was also observed in the case of nitrous oxide and carbon dioxide.

The average weekly values for particle concentrations varied between approximately 90 and $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Generally, however, in the period between week 1 and week 6, a sinking tendency was seen.

The parameters analysed in this investigation, mainly gas and particle release from different litter materials, play an important role in relation to the choice of bedding. In conclusion, it is clear that additional factors, such as conditions of the horse (being occupied, well-being, roughage), economic factors (including costs and storage) and the question of disposal have a significant influence on the choice of bedding material.

8 Literaturverzeichnis

- Aarnink, A.J.A.; Van Ouwerkerk, E.N.J.; Verstegen, M.W.A. (1992): A mathematical model for estimating the amount and composition of pig slurry from fattening pigs. *Livestock Production Science*, 31, 133-147.
- Ahlgrimm, H.-J. und Dämmgen, U. (1994): Beitrag der Landwirtschaft zur Emission von klimarelevanten Spurengasen. In: Brunnert, H.; Dämmgen, U. (Hrsg.) *Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung, Teil II, Landbauforschung Völkenrode*, 75-106.
- 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.

- Benndorf, R. (2001): Klimarelevante Wirkungen von Lachgas und Methan. In: KTBL (Hrsg.) Emissionen der Tierhaltung Grundlagen, Wirkungen, Minderungsmaßnahmen, 24-29, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Blunden, A.S.; Hannant, D.; Livesay, G.; Mumford, J.A. (1994): Susceptibility of ponies to infection with *Streptococcus pneumoniae* (capsular type 3). *Equine Veterinary Journal*, 26, 22-28.
- Bracher, V.D. (1987): Zur Erfassung der Dunkelziffer COPD-kranker Pferde. Diss., Veterinär-medizinische Fakultät, Universität Zürich.
- Breining, F. (1998): Einstreu in der Pferdehaltung und Lagerung von Pferdemit. 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, abgerufen am 2.7.2008.
- 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.
- Clarke, A.F. (1994): Stables. In: Wathes, C.M. and Charles, D.R. (Eds.), *Livestock Housing*. CAB International, UK. 379-403.
- Clemens, J. und Ahlgrimm, H.-J. (2001): Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 278-300.
- Cox, C.S. (1995): Physical aspects of bioaerosol particles. In: *Bioaerosols Handbook*, C.S. Cox and C.M. Wathes (Hrsg.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 15-25.
- Curtis, L.; Raymond, S.; Clarke, A. (1996): Dust and ammonia in horse stalls with different ventilation rates and bedding. *Aerobiologia*, 12, 239-247.
- Dallaire, A. (1968): Rest behaviour. *Equine Practice*, 2, 591-607.
- Dawson, J.R. (1990): Minimizing dust in livestock buildings: Possible alternatives to mechanical separation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 47, 235-248.

- 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 Forschungsgemeinschaft (2001): MAK- und BAT-Werte-Liste 2001. Maximale Arbeitsplatzkonzentration und Biologische Arbeitsstofftoleeranzwerte; Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 37. Wiley-VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- Deutsche Reiterliche Vereinigung/FN Warendorf: Jahresbericht 2003.
- 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. und Dodd, V.A. (1996): Respirable dust control in a scale-model horse stable using filtration and mechanical ventilation. *Canadian Agricultural Engineering*, 38, 215-221.
- Dunlea, A.P. und Dodd, V.A. (1999): A mechanical ventilation system for horse stables to control respirable dust. *Irish Veterinary Journal*, 52(5), 257-262.
- 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.
- Focht, D.D. und Verstraete, W. (1977): Biochemical ecology of nitrification and denitrification. *Advances in Microbiological Ecology*, 1, 135-214.
- 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.
- Grauvogl, A.; Pirkelmann, H.; Rosenberger, G.; von Zerboni Di Spozetti H.N. (1997): Artgemäße und rentable Nutztierhaltung. München, Verlags Union Agrar München, Wien, Zürich.

- Groenestein, C.M. und van Faassen, H.G. (1996): Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *Journal of agricultural Engineering Research*, 65, 269-274.
- Haake, B. (1992): Felduntersuchungen zum Einfluss von Einstreu und Futtermittelart 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, E. (2002): Ammoniak-Emissionen der Rinderhaltung und Minderungsmaßnahmen. In: Emissionen der Tierhaltung - Grundlagen, Wirkungen, Maßnahmen. KTBL/UBA-Symposium 3.-5. Dezember 2001 Bildungszentrum Kloster Banz. KTBL-Schrift Nr. 406, Darmstadt, 63-72.
- Hartung, J.; Klinckmann, G.; Adrian, U. (1989): Untersuchung des Staub- und Keimgehaltes in einem Pferdestall beim Einsatz eines Staubbindemittels. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift*, 96, 368-370.
- Hartung, J. (1990): Wirkungen von Ammoniak auf Nutztiere. In: KTBL (Hrsg.) Ammoniak in der Umwelt Kreisläufe, Wirkungen, Minderung, 14.1-11. Gemeinsames Symposium 10.-12. Oktober 1990, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Heber, A.J. (1995): Bioaerosol particle statistics. In: *Bioaerosols Handbook*, C.S. Cox and C.M. Wathes (Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 55-75.
- Hessel, E., Fleming, K., Van den Weghe, H. (2005): Einflussfaktoren auf Gas- und Schwebstaubkonzentrationen in Pferdeställen mit Einzelhaltung in Boxen. In: 7. Tagung. Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Hrsg. : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.(KTBL), 49-54.
- Hilliger, H.G. (1990): Stallgebäude, Stallluft und Lüftung. Ein technisch-hygienischer Ratgeber für Tierärzte. 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.

- Hunter, L. und Houpt, K.A. (1989): Bedding material preferences of ponies. *Journal of Animal Science*, 67; 1986-1991.
- Hüther, L. (1999): Entwicklung analytischer Methoden und Untersuchung von Einflussfaktoren auf Ammoniak-, Methan-, und Distickstoffmonoxidemissionen aus Flüssig- und Festmist. Diss., Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 200, ISBN 3-933140-22-6, Braunschweig.
- Hüther, L.; Schuchardt, F.; Willke, T. (1997): Emissions of ammonia and greenhouse gases during storage and composting of animal manures. In: Voermans, J.A.M. and Monteny, G.J. (eds.), *Ammonia and odour control from animal production facilities. Proceedings of the International Symposium. Research Station for Pig Husbandry (PV), Rosmalen, 327-334.*
- Jaep, A. (2004): Wirtschaftlichkeit. In: *Pferdehaltung im landwirtschaftlichen Betrieb. KTBL-Schrift Nr. 405, Darmstadt.*
- 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.
- Jussen, U.; Zeitler, M.; Groth, W. (1984): Untersuchungen über Haltungs- und Hygieneverhältnisse in bayrischen Pferdebeständen, 1. Mitteilung: Stallgebäude und Haltungssysteme. *Züchtungskunde*, 56, 199-208.
- Kaaden, O. (1984): Luft als Vektor viraler Krankheitserreger. In: *Dust in animal houses. Symposium of the International Society of Animal Hygiene, Hannover, 13.-14. March 1984, 98-107, Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (Hrsg.).*
- Kaiser, S. (1999): Analyse und Bewertung eines Zweiraumkompoststalles für Mastschweine unter besonderer Berücksichtigung der gasförmigen Stoffströme. Diss. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft, VDI Nr. 334, Cuvillier Verlag. Göttingen.
- Katayama, Y.; Oikawa, M.; Yoshihara, T.; Kuwano, A.; Hobo, S. (1995): Clinico-pathological 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.

- Knowles R. (1982): Denitrification. *Microbiological Reviews*, 46, 43-70.
- Korries, O. (2003): Untersuchung pferdehaltender Betriebe in Niedersachsen. Bewertung unter dem Aspekt der Tiergerechtigkeit, bei Trennung in verschiedene Nutzungsgruppen und Beachtung haltungsbedingter Schäden. Diss., Tierärztl. Hochsch. Hannover.
- 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.
- Krupa, S. (2001): Atmosphere and agriculture in the new millennium. *Environmental Pollution*, 126, 293-300.
- Lawrence, L.M.; Bump, K.D.; McLaren, D.G. (1988): Aerial ammonia levels in horse stalls. *Equine Practice*, 10(10), 20-23.
- Leadon, D.P. (1986): Air hygiene in stables. *Irish Vet. Journal*, 40, 90-92.
- Lebelt, D. (1998): Problemverhalten beim Pferd. Enke-Verlag, Stuttgart.
- Loehr, R.C. (1974): Agricultural waste management – problems, processes and approaches. Academic Press, New York, USA.
- Malikides, N. und Hodgson, J. (2003): Inflammatory airway disease in young thoroughbred racehorses. Rural Industries Research and Development Corporation, No 03/089. www.rirdc.gov.au, abgerufen am 30.7.2004.
- Marten, J. (2000): Leitsatz: Bauliche Anlagen für die Pferdehaltung. KTBL-Arbeitsblatt Nr.1108, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- 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.
- McGreevy, P.D.; Cripps, P.J.; French, N.P.; Green, L.E.; Nicol, C.J. (1995): Management factors associated with stereotypic and redirected behavior in the Thoroughbred horse. In: *Equine Veterinary Journal*, 27(2), 86-91.
- Meissner, P. (2004): Analyse und Bewertung des Emissionsverhaltens eines einstreulosen Mastschweinstalles mit Spülmistung im Vergleich zu Güllelagerung im Stall. Diss. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI. Cuvillier Verlag. Göttingen.
- Meyer, H. und Coenen, M. (2002): Pferdefütterung. 4.Aufl., Parey Buchverlag, Berlin, S. 92ff.

- Mills, D.S.; Eckley, S.; Cooper, J.J. (2000): Thoroughbred bedding preferences, associated behaviour differences and their implications for equine welfare. *Animal Science*, 70, 95-106.
- Monteny, G.J. (2000): Modelling of Ammonia Emissions from Dairy Cow Houses. Ph.D.Thesis, University of Wageningen, the Netherlands.
- Monteny, G.J. und Erisman, J.W. (1998): Ammonia emissions from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Animal Science*, 46, 225-247.
- Mothes, E. (1973): Stallklima – Leistungsfaktor der Tierproduktion, VEB-Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- 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.
- Müller, W.; Wieser, P.; Woiwode, J. (1977): Zur Größe koloniebildender Einheiten in der Stallluft. *Berl. Münch. Tierärztliche Wochenschrift*, 90, 6-11.
- Muhle, H. (1994): Respirationstrakt. In: *Lehrbuch der Toxikologie*. Marquardt, H.; Schäfer, S.G. (Hrsg.), BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim-Leipzig-Wien-Zürich, 218-233.
- Munch, C. (1995): Spurengasemissionen aus Land- und Forstwirtschaft. In: *Klimawirkungsforschung im Geschäftsbereich des BML*, Heft 442, 29-33.
- NN, (2008): Allspan Pferdeeinstreu – Hobelspäne, www.allspan.de, abgerufen am 14.01.2008.
- NN, (2008): Biolan, die Alternative für Allergiker. www.biolan.de/martens_hohenheim, abgerufen am 12.04.2008.
- NN, (2008): Eurolin. www.eurolin.de, abgerufen am 12.01.2008.
- NN, (2008): Siccoflor-Hanfeinstreu, www.nafgo.de, abgerufen am 14.01.2008.
- Neubert, U. (2001): Pensionspferdeställe – Funktionalität und Kundenwünschezusammenbringen. 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, Belgium.

- Oldenburg, J. (1989): Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift 333, Darmstadt.
- Pearson, C.C. und 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.
- Pedersen, S. (1992): Dust and Gases. 2nd Report of Working Group "Climatization of Animal Houses", CIGR, Faculty of Agricultural Sciences, State University of Ghent, Belgium, 111-147.
- Petersen, S.; Tölle, K.H.; Blobel, K.J.; Krieter, J. (2004): Bewertung pferdehaltender Betriebe in Schleswig-Holstein. In: Tagungsband Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V. und Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaft am 29./30. September 2004 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.
- Rade, C. und Kamphues, J. (1999): Zur Bedeutung von Futter und Fütterung für die Gesundheit des Atmungstraktes von Tieren sowie von Menschen in der Tierbetreuung. *Übersicht Tierernährung*, 27, 65-121.
- Raymond, S.L.; Curtis, E.F.; Clarke, A.F. (1994): Comparative dust challenges faced by horses when fed with alfalfa cubes and hay. *Equine Practice*, 16, 42-47.
- Richter, W.; Werner, E.; Bähr, H.; Van den Weghe, H. (1992): *Grundwerte der Tiergesundheit und Tierhaltung*. Gustav Fischer Verlag Jena. ISBN 3334603849.
- Sainsbury, D.W.B. (1981): Ventilation and environment in relation to equine respiratory disease. *Equine Veterinary Journal*, 13, 167-170.
- Sawyer, K. (2005): Horse stall bedding.
www.das.psu.edu/user/equine/ansc407/horseBarnsProject/sawyerbedding.htm
- Schäfer, M. (1991): Ansprüche des Pferdes an seine Umwelt. In: Pirkelmann, H. (Hrsg.) 1991. *Pferdehaltung*, 2. Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 15-73.

- Schlegel, H.G. (1992): Allgemeine Mikrobiologie. 7. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Schnitzer, U. (1970): Untersuchungen zur Planung von Reitanlagen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Heft 6, Landwirtschaftsverlag, Darmstadt/Münster-Hiltrup.
- Seedorf und Hartung (2002): Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), KTBL-Schrift 393, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- Seidensticker, C. (1999): Abgangsursachen entschädigter Pferde einer Tierversicherung aus den Jahren 1990-1995. Diss., Tierärztl. Hochschule Hannover.
- Sibbesen, E. und Lind, A.M. (1993): Loss of nitrous oxide from animal manure in dungheaps. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 43, 16-20.
- Sonnenberg, H. (2002): Mechanische Aufbereitung von Einstreumaterial für die Tierhaltung zur Verbesserung der Qualität. Diss. Fachbereich Agrartechnik, Universität Kassel/Witzenhausen, FAL Braunschweig.
- Srinath, E.G. und Loehr, R.C. (1974): Ammonia desorption by diffused aeration. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 46 (8), 1939-1957.
- Swinker, A.M.; Tanner, M.K.; Johnson, D.E.; Benner, L. (1998): Composting characteristics of three bedding materials. *Journal of Equine Veterinary Science*, 18(7), 462-466.
- 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.
- Ubbenjans, M. (1981): Untersuchungen von Reitpferden auf künstlichen Bodenbelägen. In: Deutsche Reiterliche Vereinigung und Zeeb, K. (Hrsg.) Aktuelle Aspekte der Ethologie in der Pferdehaltung, Wissenschaftliche Publikation 2, FN-Verlag der Deutschen Reiterliche Vereinigung, Warendorf, 103-116.
- Van Caenegem, L. und Wechsler, B. (2000): Stallklimawerte und ihre Berechnung. Schriftenreihe der Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), 9-27, CH-8356, Tänikon TG, Schweiz.

- Van den Weghe, H.F.A., Kaiser, S., Arkenau, E.F., Winckler, C. und Hartwig, A. (1998): Assessment of a new Deep litter System and a Slatted Floor Housing System for Fattening Pigs on Indoor Air Quality Animal Behaviour and Systematic Injuries. In: 49th Annual Meeting of the European Association for Animal Production Commission on Animal Management and Health - Session III, 24th - 27th August 1998, Warsaw.
- 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.
- Wathes, C. M. (1989): Ventilation of stables. *Farm Buildings and Engineering*, 6, 21-25.
- 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.
- Wellinger, A.; Baserka, U.; Edelmann, V.; Egger, K.; Seiler, B. (1991): *Biogas Handbuch, Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Biogasanlagen*. Verlag Wirz, Aarau, Schweiz.
- Wilkerson, V.A.; Casper, D.P.; Mertens, D.R.; Tyrell, H.F. (1994): Evaluation of several methane producing equations for dairy cows. In: Aguilera, J.F. (ed.) *Energy Metabolism of Farm Animals*. EAAP Publication no. 76, C.S.I.C., Publishing Service, Granada, Spain: 395 pp.
- 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 se-

- lected 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., Jussen, U., Groth, W. (1984): Untersuchungen über Haltungs- und Hygieneverhältnisse in bayerischen Pferdebeständen, 2. Mitteilung: Hygienemaßnahmen und Stallklima. Züchtungskunde 56, 209-218.
- 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. (2001): Handbuch Pferdeverhalten. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 10-137.
- 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.
- Zhang, R.H.; Day, D.L.; Christianson, L.L. und Jepson, W.P. (1994): A computer model for predicting ammonia release rates from swine manure pits. Journal of agricultural Engineering Research, 58, 223-229.

Richtlinien und Gesetze

- BMVEL (1995): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. www.verbraucherministerium.de, abgerufen am 29.07.2004.
- Comité Européen de Normalisation (CEN). Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles. CEN Standard EN 481, 1993. CEN, Brussels, Belgium.
- DIN 18910 (1992): Wärmeschutz geschlossener Ställe. Wärmedämmung und Lüftung. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO 7708: Air quality-Particle size fraction definitions for health-related sampling, 1995.

Danksagung

Hiermit möchte ich all jenen herzlich danken, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben:

Herrn Prof. Dr. Ir. Van den Weghe und Frau PD Dr. Hessel für die Überlassung des Themas und für die wissenschaftliche Betreuung,

Herrn Prof. Dr. Dr. Gauly für die Übernahme des Korreferates,

der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) für die Bereitstellung der Projektmittel,

Manuela, Jörgen, Ali, Kalle, Ralf für die schöne und unterhaltsame Zeit im FOSVWE, und besonders Kerstin für die große Unterstützung und eine tolle Büro- und Wohngemeinschaft,

dem Team der Werkstatt für die regelmäßige Hilfe bei der Durchführung meiner Versuche und der gesamten Labormannschaft für die Durchführung der Laboranalysen.

Ein großes Dankeschön gilt besonders meinen Eltern, Schwestern und Dirk, die mich in den letzten drei Jahren immer unterstützt und bestärkt haben.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Kathrin Fleming
 Anschrift: Ehrener Kirchweg 6
 49624 Lönningen
 05432/905838
 Geburtsdatum/-ort: 20.07.1980 in Lönningen
 Staatsangehörigkeit: deutsch
 Familienstand: ledig

Schulbildung

1986 – 1990 Grundschole Evenkamp
 1990 – 1992 Orientierungsstufe Lönningen
 1992 – 1999 Copernicus-Gymnasium, Lönningen
 Abschluss: Abitur

Studium

1999 – 2004 Studium Agrarwissenschaften
 Georg-August-Universität, Göttingen
 Abschluss: M. Sc. agr.

Studienbegleitende Praktika

August – Oktober 2002 Landwirtschaftlicher Betrieb Bernd
 Hörstmann, Dinklage
 09.07.-23.08.2003 Verband der Züchter des Oldenburger
 Pferdes, 49377 Vechta
 01.-30.11.2004 Business Development Department "Fo-
 garty Klein Monroe Advertising and Market-
 ing Agency", Houston, Texas

Berufliche Tätigkeiten

1.3.2005 – 31.3.2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin/Doktorandin
 am Forschungs- und Studienzentrum für
 Veredelungswirtschaft Weser-Ems der Ge-
 org-August Universität Göttingen in Vechta
 1.9.2006 – 31.7.2008 Nebenbeschäftigung als Teilzeitlehrkraft für
 angehende Pferdewirte an der Berufsbil-
 denden Schule (Justus-von-Liebig) in Vech-
 ta
 ab 1.9.2008 Lehrkraft an der Berufsbildenden Schule
 (Justus-von-Liebig) in Vechta