

Pferdegesundheit: Staub- und Ammoniakemissionen von acht verschiedenen Einstreumaterialien

Conny Herholz¹, Jan Kocher¹ und Peter Küng²

¹Berner Fachhochschule BFH, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

²MUUTU AG, 3008 Bern, Schweiz

Auskünfte: Conny Herholz, E-Mail: conny.herholz@bfh.ch

<https://doi.org/10.34776/afs11-230> Publikationsdatum: 20. November 2020



Auch bei staubarmen Einstreumaterialien kommen den Managementfaktoren eine zentrale Rolle in Bezug auf die tatsächlichen Staub- und Ammoniakemissionen zu.

(Foto: Conny Herholz, HAFL)

Zusammenfassung

Anhand von zwei standardisierten Versuchen wurden Staub- und Ammoniakemissionen von acht verschiedenen Einstreuarten (Weizenstroh, Holzgranulat, Papierschnitzel, Komposteinstreu (Bio-Waldboden), Strohpellets, Eukalyptus-Hanf-einstreu, Leinen-Hanf-einstreu und Chinaschilf) getestet. Die Staubmessungen haben gezeigt, dass die Hanf-Eukalyptus-einstreu bei den Partikelgrößen PM 2,5 und PM 10 die höchsten Staubemissionen verursachte. Die Maximalwerte beliefen sich dabei auf 372 µg/m³ (PM 2,5) bzw. 1845 µg/m³ (PM 10). Demgegenüber waren die Staubemissionen bei Komposteinstreu mit Maximalwerten von 32 µg/m³ (PM 2,5) bzw. 162 µg/m³ (PM 10) verglichen mit den anderen Einstreuarten sehr tief. Die Ammoniak-Emissionen (NH₃) rangierten von 0,2 ppm an Tag 1 bis 51,5 ppm an Tag 7, wobei sich die

Einstreumaterialien in den Konzentrationen an den verschiedenen Messtagen wenig unterschieden. Nur bei der Komposteinstreu konnten am Tag 3 signifikant ($p < 0,05$) höhere Ammoniakemissionen gemessen werden als bei den anderen Einstreumaterialien. Ein weiterer Versuch unter Verwendung von je 200 g, 400 g und 1500 g Komposteinstreu ergab, dass durch eine höhere Einstreudicke die Ammoniakemissionen abnahmen (maximale mittlere NH₃-Emission bei 1500 g betrug 3,9 ppm). Die Studie hat gezeigt, dass durch die Einstreuwahl allein weder kritische Staub- noch Ammoniakemissionen ausgeschlossen werden können, so dass ein angepasstes Einstreu- und Stallmanagement entscheidend sein kann.

Key words: bedding, dust, ammonia, horse.

Einleitung

Auf dem Markt ist eine Vielzahl von verschiedenen Einstreumaterialien für Pferdehaltungen zu finden. Je nach Material werden unterschiedliche Eigenschaften der Einstreu hervorgehoben, wozu beispielsweise Staubfreiheit, Geruchslosigkeit, Verhinderung von Schimmelbildung, Ammoniakbindefähigkeit, Kompostierbarkeit, hohe Hygiene, Saugfähigkeit und Haltbarkeit zählen. Gesundheit und Wohlbefinden der Pferde spielen bei der Einstreuwahl eine zentrale Rolle.

Insbesondere der Atemtrakt des Pferdes ist sehr empfindlich gegen Partikel und schädliche Gase in der Luft, aber auch der Atemwegsgesundheit der Stallmitarbeitenden muss Beachtung geschenkt werden. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Form der Haltung einen wichtigen Effekt auf die Lungengesundheit des Pferdes hat (Holcome *et al.* 2001). Ebenso wurde gezeigt, dass verschiedene Einstreumaterialien die Qualität des Stallklimas unterschiedlich beeinflussen, insbesondere in Bezug auf die Ammoniakkonzentration (Fleming *et al.* 2008). Ammoniak ist eines der wichtigsten und schädlichsten Stallgase und kann die Atemwege schädigen (Katayama *et al.* 1995). Ab einer Konzentration von 8 bis 10 ppm wird Ammoniak vom Menschen geruchlich wahrgenommen (Richter und Karrer 2006). Diese Obergrenze von 10 ppm deckt sich mit den Empfehlungen für die maximalen Ammoniakwerte in der Tierhaltung bzw. Pferdehaltung (BMEL 2009). In hohen Konzentrationen (20–25 mg/m³, ca. 29–36 ppm) kann es die Haut und Schleimhäute der Atemwege massgeblich irritieren.



Abb. 1 | Acht Einstreumaterialien mit 400 g in Schalen zur täglichen Durchmischung mit 60 g Kot und 30 ml Harn über 7 Tage zur Messung der Ammoniakemissionen. (Foto: Jan Kocher, HAFL)

In der vorliegenden Arbeit wurden acht verschiedene Einstreumaterialien unter standardisierten Bedingungen auf ihre Eigenschaften bezüglich Staubbildung und Ammoniakbindefähigkeit getestet, um äussere Einflüsse wie Stallklima und Aktivität der Pferde auszuschliessen.

Material und Methoden

Einstreumaterialien, Temperatur und Luftfeuchte

Es wurden acht Einstreuarten getestet (Abb. 1):

1. unverarbeitetes, getrocknetes Weizenstroh
2. Weichholzgranulat mit 15 % Restfeuchte
3. Papierschnitzel aus Zeitungspapier
4. Kompostestreu (Bio-Waldboden®) aus gemischten, angerotteten Rinden-, Holz- und Kompostbestandteilen
5. Strohpellets aus thermisch und mechanisch behandeltem Weizenstroh
6. entstaubte Eukalyptus-Hanfeinstreu
7. entstaubte Leinen-Hanfeinstreu
8. Miscanthus aus entstaubten Chinaschilfhäckseln

Bis auf Stroh wurden alle Einstreumaterialien als «staubfrei oder staubarm» beworben, zwei Einstreusorten ebenfalls mit «wenig Ammoniakbildung oder kein Uringeruch».

Während der Messungen von Staub und Ammoniak wurden die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit mit einem Sensor der Firma OTP (Modell Standard AM2302, DHT22) aufgezeichnet. Der Messbereich der relativen Luftfeuchtigkeit betrug 0 % bis 100 % mit einer Genauigkeit von ± 2 %. Der messbare Temperaturbereich betrug mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ Grad Celsius -40 bis $+50$ Grad Celsius.

Die Staubmessungen

Zur standardisierten Erhebung der Staubemissionen wurden je 250 g Einstreumaterial in eine Plastikbox verbracht, welche einmal langsam um die eigene Achse gedreht wurde (Abb. 2a). Ein Schlauch, welcher bei der Mittelachse der Plastikbox mündete, führte aus der Box hinaus zu einem Staubsensor Typ SDS011 (Inovafit, Shandong Architecture, Universität China). Die Feinstaubpartikel wurden mit Hilfe eines Lasers vermessen, die Aufzeichnung erfolgte kontinuierlich. Die beiden Staubsensoren wurden je mit einem Kleinstcomputer verbunden. Diese erfassten und übermittelten die Staubdaten (Messgrößen PM 2,5 und PM 10) über ein



Abb. 2a | Plastik-Drehkisten zur standardisierten Staubmessung, A = Staubsensor, B = Kleinstcomputer, C = Mini-Computer.
(Foto: Jan Kocher, HAFL)

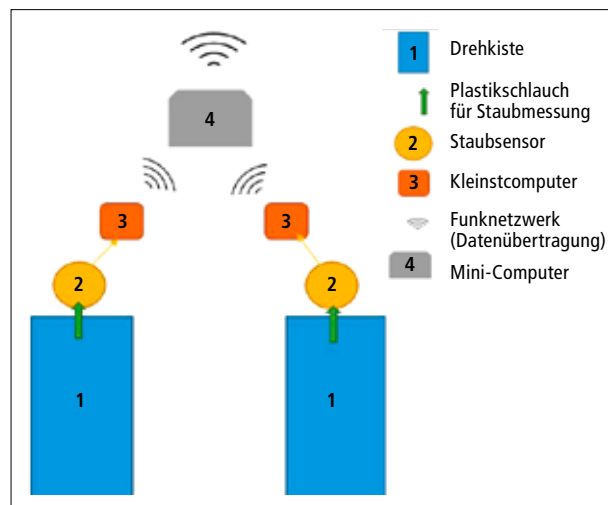


Abb. 2b | Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Staubmessung.

Funknetzwerk an den Mini-Computer (Abb. 2b). Auf diesem wurden die Daten gespeichert und konnten über eine grafische Benutzeroberfläche begutachtet und für weitere Auswertungen exportiert werden. Die Staubentwicklung wurde über 20 min hinweg aufgezeichnet, die anschließende Auswertung erfolgte für vier Phasen (Phase 1 = 0–2 min, Phase 2 = 2–5 min, Phase 3 = 5–10 min, Phase 4 = 10–20 min).

Ammoniakmessungen Hauptversuch

In Schalen mit je 400g Einstreumaterial wurden über sieben Tage je 30ml Urin und 60g Kot zugefügt und durchmischt (Abb. 1). Es wurde angenommen, dass bei den verschiedenen Einstreuarten für eine 12m² Box jeweils ca. 100kg Einstreu pro Box verwendet wird. Ein Pferd scheidet pro Tag ca. 15kg Kot und ca. acht Liter Harn aus. Daraus ergeben sich für die Schalen mit 400g Einstreu Tagesmengen von 30ml Urin und 60g Kot. Für die Ammoniakmessungen standen drei Kunststofffässer zur Verfügung (Abb. 3). Es handelte sich dabei um Obstfässer mit einer Höhe von 82cm und einem Durchmesser von 40cm. Die Fässer wurden im Abstand von 90cm voneinander aufgestellt. In einem Vorversuch wurde sichergestellt, dass es auch bei sehr hohen Ammoniakkonzentrationen im danebenliegenden Fass zu keiner Erhöhung der Ammoniakwerte kommt. Für den Versuch wurden drei Ammoniak Sensoren des Typs Polytron C300 vom Hersteller Dräger verwendet. Diese Ammoniak Sensoren wurden zur Langzeitüberwachung der Ammoniakkonzentrationen in Tierställen entwickelt. Die drei Ammoniak Sensoren wurden je in ein Fass gehängt. Der Abstand zwischen dem Boden und den

Sensoren betrug 30cm. Die Ammoniakkonzentration wurde in parts per million (ppm) gemessen, wobei der Messbereich der Sensoren von 0 bis 100ppm NH₃ beträgt und die Messgenauigkeit 1,5ppm. Vor dem Versuch wurden die Sensoren mit 50ppm NH₃ Prüfgas getestet und geeicht. Die Messwerte wurden von Datenloggern



Abb. 3 | Kunststofffässer mit eingehängten Ammoniak Sensoren und Ventilator zur anschliessenden Raumumlüftung.
(Foto: Jan Kocher, HAFL)

(MSR145W2D) der Firma MSR Electronics GmbH kontinuierlich erfasst (jede Sekunde eine Messung) und in die Cloud-Datenbank (<https://www.msrsmartcloud.com>) übertragen.

Die Ammoniakkonzentrationen der Einstreumaterialien wurden an Tag 0 (nach dem Befüllen der Plastikschaalen aber vor der ersten Beimischung von Urin und Kot), Tag 1, Tag 3, Tag 5 und Tag 7 gemessen. Die Daten wurden ohne Unterbruch aufgezeichnet. Die Einstreu wurde beim Hauptversuch vor den Messungen homogen in den Schalen durchmischt. Danach wurden die Schalen in die Fässer gestellt. Nach zehn Minuten wurde die Ammoniakkonzentration jeweils während einer zehnmütigen Messphase aufgezeichnet. Im Anschluss wurden die Einstreuschalen aus den Fässern entfernt. Die Tür und das Fenster im Versuchsraum wurden geöffnet. Zusätzlich wurde ein kleiner Ventilator gestartet, welcher für Luftbewegung im Versuchsraum sorgte. Frühestens nach zehn Minuten wurden die Messungen fortgesetzt. Davor wurde jeweils kontrolliert, ob die Ammoniakwerte 1,5 ppm nicht überschritten (Toleranzwert des Herstellers Dräger).

Ammoniakmessungen Nebenversuch

Die Einstreuart Komposteinstreu wurde in einem Nebenversuch mit drei verschiedenen Mengen (200 g, 400 g, 1500 g) getestet. Von jeder Einstreumenge gab es drei Wiederholungen. Die Methode unterschied sich grundsätzlich nicht von jener im Hauptversuch. Lediglich auf das Durchmischen der Einstreu vor den Messungen wurde verzichtet.

Statistik

Die Daten wurden im Programm NCSS (Version 9) mit einem «One way analysis of variance»-Test (ANOVA I) statistisch ausgewertet. Das Signifikanzniveau bei den

statistischen Auswertungen wurde auf 5 % festgelegt (p -Wert $<0,05$). Der Tukey-Kramer-Multiple-Comparison-Test wurde verwendet, um signifikante Unterschiede (p -Wert $<0,05$) zwischen den Einstreuarten zu ermitteln.

Resultate und Diskussion

Temperatur und Luftfeuchte

Die Temperatur lag während der Staubmessungen durchschnittlich bei 22,6 Grad Celsius (19,4 bis 24,9 °C) und die mittlere relative Luftfeuchte bei 44,1 % (35,8 bis 50,8 %). Während der fünf Tage der Ammoniakmessungen betrug die durchschnittliche Tagestemperatur 26,3 °C (22,0 bis 30,6 °C) und die mittlere relative Luftfeuchte 47,7 % (22,1 bis 64,9 %). Frühere Studien haben gezeigt, dass Temperatur °C und relative Luftfeuchte % einen signifikanten Einfluss ($p < 0,05$) auf die Staubentwicklung und Ammoniakgeneration in Pferdeställen haben (Nazarenko *et al.* 2018; Herholz *et al.* 2020). Relative Luftfeuchte und die Generierung von einatembaren Staubpartikeln sind negativ korreliert (Ediagbonya *et al.* 2013). Es ist weiterhin bekannt, dass die Ammoniakkonzentrationen und die Umgebungstemperatur positiv korrelieren, d.h. je höher die Temperatur, desto mehr Ammoniak wird in die Luft abgegeben (Käck 1996). Entsprechend wurden diese Umweltbedingungen dokumentiert und müssen bei der Interpretation der Ergebnisse (Tab. 2–4) berücksichtigt werden.

Staubmessungen

Von der Weltgesundheitsorganisation WHO werden für den Menschen im Tagesdurchschnitt maximale Staubexpositionen mit der Grösse PM 2,5 von 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und PM 10 von 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ empfohlen. In der Schweiz existieren keine gesetzlichen Bestimmungen zu Maximalkon-

Tab. 1 | Mittlere experimentelle Feinstaub (PM 2,5; $\mu\text{g}/\text{m}^3$) -Entwicklung und -Setzung von acht Einstreumaterialien im Vergleich

Einstreu	Phase 1 = 0–2 min mean PM 2,5; $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Phase 2 = 2–5 min mean PM 2,5; $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Phase 3 = 5–10 min mean PM 2,5; $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Phase 4 = 10–20 min mean PM 2,5; $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Waldboden	16,6 ^c	14,5 ^c	10,3 ^b	5,0 ^c
Papier	82,1 ^{bc}	58,6 ^b	27,8 ^{bc}	10,7 ^{bc}
Stroh	94,6 ^b	36,8 ^{bc}	11,9 ^b	4,0 ^c
Strohpellet	96,7 ^{bc}	51,1 ^b	18,9 ^{bc}	5,3 ^c
Chinaschilf	97,6 ^{bc}	62,4 ^b	28,1 ^{bc}	10,9 ^{bc}
Holzgranulat	162,3 ^b	92,8 ^a	47,1 ^{bc}	19,1 ^b
Leinen-Hanf	191,1 ^{ab}	106,2 ^{ab}	57,5 ^{bc}	20,8 ^b
Hanf-Eukalyptus	284,8 ^a	232,2 ^a	108,8 ^a	41,4 ^a

^{a,b,c}: verschiedene Superskripte zeigen signifikante Unterschiede an ($p < 0,05$)

Tab. 2 | Mittlere experimentelle Feinstaub (PM 10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)-Entwicklung und -setzung von acht Einstreumaterialien im Vergleich

Einstreu	Phase 1 = 0–2 min mean PM 10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Phase 2 = 2–5 min mean PM 10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Phase 3 = 5–10 min mean PM 10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Phase 4 = 10–20 min mean PM 10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Waldboden	94,2 ^b	68,9 ^b	45,2 ^b	20,3 ^c
Papier	455,0 ^{bd}	321,9 ^{bc}	143,4 ^b	50,5 ^{bcd}
Stroh	871,2 ^{bcd}	379,3 ^{bc}	112,7 ^b	33,8 ^{cd}
Strohpellet	1003,0 ^{acd}	567,8 ^{bc}	197,6 ^b	46,4 ^{bcd}
Chinaschilf	813,5 ^{bcd}	531,6 ^{bc}	250,0 ^b	93,0 ^{acd}
Holzgranulat	1240,8 ^{bc}	812,1 ^{ac}	397,7 ^{ab}	153,4 ^{ab}
Leinen-Hanf	1231,4 ^{acd}	717,4 ^{ab}	368,6 ^{ab}	129,5 ^{ad}
Hanf-Eukalyptus	1651,8 ^a	1347,8 ^a	704,1 ^a	293,4 ^a

^{a,b,c}: verschiedene Superskripte zeigen signifikante Unterschiede an ($p < 0,05$)

zentrationen von Staub in Pferdehaltungen (BLV 2018). Labie *et al.* (2019) empfehlen für Pferdeställe bei der PM 2,5-Fraktion einen Grenzwert von $15\mu\text{g}/\text{m}^3$, für die PM 10-Fraktion einen Grenzwert von $30\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die gemessenen Höchstwerte an PM 2,5 und PM 10 lagen bei allen Einstreumaterialien mit Ausnahme der PM 2,5-Fraktion bei der Komposteinstreu weit über den empfohlenen Grenzwerten für den Menschen wie auch über denen nach Labie *et al.* (2019) für Pferde. Durch die Bewegung des Materials in den Plastikboxen kann ein extremer Einstreuprozess und damit verbundene Staubbefreiung in der Pferdebox simuliert werden (Szabo *et al.* 2004). Auch beim Ausmisten der Boxen oder beim Wischen in der Stallgasse ist es denkbar, dass kurzzeitig ähnlich hohe Messwerte festgestellt werden könnten (Labie *et al.* 2019).

Die Einstreuart hatte bei beiden Partikelgrößen und sämtlichen Phasen einen signifikanten Einfluss auf die Staubkonzentration (p -Wert $< 0,05$). Dabei hat sich gezeigt, dass Hanf-Eukalyptuseinstreu während allen Pha-

sen die höchste durchschnittliche Staubkonzentration verursachte. Die Staubkonzentration der Partikelgrößen PM 2,5 und PM 10 von Hanf-Eukalyptuseinstreu lag höher als bei allen anderen Einstreuart. Die Maximalwerte beliefen sich in Phase 1 auf $372\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 2,5) bzw. $1845\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 10) (Tab. 1 und 2). Ein vergleichbares Ergebnis, bezogen auf die Hanfeinstreu, wurde zuvor ebenfalls in den Versuchen von Fleming *et al.* (2008) und Szabo *et al.* (2004) erzielt. Demgegenüber waren bei der Komposteinstreu in der Phase 1 mit mittleren Werten von $16,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 2,5) bzw. $94,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM 10) jeweils die tiefsten Staubkonzentrationen zu beobachten (Tab. 1 und 2, Abb. 4 und 5).

Insbesondere für die Partikelgröße PM 10 zeichneten sich noch nach 20 Minuten nach Aufwirbeln des Materials in der Staubbox (Phase 4) grosse Unterschiede ab. Während nach dieser Zeit die Staubkonzentration PM 10 nur bei der Komposteinstreu auf unter $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ abfiel, wiesen Papier, Strohpellets und Stroh nach dieser Zeit Werte unter $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Die übrigen Einstreuart la-

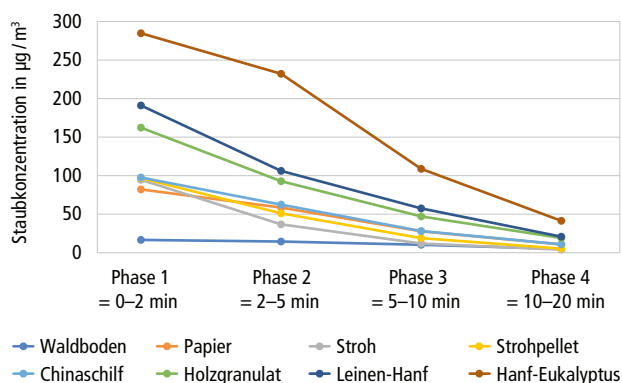


Abb. 4 | Mittlere Staubkonzentration PM 2,5 der acht verschiedenen Einstreumaterialien von 0 bis 20 min nach dem Drehvorgang in den Plastikboxen.

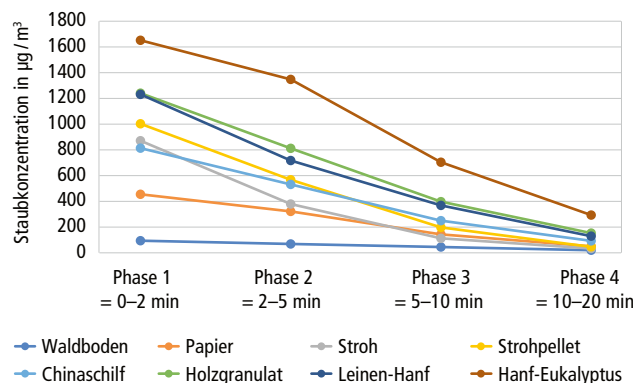


Abb. 5 | Mittlere Staubkonzentration PM 10 der acht verschiedenen Einstreumaterialien von 0 bis 20 min nach dem Drehvorgang in den Plastikboxen.

Tab. 3 | Mittlere experimentelle Ammoniak (NH₃, ppm) -Entwicklung nach Tag 1, 3, 5, 7 aus je 400 g Einstreumaterial nach Zusatz von Pferdeharn und -kot mit anschliessender Durchmischung

Einstreu	NH ₃ ppm Tag 1 Temp. = 25,2 °C	NH ₃ ppm Tag 3 Temp. = 26,8 °C	NH ₃ ppm Tag 5 Temp. = 28,4 °C	NH ₃ ppm Tag 7 Temp. = 28,3 °C
Waldboden	5,5 ^a	26,0 ^a	19,3 ^a	41,0 ^a
Papier	0,2 ^a	0,6 ^b	33,5 ^a	51,5 ^a
Stroh	0,2 ^a	2,1 ^b	32,5 ^a	49,7 ^a
Strohpellet	0,2 ^a	8,0 ^b	41,9 ^a	45,8 ^a
Chinaschilf	0,2 ^a	5,2 ^b	41,8 ^a	48,0 ^a
Holzgranulat	0,2 ^a	0,3 ^b	40,1 ^a	46,4 ^a
Leinen-Hanf	0,3 ^a	9,2 ^b	34,1 ^a	33,8 ^a
Hanf-Eukalyptus	0,2 ^a	5,0 ^b	39,2 ^a	43,1 ^a

^{a,b}: verschiedene Superskripte zeigen signifikante Unterschiede innert eines Messtages an (p < 0,05)

gen für die Feinstaubkonzentration PM 10 auch noch nach 20 min über 50 µg/m³.

Seelemeyer *et al.* (2014) untersuchten sogenannten «Frischkompost». Dabei resultierte die Erkenntnis, dass sich Komposteinstreu durch eine sehr geringe Staubbelastung auszeichnet. Glantschnig (2013) führte eine Umfrage bei Landwirten durch, welche eine Komposteinstreu in Rinderställen verwendeten. Dabei hat sich ebenfalls ergeben, dass die befragten Landwirte diese Einstreuart als staubarm empfanden. Die Komposteinstreu im vorliegenden Versuch wurde vor dem Gebrauch dunkel und vor Wettereinflüssen geschützt gelagert. Obwohl die Komposteinstreu nicht bewässert wurde, war sie subjektiv betrachtet verglichen mit den anderen Einstreumaterialien am feuchtesten und damit weniger staubig. Die Staubkonzentrationen geben jedoch keinen Rückschluss auf die Zusammensetzung der Partikel. Allergene wie Schimmelpilze und Actinomyceten können auch in kleinen Konzentrationen gesundheitsschädlich sein. Insbesondere der Gehalt an Actinomyceten wurde bei Biokompost als kritisch für die Lungengesundheit der Pferde angesehen (Seedorf *et al.* 2007).

Die mittleren Staubkonzentrationen PM 2,5 und PM 10 der Leinen-Hanf- und des Holzgranulates waren nach der Hanf-Eukalyptuseinstreu am höchsten (Tab. 1 und 2). Während allen Phasen und bei beiden Partikelgrössen verursachten diese beiden Einstreuarten nie signifikant weniger Staub als Hanf-Eukalyptuseinstreu (p-Wert > 0,05).

Weizenstroh generierte in vorliegendem Versuch im Vergleich moderate Staubkonzentrationen der Partikelgrössen PM 2,5 und PM 10, welche ähnlich oder sogar tiefer lagen als bei Strohpellet und Chinaschilf (Tab. 1 und 2). Auch gegenüber Holzgranulat generierte Stroh eine geringere Konzentration luftgetragener Partikel,

vergleichbar mit der Arbeit von Nazarenko *et al.* (2018). In der Studie von Herholz *et al.* (2020) verursachten Holzspäne bei verschiedenen Belüftungssituationen auf 53 cm Messhöhe eine signifikant (p < 0,05) höhere Staubkonzentration PM 2,5 gegenüber Weizen- und Gerstenstroh. In der Studie von Labie *et al.* (2019) lag die Konzentration der Partikelgrösse PM10 bei den getesteten Strohsorten etwas höher als bei Holzspänen, die Konzentrationen der Partikelgrösse PM 2,5 waren bei Stroh und Holzspänen vergleichbar.

Doch auch hier ist zu betonen, dass die erhobenen Staubkonzentrationen keinen Rückschluss auf den organischen Allergengehalt des Staubs zulassen, welcher eine grosse Rolle in der Pathogenese des Equinen Asthmas spielt (Pirie *et al.* 2003).

Die Zusammensetzung und die Konzentration des Staubs wird durch zahlreiche Faktoren wie das Management, die Stallbelüftung, die Tierbesatzdichte, Luftfeuchte und Temperatur beeinflusst (Fleming *et al.* 2009). Die gemessenen Ergebnisse können daher nicht direkt auf Stallbedingungen übertragen werden, sondern beziehen sich allein auf das Einstreumaterial an sich. Nicht alle getesteten Einstreuarten werden gleichermaßen angewendet. Während Stroh in einem Wechselstreuverfahren täglich nachgestreut wird, werden beispielsweise Boxen mit Spänen oder Waldboden seltener mit neuer Einstreu befüllt (Fleming 2008).

Ammoniakmessungen

Vor der Beimischung von Urin und Kot (Tag 0) lagen die gemessenen Ammoniakkonzentrationen bei maximal 0,2 ppm. Am ersten Tag lagen die mittleren Ammoniakkonzentrationen bei der Komposteinstreu mit 4–7 ppm höher als die Ammoniakkonzentrationen aller restlichen Einstreumaterialien (unter 1 ppm), allerdings erwies sich

Tab. 4 | Mittlere experimentelle Ammoniak (NH₃, ppm) -Entwicklung nach Tag 3, 5, 7 aus 200, 400 und 1500 g Waldboden nach Zusatz von Pferdeharn und -kot ohne anschliessende Durchmischung

Einstreu Waldboden	NH ₃ ppm Tag 3 Temp. = 23,7°C	NH ₃ ppm Tag 5 Temp. = 27,5°C	NH ₃ ppm Tag 7 Temp. = 22,5°C
200 g	4,4 ^a	23,7 ^a	6,5 ^a
400 g	1,4 ^b	18,1 ^a	6,8 ^a
1500 g	0,2 ^b	3,9 ^b	0,7 ^b

^{a,b}: verschiedene Superskripte zeigen signifikante Unterschiede an ($p < 0,05$)

dieser Unterschied als nicht signifikant ($p > 0,05$, Tab. 3). Nur am Tag 3 lag die mittlere Ammoniakkonzentration von Komposteinstreu mit 25,9 ppm signifikant höher ($p < 0,05$) als bei sämtlichen anderen getesteten Einstreumaterialien. An allen anderen untersuchten Tagen unterschieden sich die Einstreumaterialien in Bezug auf die gemessene Ammoniakkonzentration nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$). Die höchste mittlere Ammoniakkonzentration betrug bei Papier 51,5 ppm an Tag 7 (Tab. 3).

Saastamoinen *et al.* (2015) stellten in ihrer Arbeit fest, dass Ammoniakkonzentrationen unter 0,25 ppm in Pferdeställen als nicht existent oder als sehr niedrig gelten. Die Autoren untersuchten Holzspäne und Torf als Einstreu in einem Stall mit zwölf Pferden über 84 Tage mit einer Einstreutiefe von je 10 cm. Die Holzspäne verursachten Ammoniakkonzentrationen von 1,5–7 ppm nach 42 Tagen und 4–7 ppm nach 84 Tagen. In vorliegender Studie betrug die Einstreuhöhe in den Schalen mit 400 g Material 5 cm und die Ammoniakemissionen stiegen bereits nach fünf Tagen weitaus höher an als in dem Versuch von Saastamoinen *et al.* (2015). Zum einen wurde kontinuierlich Kot und Harn zugefügt, die bei der kleinen Einstreumenge nicht mehr ausreichend absorbiert werden konnten. Zum anderen lag die Aussentemperatur mit durchschnittlich 26,3°C sehr hoch, was in der Studie von Saastamoinen *et al.* (2015) mit durchschnittlichen Aussentemperaturen von –1,7°C während der Versuchsperiode nicht der Fall war. Bei Temperaturen unter 0 Grad Celsius ist mit wesentlich geringeren Ammoniakemissionen zu rechnen (Käck 1996).

Fleming *et al.* (2008) haben ebenfalls experimentell in Plastikcontainern die Ammoniakkonzentrationen von verschiedenen Einstreumaterialien bestimmt. Auch in diesem Versuch wurde täglich, allerdings über 14 Tage hinweg, Urin und Kot in die Container eingebacht, bei einer Temperatur im Versuchsraum von 22°C. Untersucht wurden Stroh, Holzschnittel, Hanf, Leinen, Strohpellet und Papierschnittel. Die höchsten mittleren Ammoniakemissionen erzielten dabei Stroh (250 ppm), Papier

(231 ppm) und Holzgranulat (221 ppm), die geringsten erzielten Strohpellets (86 ppm).

Seedorf *et al.* (2007) erhoben in 9 m² grossen Boxen für Holzspäne einen Median für Ammoniak von 12,6 ppm, und für Kompost von 5,1 ppm.

Im Nebenversuch dieser Studie hat sich gezeigt, dass die Einstreumenge bei der Komposteinstreu einen wesentlichen Einfluss auf die Ammoniakemissionen hat (Tab. 4). Die Einstreudicke hatte bei allen drei Messtagen (Tag 3, Tag 5, Tag 7) einen signifikanten Einfluss auf die Ammoniakemissionen ($p < 0,05$). Dabei zeigte sich, dass am dritten Tag die Einstreumenge 200 signifikant ($p < 0,05$) mehr Ammoniak verursachte als bei 400 und 1500 g. Am fünften und siebten Tag resultierten bei 1500 g signifikant weniger ($p < 0,05$) Ammoniakemissionen als bei 200 g und 400 g Einstreu. Bei 1500 g wurde die vom Hersteller empfohlene Einstreudicke von 15 cm knapp erreicht. Ein weiterer Effekt konnte durch den Haupt- und Nebenversuch bei gleicher Einstreumenge von 400 g aufgezeigt werden. Während im Hauptversuch das Einstreumaterial nach Zugabe von Urin und Kot durchmischt wurde, geschah dies im Nebenversuch nicht. Durch die Durchmischung resultierte jeweils an Tag 7 bei 400 g Komposteinstreu im Hauptversuch eine höhere mittlere Ammoniakkonzentration mit 41,0 ppm gegenüber 6,8 ppm im Nebenversuch (Tab. 3 und 4). Dies bestätigen die Ergebnisse von Fleming (2008), dass hohe Ammoniakkonzentrationen in den Boxen vor allem beim Bewegen der Einstreu (Entmisten) entstehen.

Fazit und Empfehlung

Auch bei staubarmen Einstreumaterialien mit einer guten Ammoniakbindekapazität kommen den Managementfaktoren (Pflege der Einstreulflächen, Lüftung, Wischtechnik usw.) eine zentrale Rolle zu. Dies kam im vorliegenden Versuch insbesondere darin zum Ausdruck, als dass es 20 Minuten dauerte, bis sich die Staubkonzentration PM 2,5 und PM 10 nach dem «Aufschütteln» bzw. Bewegung der Einstreu in den Staub-

kisten wieder unter die empfohlenen Grenzen setzte. Daraus könnte abgeleitet werden, dass die Pferde nach dem Einstreuen und Wischen idealerweise mindestens eine halbe Stunde nicht im Stall sein sollten. Ohne Entmistungsmanagement muss bereits nach drei Tagen mit schädigenden Ammoniakkonzentrationen bei allen Einstreuarten gerechnet werden.

Die Einstreudicke scheint insbesondere bei der Kompost-einstreu ein entscheidender Faktor für die Minimierung von Ammoniakemissionen zu sein. ■

Dank

Ein herzlicher Dank geht sowohl an die B+M Einstreu AG als auch an die Kompomo GmbH, die uns Einstreumaterialien zur Verfügung gestellt haben.

Literatur

- BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen), 2018. Tierschutz-Kontrollhandbuch. Technische Weisungen über den baulichen und qualitativen Tierschutz Pferde und andere Equiden vom 1. Oktober 2018. Zugang: <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/tiere/tierschutz/nutztierhaltung/pferde-ref.html>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2009. Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutz Gesichtspunkten. Zugang: <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/tierschutz-pferdehaltung.html>
- Ediagbonya T.F., Ukebor E.E., Okieimen F.E., 2013. The influence of meteorological parameters on respirable and inhalable particle during wet season. *J. Appl. Sci. Environ. Manage* 17 (4) 441-448. Zugang: <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v17i4.1>
- Fleming K, 2008. 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 Georg-August-Universität Göttingen. Zugang: <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B039-A/fleming.pdf?sequence=1>
- Fleming K., Hessel E.F., van den Weghe H.F.A., 2008. Generation of Airborne Particles from Different Bedding Materials Used for Horse Keeping. *J. Equine Vet. Sci.*, 28 (7), 408–418. Zugang: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2008.05.004>
- Fleming K., Hessel E.F., van den Weghe H.F.A., 2009. Gas and particle concentrations in horse stables with individual boxes as a function of the bedding material and the mucking regimen. *J. Anim. Sci.*, 87 (11), 3805–3816. Zugang: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1569>
- Glantschnig T, 2013. Ermittlung des Arbeitszeitaufwands auf Milchviehbetrieben mit unstrukturierter Kompostfläche nach finalen Arbeitszeiterfassungsmethoden. Department für Nachhaltige Agrarsysteme Institut für Landtechnik. Masterarbeit Departement für nachhaltige Agrarsysteme, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Herholz C., Kocher J., Küng P., Burren A. 2020. Fallstudie zur digitalen Aufzeichnung der Staubentwicklung in Abhängigkeit von der Lüftungsöffnung und der Einstreu in einem Pferdestall. *Pferdeheilkunde – Equine Medicine* 36, 4, 316–324. DOI 10.21836/PEM20200405
- Holcombe S.J., Jackson C., Gerber V., Jeffcott A., Berney C., Eberhardt S. *et al.* (2001): Stabling is associated with airway inflammation in young Arabian horses. *Equine Vet. J.*, 33: 244–249.
- Käck M., 1996. Ammoniakemissionen bei der Kompostierung separierter Feststoffe aus Flüssigkeit in belüfteten Otterreaktoren. PhD Diss. VDI-MEG-Schrift 285. University of Stuttgart-Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- Katayama Y. Oikawa M., Yoshihara T., Kuwano A., Hobo S., (1995): Clinico-pathological effects of atmospheric ammonia exposure on horses. *J. Equine Sci.* 6, 99–104.
- Labie C., Kägi F., Küng P., Herholz C., 2019. Mesure digitale de la poussière dans les écuries pour chevaux: effet de la litière et du management. *Agroscope Science* 84, 26–27.
- Nazarenko Y., Westendorf M.L., Williams C.A., Mainelis G., 2018. The effects of bedding type in stalls and activity of horses on stall air quality. *J. Equine Vet. Sci.*, 67, DOI: 10.1016/j.jevs.2018.03.014
- Pirie RS, Collie DD, Dixon PM, McGorum BC, 2003. Inhaled endotoxin and organic dust particulates have synergistic proinflammatory effects in equine heaves (organic dust-induced asthma). *Clin Exp Allergy*. 2003 May; 33(5): 676-83. DOI:10.1046/j.1365-2222.2003.01640.x
- Richter T, Karrer M, 2006. Grundsätze der Nutztierhaltung. In: Richter T (Hrsg.). Krankheitsursache Haltung, Enke Verlag, Stuttgart, S.15-56.
- Saastamoinen M, Särkijärvi S, Hyypä S, 2015. Reducing Respiratory Health Risks to Horses and Workers. A Comparison of Two Stall Bedding Materials. *Animals*, 5 (4), 965–977. doi:10.3390/ani5040394
- Seedorf J., Schröder M., Köhler L., Hartung J., 2007. Suitability of biocompost as a bedding material for stabled horses: respiratory hygiene and management practicalities. *Equine vet. J.* 39 (2) 129-135. doi: 10.2746/042516407X170085
- Seelmeier S, Klimaschewski N, Wieneke K, Wassmuth R, Sitzenstock R, 2014. Humus als alternative Einstreu in Pferdeställen. 1. Netzwerktagung Pferdewissen, Hochschule Osnabrück, 33–36. https://www.hsosnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Studium/Studienangebot/Studiengaenge/Bachelorstudiengaenge/AuL/Landwirtschaft/Tagungsband_Netzwerk_Osnabrueck.pdf#page=33
- Szabo E., Schäfer I., Büscher W., 2004. Staubfreisetzung von Einstreumaterialien in der Pferdehaltung. *Landtechnik* 59 (6); 336–337.