

Ökonomische Bewertung von Holzpellets in der Pferdehaltung unter Berücksichtigung ethologischer und stallklimatischer Parameter

Franziska Christ, Diana Schneider, Sarah Schneider, Barbara Benz

Während Stroh und Hobelspäne zu den am häufigsten verwendeten Einstreumaterialien in der Pferdehaltung zählen und ihre Eigenschaften in zahlreichen Studien beschrieben werden, sind Holzpellets als Einstreumaterial noch wenig bekannt und bisher kaum untersucht. Daher wurden Holzpellets einem Praxistest auf einem Pferdebetrieb mit Einzelboxenhaltung unterzogen und mit Weizenstroh und Hobelspänen verglichen. Neben einem Vergleich der Wirtschaftlichkeit der drei Einstreumaterialien wurden Unterschiede im Pferdeverhalten und im Stallklima untersucht.

Aus ökonomischer Sicht zeichnete sich der Einsatz der Holzpellets durch die geringsten Lohn- und Materialkosten aus. Die Pferde verbrachten bei Einstreu mit Holzpellets allerdings weniger Zeit mit der Futtersuche und im Liegen und es wurden höhere Staub- und Ammoniakkonzentrationen in der Luft gemessen. Jedoch wurden die stallklimatischen Grenzwerte bei allen drei Einstreuarten deutlich unterschritten. Weizenstroh erwies sich als das Einstreumaterial, das den Bedürfnissen der Pferde am nächsten kam, während die Holzpellets aufgrund ihres hohen Potenzials zur Kosteneinsparung überzeugten.

Schlüsselwörter

Einstreu, Pferd, Holzpellets, Stallklima, Pferdeverhalten, Kosten

Eine Pferdepension stellt für landwirtschaftliche Betriebe bei günstigen betriebsindividuellen Voraussetzungen eine willkommene Einkommensquelle dar (HASSENPLUG und SCHINDLER 2011). Dabei ist die Einzelboxenhaltung noch immer das beliebteste und überwiegend vorkommende Haltungssystem für Pferde (ZEITLER-FEICHT 2015). Zum guten Ruf eines Pensionsbetriebs tragen das regelmäßige und gründliche Entmisten und Einstreuen bei (MARTEN 2004). Da außerdem eine möglichst lange Nutzungsdauer der Pferde anzustreben ist, um einen Ausgleich für die hohen Kosten der Haltung, Ausbildung und Aufzucht schaffen zu können, ist die Gesunderhaltung der Pferde (HOFFMANN 2011), auch im Sinne des Tierschutzes (TierSchG 2006), wesentlich.

In den „Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten“ (BMELV 2009) sind die Anforderungen an den Stallboden und die Einstreu beschrieben. Böden müssen trittsicher und rutschfest und der Liegebereich verformbar sein. Die Einstreumaterialien sollen eine hohe Saugfähigkeit aufweisen und die Entstehung erhöhter Schadstoffkonzentrationen verhindern. Des Weiteren sollen sie trocken und von hoher Qualität sein. Dies beinhaltet auch, dass das Material frei von Schimmel, Staub und giftigen Stoffen ist (BMELV 2009).

Das Einstreumaterial Holzpellets wurde bisher noch kaum untersucht. Laut Hersteller werden die Pellets ohne jegliche Zusatzstoffe zu 100 % aus unbehandeltem Weichholz gefertigt und sind daher für Pferde gesundheitlich unbedenklich. Der Hersteller wirbt mit 80 % weniger Mistaufkommen, schneller Verrottung, guten Kompostierungseigenschaften, platzsparender Lagerung, geringem Verbrauch und der Einsparung von Zeit und Geld.

Ziel der Studie war es, den Einsatz des Einstreumaterials Holzpellets mit dem Einsatz von Weizenstroh und Hobelspänen in der Einzelboxenhaltung von Pferden aus ökonomischer Sicht zu vergleichen. Hierfür wurden der Einstreuverbrauch, die Mistmasse und der Arbeitszeitaufwand auf einem Praxisbetrieb in Süddeutschland erhoben. Außerdem wurden das Pferdeverhalten sowie die Staub- und Ammoniakkonzentrationen in der Luft einiger Boxen berücksichtigt.

Stand des Wissens

Ökonomie

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit eines Einstreumaterials spielt neben der Arbeitswirtschaft (HAIDN et al. 2002) auch der Einstreupreis in Zusammenhang mit dem Verbrauch eine wichtige Rolle (BUCK 2012). Zudem sollte der Pensionsstallbetreiber die saisonale und regionale Verfügbarkeit, Lieferkonditionen, benötigte Lagerkapazitäten und Mistmengen bedenken (BUCK 2012).

Laut KTBL (2016) konnte für Stroh-Quaderballen im Jahr 2016 mit einem Preis von 120 €/t kalkuliert werden (Preisspanne: 70–180 €/t). Beim Einsatz von Weichholz-Hobelspänen ohne Rinde legte das KTBL (2016) für denselben Zeitraum einen Kalkulationswert von 379 €/t zugrunde (Preisspanne: 294–514 €/t). Für nicht aufbereitete Lignocellulosepellets wurde ebenfalls für 2016 ein Kalkulationswert in Höhe von 188 €/t (Preisspanne: 180–195 €/t) sowie in Höhe von 410 €/t (Preisspanne: 380–450 €/t) für aufbereitete Lignocellulosepellets ausgewiesen (KTBL 2016).

Die Angaben zur Nachstreuemenge von Stroh je Box variierten bei JAEP (2004) und MARTEN (2004) zwischen 30 und 55 dt/a. Ebenso wiesen NEBE (2005) mit 9,45 kg Strohnachstreu je Box und Tag (35 dt/a) und HÄUSSERMANN et al. (2002) mit 10,8 kg Strohnachstreu je Box und Tag im Wechselstreuverfahren (39 dt/a) eine Nachstreuemenge in derselben Größenordnung aus. Dies traf auch für den Verbrauch an groben Hobelspänen bei HÄUSSERMANN et al. (2002) zu. Im Wechselstreuverfahren lag dieser bei 10,6 kg täglich (39 dt/a).

Die Entmistung beansprucht in der Einzelboxenhaltung den größten Teil der für die Routinearbeiten aufgewendeten Zeit, wobei der Arbeitszeitbedarf je Box dabei weitgehend unabhängig von der Betriebsgröße ist (HAIDN et al. 2002). HAIDN et al. (2002) gaben den Arbeitszeitbedarf für die Entmistung unabhängig vom eingesetzten Einstreumaterial mit 61,91 AKh/Pferd und Jahr an, wohingegen FUCHS et al. (2012) mit 4,39 AKmin/Pferd und Tag (26,7 AKh/a) nur knapp die Hälfte des Arbeitszeitbedarfes auswiesen. JAEP (2004) gibt für ein Großpferd mit Weidegang 30 AKh/Pferd und Jahr und ohne Weidegang 47 AKh/Pferd und Jahr für das Entmisten und Einstreuen an. VON BORSTEL et al. (2010) haben in einer Untersuchung einen Arbeitszeitaufwand von 22,8 AKh pro Pferd und Jahr für die Pflege einer Strohbox im Matratzenstreuverfahren ermittelt. NEBE (2005) erhob eine Arbeitszeit von täglich 10 Min./Box bei Stroheinstreu (61 AKh/a), 7,5 Min./Box bei Hobelspäneinstreu (46 AKh/a) und 8 Min./Box bei Holzpelleteinstreu (49 AKh/a).

Pferdeverhalten

Die Haltung von Equiden sollte sich immer am natürlichen, angeborenen Verhalten und den sich daraus ergebenden Bedürfnissen anlehnen (ZEITLER-FEICHT 2013). Die grundlegenden Bedürfnisse der Pferde sind bis heute nahezu unverändert (BMELV 2009). Die Pferdehaltung ist daher umso tiergerechter, desto geringer die Abweichung zum Zeitbudget freilebender Equiden ist (PIRKELMANN et al. 2008). Frei in der Camargue lebende Pferde verbringen 60 % des Tages mit Fressen, 20 % mit Stehen, 10 % mit Liegen und 10 % mit Sonstigem (DUNCAN 1980 und KILEY-WORTHINGTON 1989 zitiert nach ZEITLER-FEICHT 2015).

Stallklima

Einen weiteren wichtigen Aspekt für die Beurteilung von Einstreumaterialien stellt deren Einfluss auf das Stallklima dar, denn der Respirationstrakt reagiert ausgesprochen sensibel auf zu hohe Konzentrationen von spezifischen Gasen und Staub (FLEMING 2008). Eine schlechte Luft im Stall kann ursächlich für eine Erkrankung des Atmungsapparats der Pferde sein (FRITZ und MALEH 2016). Die Entstehung von Atemwegserkrankungen können infektiöser Herkunft sein, aber auch durch reizende oder toxisch wirkende Gase oder durch das Einatmen von Staubpartikeln hervorgerufen werden (MEYER et al. 2014). Wie stark die negativen Folgen durch Staub sein können, ist im Wesentlichen abhängig von der Größe der Partikel (ART et al. 2002, GARLIPP 2011). Aufgrund dessen wird eine Kategorisierung in einatembare Teilchen ($PM < 100 \mu m$), thoraxgängige Partikel ($PM < 10 \mu m$) und den alveolengängigen Anteil ($PM < 5 \mu m$) vorgenommen (DIN EN 481 1993 zitiert nach GARLIPP 2011). Der grobe Staub (einatembare Partikel, $PM > 10 \mu m$) weist eine verhältnismäßig geringe schädigende Wirkung auf, die kleinere Staubfraktion (alveolengängige Partikel, $PM < 5 \mu m$) bringt ein gesundheitliches Risiko mit sich (FUCHS et al. 2012). Nach MEYER et al. (2014) findet man im Pferdestall einen Anteil an Staubpartikeln von 0,2 bis 0,8 mg/m^3 in der Stallluft vor.

Ammoniak gehört zu den am schädlichsten wirkenden Gasen im Pferdestall (BMELV 2009). Zu hohe Konzentrationen können die Gesundheit der Pferde beeinträchtigen (EVERYTHING HORSE 2018, OKE 2018). Eine hohe Belastung kann Reizungen und infolgedessen Mikroläsionen in den Schleimhäuten der Atemwege verursachen, welche eine offene Eintrittspforte für Keime darstellen (FRITZ und MALEH 2016). Zusätzlich kommt es zu einer Beeinträchtigung des Austauschs der Gase in der Lunge (PIRKELMANN et al. 2008). Um die Gesundheit und das Wohlbefinden der Pferde nicht zu gefährden, sollte der Grenzwert von 10 ppm Ammoniak in der Stallluft nicht überschritten werden (BMELV 2009).

Material und Methoden

Untersuchungsort und Tiere

Auf einem Untersuchungsbetrieb in Süddeutschland wurde der Einsatz von Holzpellets als Einstreumaterial dem Einsatz von Weizenstroh und Hobelspänen in der Einzelboxenhaltung in einem Verfahrensvergleich gegenübergestellt. Für die Untersuchungen, die im Sommer 2016 stattfanden und sich über zwei Zeiträume von je 6 Tagen erstreckten, wurden 14 Boxen in einem der Stalltrakte herangezogen (Abbildung 1). Die Pferde gehörten zum Typ Warmblut und waren zwischen 3 und 15 Jahren alt.

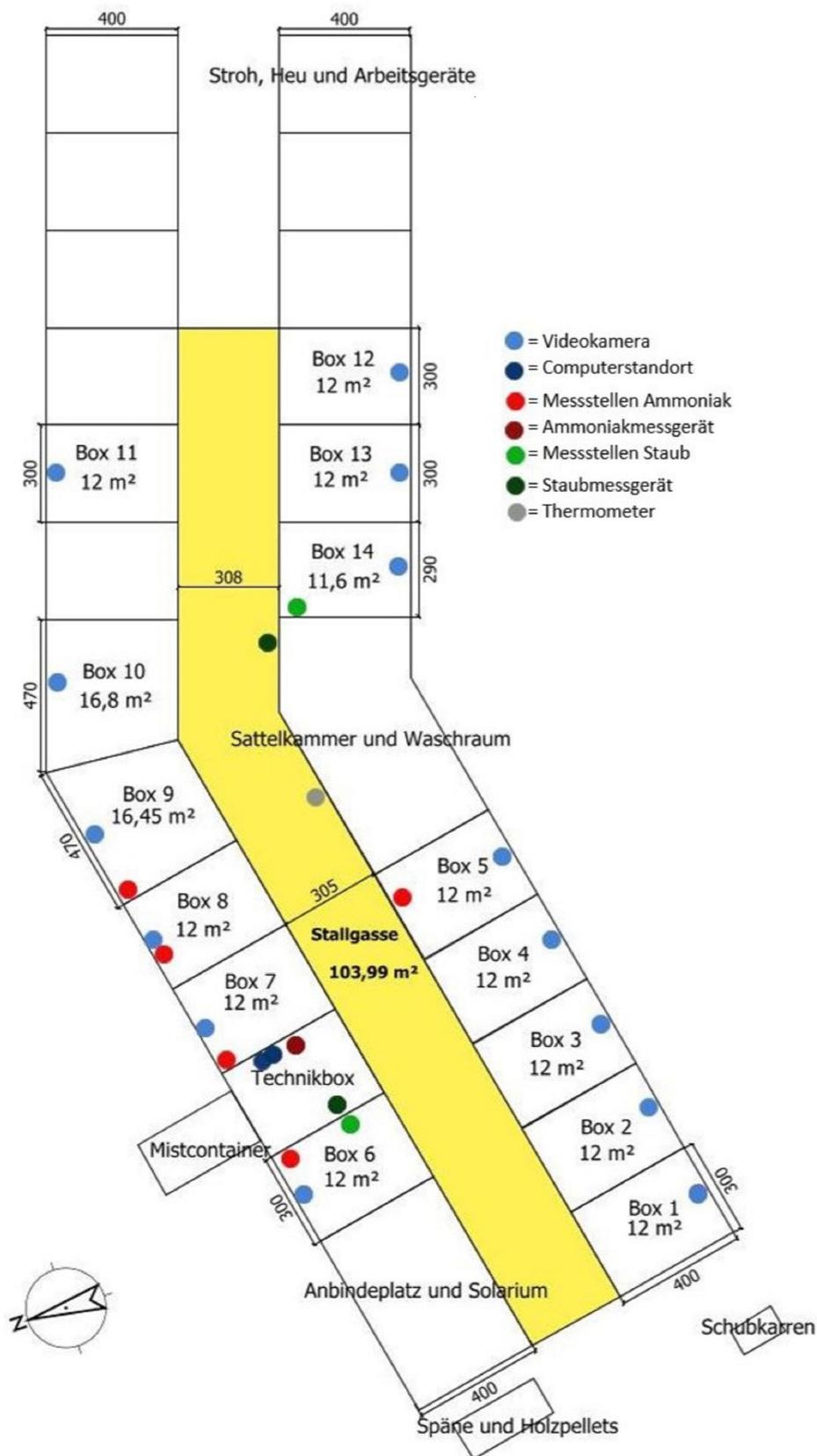


Abbildung 1: Stallplan mit Angabe der Standorte der Messgeräte sowie der zugehörigen Messpunkte

Untersuchungsablauf

In der ersten Untersuchungswoche Anfang August war die Hälfte der 12 m² großen Boxen mit Weizen-Langstroh, die andere mit Hobelspänen eingestreut. Es wurden nebeneinanderliegende Boxen nach der bereits verwendeten Einstreu (Weizenstroh/Hobelspäne) ausgewählt, sodass eine zusätzliche Eingewöhnungszeit entfallen konnte und ein Vergleich der Holzpellets zu den gewohnten Materialien möglich war. Nach Ablauf der ersten Untersuchungswoche wurden zwölf der vierzehn Boxen auf die Einstreupellets aus Holz umgestellt. Je eine Weizenstroh- und Hobelspänebox blieben als Kontrollbox erhalten, um Umwelteinflüsse auf die Untersuchungen erkennen und bewerten zu können. Nach einer Eingewöhnungszeit fand die zweite Datenerhebung Anfang September statt. Damit die Untersuchungen in beiden Wochen bei ähnlichen klimatischen Verhältnissen ablaufen konnten, wurde die Eingewöhnungszeit auf vier Wochen beschränkt. Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit wurden während den Datenerhebungen alle 5 Minuten mit dem zentral im Stall angebrachten Multi-Datenlogger „DL-181THP“ (Voltcraft, Conrad Electronic SE, Hirschau, Deutschland) gemessen. Die Vergleichbarkeit der beiden Untersuchungsphasen war gegeben, da nur ein geringfügiger Unterschied hinsichtlich der Temperatur (Wilcoxon-signed-rank-test (WT): $p = 0,813$; Zeitraum 1: $20,88 \pm 3,4$ °C; Zeitraum 2: $20,73 \pm 3,4$ °C) und der relativen Luftfeuchte (WT: $p = 0,99$; Zeitraum 1: $65,40 \pm 10,5$ %; Zeitraum 2: $67,80 \pm 8,1$ %) ermittelt wurde.

Die Entmistung erfolgte zweimal täglich manuell in eine Schubkarre. Aufgrund der Praxisbedingungen wurden unterschiedliche Entmistungsverfahren angewandt. Die Weizenstroh- und Hobelspäneboxen wurden im Wechselstreuverfahren und die Holzpelletboxen im Matratzenstreuverfahren entmistet. Die Nachstreu erfolgte beim Weizenstroh täglich und bei den Hobelspänen und Holzpellets nach Bedarf. Die Erdestreu der Holzpellets erfolgte nach den Herstellerangaben mit einem Sack/m² Boxenfläche und wurde mit 8 Liter Wasser je Sack angefeuchtet, um die Matratzenbildung zu beschleunigen. Die wöchentliche Nachstreu von 1-2 Säcken Holzpellets à 15 kg und die tägliche oberflächliche Entnahme von Pferdeäpfeln sowie durchnässten Stellen sollen laut Hersteller die Funktionsfähigkeit der Matratze erhalten. Die Arbeiten wurden durch zwei Arbeitspersonen verrichtet, denen in beiden Untersuchungsphasen die selben Boxen zugeteilt waren. Die Stichproben sind daher als verbunden zu bezeichnen.

Der Einstreuverbrauch pro Pferd und Tag wurde anhand der verbrauchten Menge an Holzpelletsäcken sowie Weizenstroh- und Hobelspäneballen gemessen. Während bei den Holzpellets und Hobelspänen die pro Box verbrauchte Anzahl an Säcken bzw. Ballen notiert werden konnte, wurde das Gewicht des Strohballens durch die Anzahl der mit einem Ballen eingestreuten Boxen dividiert. Dieses Vorgehen wurde für drei Strohballen wiederholt und die Werte anschließend gemittelt. Der Mist wurde zur Erhebung der Mistmasse in eine Kiste gefüllt und mit der digitalen Kofferwaage „profiscale TARA PS 7600“ (Burg-Wächter KG, Wetter, Deutschland) gewogen. Deren Messgenauigkeit beträgt bei Gewichten bis 10 kg +/- 100 g und bei Gewichten über 10 kg +/- 1 %. Die Arbeitsbelastung wurde ausschließlich anhand der Arbeitszeit beurteilt. Hierfür wurde der Arbeitszeitaufwand nach der Zeitelementmethode (JUNGBLUTH et al. 2005) erfasst. Der Arbeitszeitaufwand bezeichnet die tatsächlich für eine Arbeitsaufgabe von einer Arbeitsperson (AP) aufgewendete Zeit (JUNGBLUTH et al. 2017). Er wird in APh, APmin und APCmin angegeben (JUNGBLUTH et al. 2017). Die Zeitmessung erfolgte für die Zeitelemente „Misten“, „Nachstreuen“, „Schubkarre leeren“ und „Stallgasse fegen“ mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel unter Verwendung eines Add-Ins.

Das Weizenstroh wurde im Untersuchungszeitraum zu 120 € netto/t frei Hof und die 100-Liter-Hobelspäneballen zu je 5,05 € netto frei Hof erworben (220 € netto/t). Der Betrieb konnte die Holzpellets in 15-kg-Säcken zu einem Preis von je 3,25 € netto frei Hof einkaufen (217 € netto/t). Es wurde ein Kostenvergleich bei tariflichem Mindestlohn von 8,60 € in der Landwirtschaft (1.01.17–31.10.17; STATISTISCHES BUNDESAMT 2017) durchgeführt. Die Lohnkosten, inklusive der Lohnnebenkosten in Form des Arbeitgeberanteils zur Sozialversicherung (SOZIALVERSICHERUNG FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND GARTENBAU 2017), betragen folglich pro Arbeitskraft und Stunde 10,27 €.

Im Kostenvergleich wurden die Positionen Lohnkosten und Materialkosten berücksichtigt. Diese umfassten nicht nur die Kosten der täglichen Arbeitserledigung und Einstreu, sondern beinhalteten beispielsweise auch die zweimal jährliche Komplettentmistung nach der Entwurmung und die dadurch bedingte zweimal jährliche Ersteinstreu der Boxen. Für die manuelle Komplettentmistung der Boxen wurde bei Stroh- und Späneboxen eine Arbeitszeit von 15 Minuten je Box und bei Pelletboxen ein Zeitbedarf von 30 Minuten je Box geschätzt. Der Arbeitsaufwand für die anschließende Ersteinstreu wurde bei den Holzpellets erhoben. Der Median betrug einschließlich des Anfeuchtens der Pellets 17,18 APmin (Minimum = 13.34; Maximum = 17.22). Der Arbeitszeitaufwand für die Ersteinstreu von Stroh und Spänen wurde anhand der erhobenen Nachstreuzeit auf die Ersteinstreumenge hochgerechnet. Die Ersteinstreumengen richteten sich nach den Empfehlungen des Herstellers (Späne, Pellets) bzw. nach den Literaturangaben für Stroh (FLEMING 2008). Für das Stroh wurde mit einer Ersteinstreumenge von 40 kg, für die Hobelspäne mit 4 Ballen und die Holzpellets mit 12 Säcken kalkuliert. Die variablen Maschinenkosten sowie die Lohnkosten für die Einstreubereitstellung und den Abtransport des Mistes wurden in dieser Berechnung vernachlässigt, da sich diese in Abhängigkeit der Lagerkapazitäten von Betrieb zu Betrieb unterscheiden können. Zusätzlich wurden die Break-Even-Preise der Einstreumaterialien berechnet.

Anhand von 24-Stunden-Videoaufzeichnungen mit LED Tag-Nacht-Infrarot-Kameras (VC, Ettligen, Deutschland) mit der Typenbezeichnung VFKUP-700/311/R wurde das Verhalten von 13 Pferden erfasst. Die für die Untersuchung relevanten zu beobachtenden Verhaltensweisen wurden aus dem gesamten Verhaltensinventar der Tierart ausgewählt, im Voraus benannt und beschrieben (ZEITLER-FEICHT 2015), in ihrer Dauer erfasst und anschließend in einem Ethogramm grafisch dargestellt. Es wurden folgende Verhaltensweisen unterschieden: Ruhen im Liegen, untergliedert in Brust- und Seitenlage, außerdem Ruhen im Stehen, Fressen, Futtersuche, Restzeit und die Abwesenheit der Pferde (ZEITLER-FEICHT 2015). Die Bedürfnisse der Pferde nach Sozialkontakt und freier Bewegung (ZEITLER-FEICHT 2013) waren nicht Teil der Studie.

Die Ammoniakmessungen wurden mit dem Gasmessgerät „M.A.C 2240“ (Ansyco, Karlsruhe, Deutschland) durchgeführt. Die Messung erfolgte in 5 Boxen durch semikontinuierliche photoakustische Infrarot-Spektroskopie. Die Staubmessungen wurden mit dem „DustTrak Aerosol Monitor Modell 8520“ (TSI Incorporated, MN, USA) in 2 Boxen vorgenommen. Es wurde hierfür ein Einlassstutzen mit 10 µm gewählt, um thoraxgängige Partikel zu filtern. Beide Messungen wurden in 30 cm Höhe über der Einstreu vorgenommen (BENZ et al. 2013). Die Ammoniakkonzentrationen konnten über die drei Messkanäle des Messgerätes exemplarisch in drei Boxen gleichzeitig erhoben werden. Die Messungen erfolgten semikontinuierlich mit einem Wechsel des Messkanals im Fünf-Minuten-Takt. Bei der Dauer eines Messvorgangs von circa 20 Sekunden entspricht ein Messintervall etwa 15 Messvorgängen. Der Mittelwert dieser einzelnen Messungen wurde vom Gerät gespeichert, bevor es zum nächsten Kanal wechselte. Bei der Staubmessung konnte immer nur eine Box beprobt werden. Die

Staubkonzentration wurde dabei kontinuierlich gemessen und ebenfalls alle fünf Minuten gemittelt und gespeichert. Die Ammoniak- und Staubmessungen waren in jeder Phase für zehn Tage geplant. Allerdings wurde aufgrund technischer Probleme die geplante Messdauer bei einzelnen Messungen unterschritten. Die Erhebung der Ammoniak- und Staubkonzentration ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Tabellarische Übersicht über die untersuchten Boxen, die Anzahl der Untersuchungstage und die gewählte Untersuchungsphase für die Erhebung der Variablen Ammoniak- und Staubkonzentration

Messung der Ammoniakkonzentration							
Einstreumaterial	Weizenstroh		Hobelspäne		Holzpellets		
Box (Nr.)	9	5	7	8	7	6	8
Untersuchungsdauer in Tagen	10	10	10	10	4	8	10
Untersuchungsphase	1	2	1	1	2	2	2
Messung der Staubkonzentration							
Einstreumaterial	Weizenstroh		Hobelspäne		Holzpellets		
Box (Nr.)	14		6		14		
Untersuchungsdauer in Tagen	3		5		4		
Untersuchungsphase	1		1		2		

Die Boxenauswahl wurde in erster Linie durch die Möglichkeiten zur Installation der Messtechnik bestimmt. Die genauen Positionen der einzelnen Messstellen sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Ammoniakwerte wurden in fünf Boxen und die Staubdaten in zwei Boxen erhoben. Jede Box verfügte über ein circa 1 m² großes Fenster. Diese und die beiden großen Tore an beiden Enden des Stalltraktes waren dauerhaft geöffnet. Zusätzlich befanden sich in allen Boxenfronten Lüftungsschlitze, wodurch auch eine Luftzirkulation im Bodenbereich möglich war.

Datenanalyse

Die Bearbeitung der Daten und Erstellung der Grafiken und Tabellen erfolgte mithilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel 2010 bzw. 2013. Zur Analyse der Daten wurde die Statistiksoftware R, Version 3.3.1 bzw. 3.4.1 (R CORE TEAM 2015), mit dem R Commander Paket verwendet.

Neben der deskriptiven Statistik kamen Testverfahren der induktiven Statistik zum Einsatz. Einige Daten zeigten keine Normalverteilung auf (Shapiro-Wilk-Test), daher wurden nichtparametrische Testverfahren angewendet. Für den ökonomischen Teil wurden Generalisierte Lineare Modelle (GLM) verwendet. Die zugehörigen Gleichungen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Daten für den ethologischen und den stallklimatischen Teil wurden mit dem Wilcoxon-signed-rank-test (WT) für paarweise Mittelwertvergleiche für nichtparametrische, abhängige Daten und dem Spearman-Rang-Korrelationstest (SRK) analysiert. Die Prüfung der Hypothesen erfolgte mit zweiseitigen Tests ohne Bonferroni-Korrektur, da der Stichprobenumfang $n < 30$ betrug (NAKAGAWA 2004). Dadurch würde die statistische Güte gesenkt und somit die Wahrscheinlichkeit reduziert, einen vorhandenen Effekt zu erkennen (NAKAGAWA 2004). Folgende Signifikanzniveaus wurden unterschieden: Als signifikant galt $p < 0,05$ (*), hoch signifikant galt ab $p < 0,01$ (**) und als höchst signifikant galten alle Werte, die $p < 0,001$ (***) entsprachen.

Tabelle 2: Gleichungen der verwendeten Generalisierten Linearen Modelle (GLM); der Name der GLM wurde im Ergebnisteil übernommen (dargestellte Gleichungen entsprechen den Eingaben in R mit dem Befehl glm)

Name	Gleichungen
GLM1	<i>glm(Mistmasse.kg. ~ Abwesenheit.h. + Box.Nr. + Boxengroesse.m². + Mistdichte.kg.m³. + Einstreu + Heumenge.kg. + Arbeitsperson + Temperatur..C., family=gaussian(identity))</i>
GLM2	<i>glm(Arbeitszeit_Misten.min.cmin. ~ Abwesenheit.h. + Box.Nr. + Boxengroesse.m². + Einstreu + Heumenge.kg. + Arbeitsperson + rel.Luftf._Misten. + Temp._Misten..C., family=gaussian(identity))</i>
GLM3	<i>glm(Arbeitszeit_Misten.min.cmin. ~ Abwesenheit.h. + Einstreu_Name + Arbeitsperson, family=gaussian(identity))</i>
GLM4	<i>glm(Arbeitszeit_Misten.min.cmin. ~ Abwesenheit.h. + Heumenge.kg. + rel.Luftf._Misten. + Temp._Misten..C. + Woche, family=gaussian(identity))</i>

Ergebnisse

Einfluss der Einstreu auf die Wirtschaftlichkeit

Es wurden im Mittel 0,5 Sack Holzpellets bzw. 0,57 Hobelspäneballen oder 13,64 kg Weizenstroh je Pferd und Tag nachgestreut. Die täglich anfallende Mistmasse variierte jedoch nicht statistisch signifikant zwischen den verwendeten Einstreumaterialien (GLM1: $n = 78$, $t = 0,20$, $p > 0,05$). Hingegen beeinflusste das Einstreumaterial den mittleren Arbeitszeitaufwand für die Entmistung statistisch signifikant (GLM2: $n = 78$, $t = -4,43$, $p < 0,001$). Der Median lag bei Einsatz von Holzpellets bei 9,72 APmin je Box und Tag (Minimum = 5,05, Maximum = 14,24) und war geringer als bei Weizenstroh (GLM3: $n = 78$, $t = 7,83$, $p < 0,001$) und Hobelspäne (GLM3: $n = 78$, $t = 3,31$, $p = 0,001$). Bei Einsatz von Hobelspänen wurden im Median 10,50 APmin je Box und Tag (Minimum = 6,42, Maximum = 13,49) benötigt, wodurch sich dieser vom Einsatz des Weizenstrohs mit einem Median von 12,71 APmin je Box und Tag (Minimum = 8,78, Maximum = 16,58) unterschied (GLM3: $n = 78$, $t = 4,28$, $p < 0,001$). Der Arbeitszeitaufwand für die Entmistung wurde hier exemplarisch für den Arbeitszeitaufwand der Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Einstreu (Holzpellets: 68,59 APh/Pferd; Hobelspäne: 81,55 APh/Pferd; Weizenstroh: 96,62 APh/Pferd) erläutert, da er bei der Einstreu mit Holzpellets 86 %, mit Hobelspänen 78 % und mit Weizenstroh 80 % des jährlichen Arbeitszeitaufwandes ausmachte. Der tägliche Arbeitszeitaufwand unter Berücksichtigung aller über das Jahr anfallenden Tätigkeiten ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Arbeitszeitaufwand für die Entmistung unterschied sich statistisch signifikant in Abhängigkeit von der Arbeitsperson (GLM2: $n = 78$, $t = 6,81$, $p < 0,001$). Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Arbeitszeit für die Entmistung der Kontrollboxen von Untersuchungsphase 1 zu Untersuchungsphase 2 wurde nicht festgestellt (GLM4: $n = 12$, $t = -0,30$, $p > 0,05$).

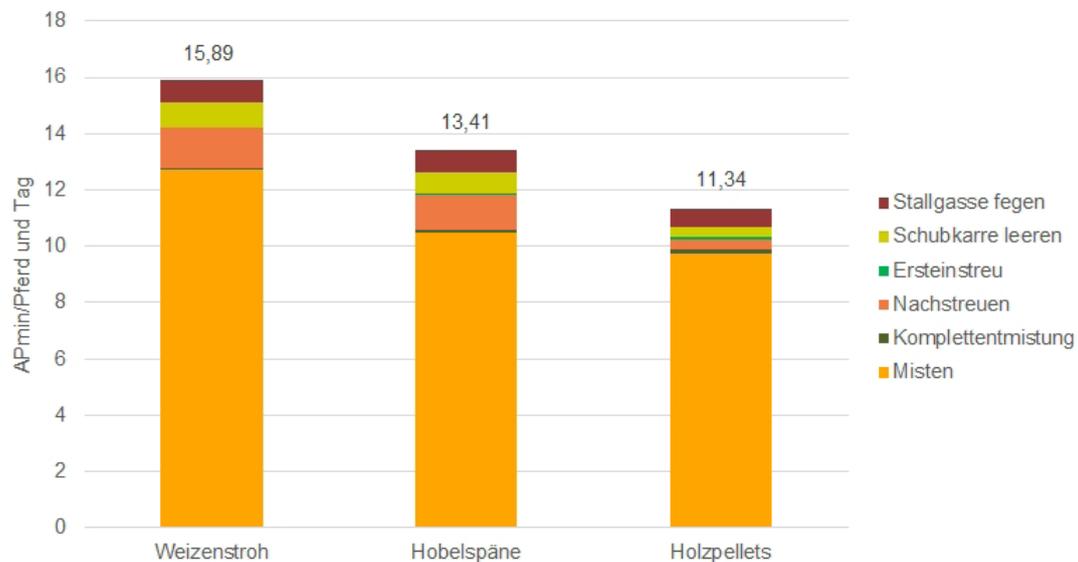


Abbildung 2: Täglicher Arbeitszeitaufwand unter Berücksichtigung aller über das Jahr anfallenden Tätigkeiten bei Einsatz der Einstreumaterialien Weizenstroh, Hobelspäne und Holzpellets in APmin je Pferd und Tag

Gegenüber der Einstreu mit Weizenstroh bzw. Hobelspänen können bei Einsatz von Holzpellets pro Pferd und Jahr 328 bzw. 655 € eingespart werden (Tabelle 3). Die Einstreu mit Holzpellets stellte in diesen Untersuchungen das preiswerteste Verfahren dar. Der Einsatz von Holzpellets wies im Vergleich zu Hobelspänen und Weizenstroh sowohl die geringsten Materialkosten (Tabelle 3) als auch den geringsten Arbeitszeitaufwand je Pferd und Jahr (68,59 APh/Pferd) auf. Aus der Berechnung der Break-Even-Preise für die bekannten Einstreumaterialien geht hervor, dass bei gleichbleibendem Holzpelletpreis Preissenkungen um mehr als 54 bzw. 60 % erforderlich sind, damit die Einstreu mit Weizenstroh bzw. Hobelspänen günstiger wird als die Einstreu mit Holzpellets. Bei gleichbleibenden Weizenstroh- und Hobelspänenpreisen bleibt die Holzpelleteinstreu im Vergleich zur Weizenstroheinstreu auch bei einer Preiserhöhung um mehr als 50 % (Preissteigerung bis < 58 %) und im Vergleich zur Einstreu mit Hobelspänen sogar bei einer Preisverdopplung (Preissteigerung bis < 116 %) noch das günstigere Verfahren.

Tabelle 3: Jährliche Kosten der Einstreu in €/Pferd bei Einsatz von Holzpellets, Hobelspänen und Weizenstroh in der Einzelboxenhaltung; Lohnkosten/APh inkl. Arbeitgeberanteil zur Sozialversicherung: 10,27 €; Materialkosten je dt für die Pellets 21,67 €, für die Späne 21,96 € und das Weizenstroh 12,00 €

	Weizenstroh	Hobelspäne	Holzpellets
Lohnkosten	€/Pferd und Jahr		
Entmisten	794,07 €	656,00 €	607,27 €
Komplettemmistung	5,14 €	5,14 €	10,27 €
Nachstreuen	88,23 €	76,14 €	17,66 €
Ersteinstreuen	1,43 €	2,94 €	5,88 €
Schubkarre leeren	54,06 €	47,86 €	23,17 €
Stallgasse fegen	49,39 €	49,39 €	40,23 €
Summe Lohnkosten	992,31 €	837,47 €	704,47 €
Materialkosten	603,76 €	1.085,30 €	563,88 €
Gesamtkosten	1.596,07 €	1.922,77 €	1.268,34 €

Einfluss der Einstreu auf das Pferdeverhalten

In dieser Erhebung unterschieden sich die Dauer des beobachteten Ruhens im Stehen (Weizenstroh/Hobelspäne: WT: n = 13; p = 0,234; Weizenstroh/Holzpellets: WT: n = 17; p = 0,149; Hobelspäne/Holzpellets: WT: n = 18; p = 0,999), die Abwesenheit aus der Box (Weizenstroh/Hobelspäne: WT: n = 13; p = 0,295; Weizenstroh/Holzpellets: WT: n = 17; p = 0,525; Hobelspäne/Holzpellets: WT: n = 18; p = 0,051) und die Fresszeit (Weizenstroh/Hobelspäne: WT: n = 13; p = 0,731; Weizenstroh/Holzpellets: WT: n = 17; p = 0,216; Hobelspäne/Holzpellets: WT: n = 18; p = 0,189) statistisch nicht signifikant zwischen den drei Einstreumaterialien. Mit der Futtersuche verbrachten die auf Holzpellets gehaltenen Pferde durchschnittlich 449 ± 47 min/Tag und die auf Weizenstroh 544 ± 54 min/Tag, was zu einem statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Materialien führte (WT: n = 17; p = 0,009). Auf Hobelspänen verbrachten die Pferde 449 ± 61 min/Tag mit der Futtersuche, was einen statistisch signifikanten Unterschied (WT: n = 13; p = 0,35) zu den auf Weizenstroh (544 ± 54 min/Tag) stehenden Pferden darstellte. Durchschnittlich umfasste die Restzeit der Pferde auf Holzpellets 128 ± 37 min/Tag und der auf Weizenstroh 53 ± 12 min/Tag, womit hier ein statistisch signifikanter Unterschied (WT: n = 17; p = 0,001) bestand. Auf den Hobelspänen fielen im Durchschnitt 74 ± 38 min/Tag Restzeit an, sodass zu den Holzpellets (128 ± 37 min/Tag) eine statistisch signifikante Abweichung (WT: n = 18; p = 0,014) bestand. Im Durchschnitt wurde wiederum bei den Pferden in den mit Holzpellets eingestreuten Boxen eine Gesamtliegenzeit von 91 ± 37 min/Tag erfasst und bei den mit Weizenstroh eingestreuten Boxen 155 ± 38 min/Tag, wodurch sich hier ein statistisch signifikanter Unterschied (WT: n = 17; p = 0,014) ergab. Die Pferde, welche in mit Hobelspänen eingestreuten Boxen untergebracht waren, verbrachten im Durchschnitt insgesamt 141 ± 40 min/Tag im Liegen, was einen statistisch signifikanten Unterschied (WT: n = 18; p = 0,011) zu den auf Holzpellets gehaltenen Pferden (91 ± 37 min/Tag) darstellte. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 3 grafisch veranschaulicht.

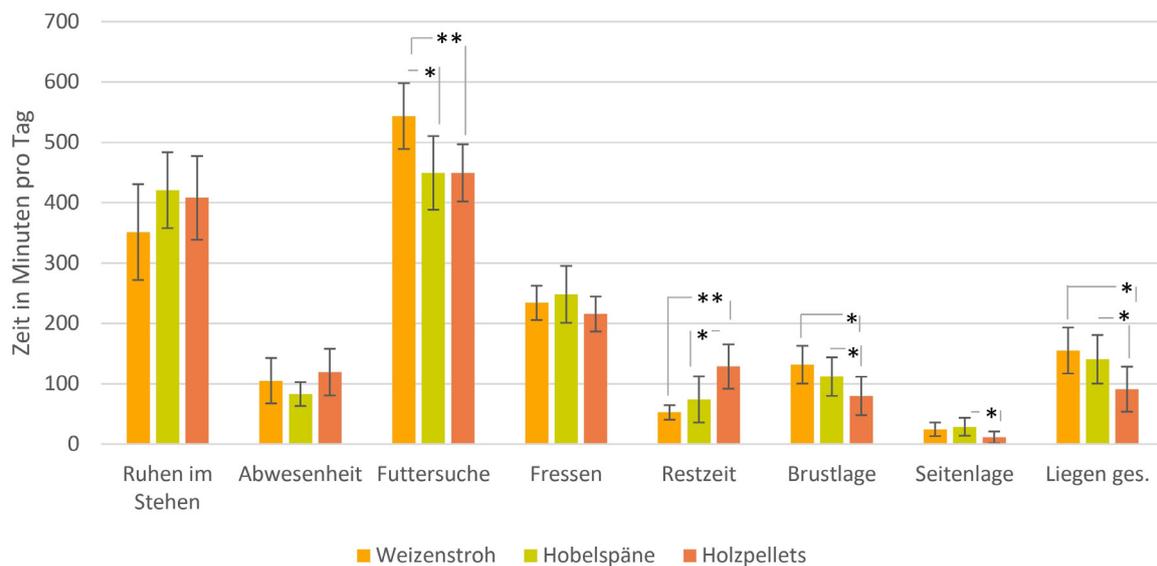


Abbildung 3: Dauer von Verhaltensweisen von Pferden in Minuten pro Tag bei Einstreu mit Weizenstroh, Hobelspänen und Holzpellets, angegeben werden die Standardabweichungen sowie das Signifikanzniveau (Wilcoxon-Test) für die Unterschiede zwischen den drei Einstreumaterialien (Futtersuche: Weizenstroh/Hobelspäne: $p = 0,035$, Weizenstroh/Holzpellets: $p = 0,009$; Restzeit: Weizenstroh/Holzpellets: $p = 0,001$, Hobelspäne/Holzpellets: $p = 0,014$; Brustlage: Weizenstroh/Holzpellets: $p = 0,014$, Hobelspäne/Holzpellets: $p = 0,046$; Seitenlage: Hobelspäne/Holzpellets: $p = 0,041$; Liegen gesamt: Weizenstroh/Holzpellets: $p = 0,014$, Hobelspäne/Holzpellets: $p = 0,011$)

Einfluss der Einstreu auf das Stallklima

Bei den Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft lagen die mittleren Werte, sowohl im Verlauf des Tages als auch über den gesamten Versuchszeitraum, bei Einstreu mit Holzpellets am höchsten, dann folgten die Hobelspäne und die niedrigsten Gehalte verursachte das Einstreuen mit Weizenstroh (Tagesmittelwerte: Holzpellets: 2,033 ppm NH_3 , Hobelspäne: 1,152 ppm NH_3 , Weizenstroh: 0,843 ppm NH_3 ; Mittelwerte über Messzeitraum: Holzpellets: 1,714 ppm NH_3 , Hobelspäne: 1,152 ppm NH_3 , Weizenstroh: 0,796 ppm NH_3). Dabei wiesen die Holzpellets eine statistisch signifikante Erhöhung (WT: $n = 93$; $p < 0,001$) zum Weizenstroh und zur Einstreu mit Hobelspänen auf (WT: $n = 93$; $p = 0,005$). Mit Ausnahme bei der Einstreu mit Holzpellets konnten zusätzlich statistisch signifikante Erhöhungen der Ammoniakkonzentrationen während der Fütterung und des Mistens ermittelt werden (Weizenstroh: Ruhe/Füttern: $p < 0,001$, Ruhe/Misten: $p < 0,001$; Hobelspäne: Ruhe/Füttern: $p < 0,001$, Füttern/Misten: $p < 0,001$, Ruhe/Misten: $p < 0,001$), wobei der Einfluss des Mistens besonders ausgeprägt war. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

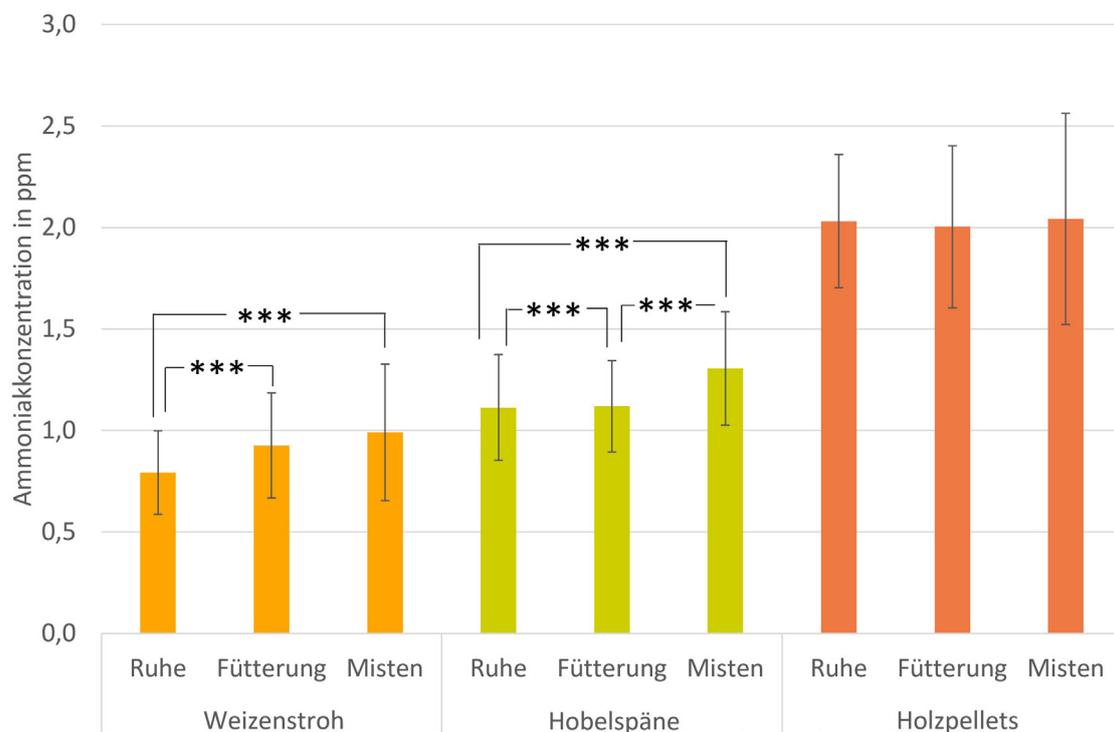


Abbildung 4: Mittlere Ammoniakkonzentrationen der Ruhe-, Fütterungs- und Mistphase in ppm, aufgeteilt nach den drei Einstreumaterialien mit Angabe der Standardabweichung und des Signifikanzniveaus (Wilcoxon-Test) (Weizenstroh: Ruhe/Füttern: $p < 0,001$, Ruhe/Misten: $p < 0,001$; Hobelspäne: Ruhe/Füttern: $p < 0,001$, Füttern/Misten: $p < 0,001$, Ruhe/Misten: $p < 0,001$)

Ähnlich stellte sich die Situation bei der Staubkonzentration (Partikel $< 10 \mu\text{m}$) in der Stallluft dar. Auch hier wies die Einstreu mit Holzpellets, sowohl im Tagesverlauf, als auch über die Untersuchungsphase, die höchsten und die Einstreu mit Weizenstroh die geringsten durchschnittlichen Staubkonzentrationen auf. Die Staubkonzentration in der Stallluft verursacht durch die Einstreu mit Hobelspänen befand sich ebenfalls im Mittelfeld (Tagesmittelwerte: Holzpellets: $0,056 \text{ mg/m}^3$; Hobelspäne: $0,030 \text{ mg/m}^3$; Weizenstroh: $0,019 \text{ mg/m}^3$; Mittelwerte über Messzeitraum: Holzpellets: $0,052 \text{ mg/m}^3$; Hobelspäne: $0,027 \text{ mg/m}^3$; Weizenstroh: $0,020 \text{ mg/m}^3$). Die Holzpellets verursachten statistisch signifikant höhere Staubkonzentrationen in der Stallluft als Weizenstroh (WT: $n = 22$; $p < 0,001$) und Hobelspäne (WT: $n = 22$; $p = 0,045$). Des Weiteren hatten die Tätigkeiten Misten und Füttern einen wesentlichen Einfluss. Dieser führte bei den Holzpellets zwischen der Ruhe- und Fütterungszeit und der Fütterungs- und Mistphase zu statistisch signifikanten Unterschieden der Staubkonzentration, beim Weizenstroh und den Hobelspänen konnten Unterschiede jeweils zwischen der Ruhe-, Fütterungs- und Mistphase ermittelt werden (Weizenstroh: Ruhe/Fütterung: $p < 0,001$, Fütterung/Misten: $p < 0,001$, Ruhe/Misten: $p < 0,001$; Hobelspäne: Ruhe/Fütterung: $p < 0,001$, Fütterung/Misten: $p = 0,012$, Ruhe/Misten: $p = 0,014$; Holzpellets: Ruhe/Fütterung: $p < 0,001$, Fütterung/Misten: $p < 0,001$). Bei allen Materialien wiesen die Staubkonzentrationen in der Stallluft während der Fütterung die höchsten Konzentrationen auf (Abbildung 5). In Tabelle 4 sind alle Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst.

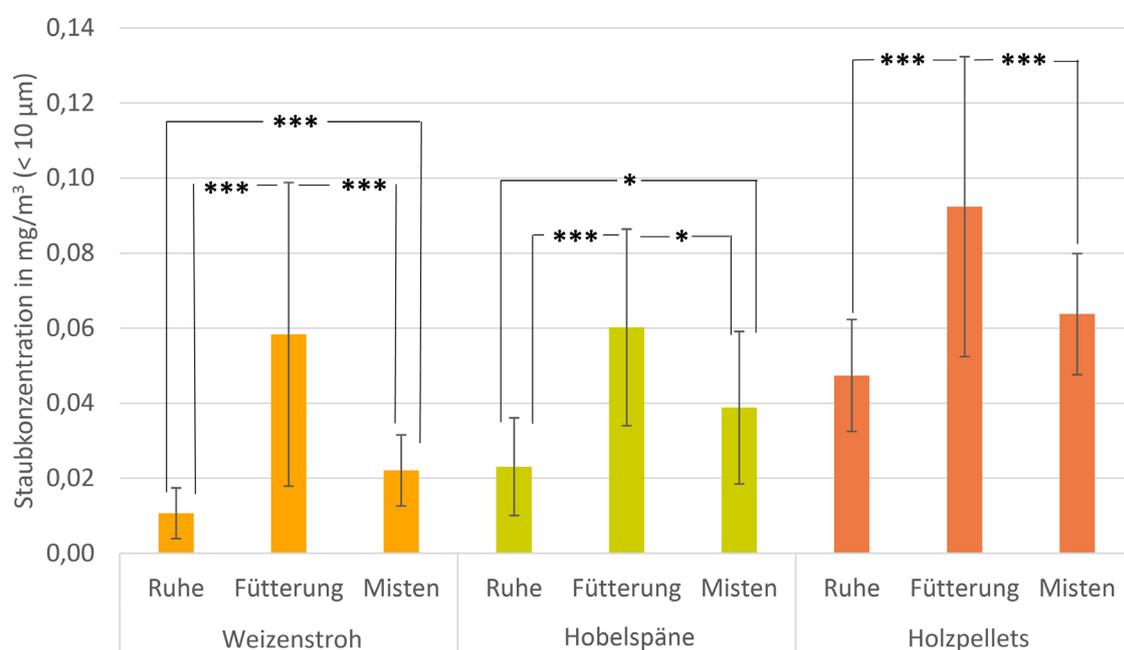


Abbildung 5: Mittlere Staubkonzentrationen (Partikelgröße ≤ 10 µm) der Ruhe-, Fütterungs- und Mistphase in mg/m³, aufgeteilt nach den drei Einstreumaterialien mit Angabe der Standardabweichung und des Signifikanzniveaus (Wilcoxon-Test) (Weizenstroh: Ruhe/Fütterung: p < 0,001, Fütterung/Misten: p < 0,001, Ruhe/Misten: p < 0,001; Hobelspäne: Ruhe/Fütterung: p < 0,001, Fütterung/Misten: p = 0,012, Ruhe/Misten: p = 0,014; Holzpellets: Ruhe/Fütterung: p < 0,001, Fütterung/Misten: p < 0,001)

Tabelle 4: Überblick über die Untersuchungsergebnisse mit Angabe der Mediane und Berechnungen auf Grundlage der Mediane

	Einheit	Weizenstroh	Hobelspäne	Holzpellets
Ethologie				
Futtersuche und -aufnahme	h/d	12,97	11,62	11,07
Liegezeit	h/d	2,58	2,35	1,52
Ruhen im Stehen	h/d	5,85	7,01	6,80
Restzeit	h/d	0,88	1,23	2,13
Stallklima				
Mittlere Ammoniakkonzentration	ppm	0,796	1,152	1,714
Mittlerer Staubgehalt	mg/m ³	0,020	0,027	0,052
Ökonomie				
Mistmasse/Pferd und Jahr	t	15,44	14,95	14,64
Einstreuverbrauch/Pferd und Jahr	dt	50,31	49,43	26,03
Arbeitszeitaufwand/Pferd und Jahr	APh	96,62	81,55	68,59
Kosten/Pferd und Jahr	€	1.596	1.923	1.268

Diskussion

Da Stroh und Hobelspäne zu den am häufigsten verwendeten Einstreumaterialien in West- und Süd-West-Deutschland gehören (BECK 2005, NOVER 2013), wurden diese beiden Materialien zum Vergleich mit den Holzpellets herangezogen. Das Wechselstreuverfahren ist beim Einsatz von Stroh und Hobelspänen nicht nur am weitesten verbreitet (ARNDT 2001, FADER 2002, KÖSTER 2015), es wird auch aus hygienischen Gründen bevorzugt (FADER 2002, MARTEN 2004, KÖSTER 2015) und kommt dem Einsteller optisch entgegen (NEUBERT 2011). Die Wahl der Entmistungsverfahren in Abhängigkeit vom gewählten Einstreumaterial entsprach darüber hinaus nicht nur der Praxisverbreitung, sondern auch der Empfehlung von HÄUSSERMANN et al. (2002). Hohe Streuvolumina, wie sie etwa bei Getreidestroh und groben Hobelspänen zu finden sind, eignen sich laut HÄUSSERMANN et al. (2002) gut, um im Wechselstreuverfahren die Boxenfläche bei geringem Einstreuverbrauch vollständig zu bedecken. Bei dicht lagernden Einstreumaterialien mit hohem Wasserbindungsvermögen empfehlen HÄUSSERMANN et al. (2002) wiederum das Anlegen einer Mistmatratze. Zu diesen Materialien können die Holzpellets gezählt werden, für die auch der Hersteller das Matratzenstreuverfahren vorsieht.

Dennoch sollte der Einfluss der unterschiedlichen Entmistungsverfahren auf die Ergebnisse dieser Studie berücksichtigt werden. Das Entmistungsverfahren beeinflusst den Arbeitszeitaufwand (HAIDN et al. 2002, NEUBERT 2011) sowie darüber hinaus den Einstreuverbrauch (NEUBERT 2011). Würden die Weizenstroh- und Hobelspäneboxen wie die Holzpelletboxen im Matratzenstreuverfahren bewirtschaftet, so wäre mit einem geringeren Arbeitszeitaufwand und einem abweichenden Einstreuverbrauch zu rechnen. Gleichzeitig scheint das Entmistungsverfahren einen Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen zu haben. VAN DEN WEGHE et al. (2008) verglichen verschiedene Entmistungsverfahren bei Einsatz von Stroh. Die Mistmatratze mit täglicher Kotentfernung verursachte dabei die geringsten Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft, gefolgt von der Matratzeneinstreu ohne jegliche Entmistung. Das täglich komplette Entmisten der Box führte zu höheren Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft. Folglich hätten die Einstreumaterialien Weizenstroh und Hobelspäne bei Einsatz im Matratzenstreuverfahren in der vorliegenden Untersuchung tendenziell noch geringere Ammoniakkonzentrationen aufweisen können. Jedoch ist zu beachten, dass die Komplettentmistung bei VAN DEN WEGHE et al. (2008) dem hier eingesetzten Wechselstreuverfahren nicht gleichzusetzen ist. Darüber hinaus untersuchten VAN DEN WEGHE et al. (2008) den Einfluss verschiedener Entmistungsverfahren auf die Partikelkonzentration am Beispiel von Stroh. Hierbei wurde zwar bei einer Matratzeneinstreu ohne tägliche Entfernung von Kot und durchnässten Stellen eine geringere Partikelkonzentration gemessen, jedoch unterschied sich die Partikelkonzentration bei täglicher Komplettentmistung nicht signifikant von der Partikelkonzentration einer Mistmatratze mit täglicher Kotentfernung. Ein Einfluss der in der vorliegenden Studie verwendeten Entmistungsverfahren auf die Staubkonzentration in der Stallluft ist demzufolge nicht zu vermuten. Festhalten lässt sich, dass die in der vorliegenden Studie getroffenen Aussagen aufgrund des potenziellen Einflusses des Entmistungsverfahrens auf die Ergebnisse nur bei praxisüblichem Gebrauch des Weizenstrohs und der Hobelspäne im Wechselstreuverfahren sowie der Holzpellets im Matratzenstreuverfahren übertragbar sind.

Der in dieser Studie im Vergleich zur Literatur (HAIDN et al. 2002, JAEP 2004, NEBE 2005, VON BORSTEL et al. 2010, FUCHS et al. 2012) höhere Arbeitszeitaufwand für die Entmistung lässt sich, wie von HAIDN et al. (2002) beschrieben, u.a. dadurch begründen, dass die Arbeiten in den verschiedenen Studien von unterschiedlichen Personen durchgeführt wurden und deren Genauigkeit, Motivation und

Routine als Einflussfaktoren anzusehen sind. Die Arbeitszeit für die Entmistung variierte auch im Rahmen dieser Untersuchung je nach Arbeitsperson. Dennoch sind Schwankungen nicht als Nachteil zu werten, vielmehr können sie als praxisnah bezeichnet werden. Der Strohverbrauch lag mit gut 50 dt je Box und Jahr in dieser Studie im oberen Bereich der in anderen Untersuchungen (HÄUSSERMANN et al. 2002, MARTEN 2004, JAEP 2004, NEBE 2005) erhobenen Menge. Der Verbrauch an Hobelspänen lag mit 49 dt je Box und Jahr leicht über dem bei HÄUSSERMANN et al. (2002). Wie oben beschrieben, wurde der Arbeitszeitaufwand für die Kompletentmistung der Boxen geschätzt. Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass Abweichungen von den Schätzwerten kaum Auswirkungen auf das Ergebnis des Kostenvergleichs hätten, weil diese aufgrund der nur zweimal jährlich erfolgenden Kompletentmistung einen geringen Anteil des jährlichen Gesamtarbeitszeitaufwandes ausmachen. Das Gleiche traf auf den Arbeitszeitaufwand für die Ersteinstreu zu.

Die betriebswirtschaftlichen Kalkulationen führten zu recht eindeutigen Ergebnissen. Hier sind die geringen Gesamtkosten bei Verwendung von Holzpellets, bedingt durch die geringsten Material- und Lohnkosten, hervorzuheben. Das Einsparpotenzial ist enorm und aufgrund der Höhe der Break-Even-Preise, die Preisänderungen um mehr als 50 % zulassen, wird der Einsatz von Weizenstroh und Hobelspäne im Wechselstreuverfahren wohl kaum günstiger werden als die Einstreu mit Holzpellets im Matratzenstreuverfahren, da Preisänderungen in dieser Größenordnung nicht zu erwarten sind. Insgesamt ist die Reihenfolge der Gesamtkosten für den Einsatz der drei Einstreumaterialien somit als stabil zu bezeichnen, d.h. dass der Einsatz von Holzpellets voraussichtlich immer die geringsten und der von Hobelspänen voraussichtlich immer die höchsten Gesamtkosten verursachen wird, auch wenn sich einzelne Preise ändern. Dennoch müssen die saisonalen Preisschwankungen und die regionale Verfügbarkeit berücksichtigt werden (BUCK 2012). Der Preis der Holzpellets wird durch die Preisschwankungen bei Heizpellets beeinflusst. Aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von Stroh in Grünlandregionen könnten dafür ggf. hohe Transportkosten entstehen. In diesem Fall könnten die Holzpellets eine interessante Alternative zu Hobelspänen darstellen, die in diesen Regionen derzeit eventuell bevorzugt verwendet werden. Für Betriebe mit eigenem Getreideanbau könnten, unter Berücksichtigung des Arbeitsaufwandes für die Vermarktung des Strohs und schwankender Marktpreise, die Opportunitätskosten für den Einsatz des Strohs im eigenen Betrieb geringer sein. Bei guter Strohqualität könnten diese Betriebe zusätzlich mit den positiven Eigenschaften des Strohs werben. Auch wenn die Ergebnisse aus ökonomischer Sicht dazu verleiten, die Holzpellets als das vorteilhafteste Einstreumaterial anzusehen, sollten die angeführten Aspekte des Tierwohls nicht vernachlässigt werden.

Mit den Charakteristika Fluchttier, Steppentier und Herdentier offenbart ZEITLER-FEICHT (2015) einen Konflikt hinsichtlich der Artgerechtigkeit der Boxenhaltung. Um eine mögliche Abweichung vom Zeitbudget freilebender Equiden zu quantifizieren, wurden die Verhaltensparameter Fress-, Ruhe- und Liegeverhalten untersucht. Vor diesem Hintergrund ist eine möglichst geringe Abweichung vom natürlichen Zeitbudget der Pferde wesentlich. Der Einsatz der Holzpellets wies im Vergleich die höchste Abweichung vom Zeitbudget freilebender Equiden (DUNCAN 1980 und KILEY-WORTHINGTON 1989 zitiert nach ZEITLER-FEICHT 2015), vor allem im Bereich des Liegeverhaltens, auf. Die geringeren Liegezeiten verbrachten die Pferde stattdessen mit Ruhen im Stehen und Restzeit. Die verkürzte Liegezeit auf den Holzpellets könnte dadurch bedingt sein, dass die Eingewöhnungszeit nicht ausreichend lang war. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass sich die Liegezeit der zwei gewohnten Einstreumaterialien Weizenstroh und Hobelspäne nicht signifikant voneinander unterschied. Bei

einer ähnlichen Studie von WERHAHN et al. (2009) ergab sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Liegezeit zwischen Stroh- und Späneestreu. Pferde legen sich, wie PIRKELMANN et al. (2008) beschreibt, außerdem nur dann ab, wenn das Sicherheitsgefühl bzw. die Entspannung ausreichend groß ist. Dies gilt insbesondere für die Seitenlage, welche auf den Holzpellets durchschnittlich nur 11 ± 10 Minuten betrug und damit eine sehr hohe Standardabweichung aufwies. Nach ZEITLER-FEICHT (2015) kann die für das Wohlergehen notwendige Traumphase nur im Liegen stattfinden. Zwar können die Schlafintervalle zwischen den Individuen variieren, sie sind aber beim selben Tier relativ konstant. Verkürzte Liegezeiten sind also durchaus als negativ zu bewerten, insbesondere langanhaltender REM-Schlafmangel kann zu starker psychischer und physischer Belastung führen (FUCHS 2017). Inwiefern sich die Liegezeiten allerdings durch einen langfristigen Einsatz der Materialien normalisieren würden oder ob durch den Einsatz von Holzpellets gesundheitliche Folgen resultieren, ist durch diese Studie nicht abzuschätzen. Zusätzlich spielen die weiteren Haltungsbedingungen eine Rolle. Haben die Pferde beispielsweise die Möglichkeit, zum Liegen auf einen an die Box angeschlossenen Sandpaddock auszuweichen, werden die verkürzten Liegezeiten dort kompensiert (KÖSTER 2015). Ebenfalls könnten die etwas höheren Staub- und Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft bei Einstreu mit Holzpellets bei Pferden, die den größten Teil des Tages außerhalb der Box verbringen oder einen Paddock als Ausweichmöglichkeit haben, in den Hintergrund rücken.

Die Mittelwerte der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft der drei Einstreumaterialien unterschieden sich in dieser Untersuchung alle signifikant voneinander. Trotzdem lag die höchste Ammoniakkonzentration (3,53 ppm) deutlich unterhalb des vom BMELV (2009) angegebenen Grenzwertes von 10 ppm NH_3 . Da in der parallel verlaufenden ökonomischen Untersuchung die Mistmasse der verschiedenen Einstreumaterialien relativ konstant ausfiel, kann davon ausgegangen werden, dass die Ammoniakkonzentration in der Stallluft nicht durch die Menge der ausgeschiedenen Exkremente beeinflusst wurde, sondern vor allem auf die Einstreu zurückzuführen ist. Diese Zusammenhänge wurden bei vergleichbaren Messungen von VAN DEN WEGHE et al. (2008) ebenfalls nachgewiesen.

VAN DEN WEGHE et al. (2008) haben während den routinemäßigen Arbeiten Erhöhungen der Ammoniakkonzentrationen in der Stallluft gemessen. In der vorliegenden Studie bestanden ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Ruhe-, Fütterungs- und Mistphasen und den Einstreumaterialien Weizenstroh und Hobelspäne (Abbildung 4), wobei größere Unterschiede während des Mistens ermittelt wurden. Bei den Holzpellets sind keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den drei Phasen vorhanden, aber das Ammoniakkonzentrationsniveau in der Stallluft lag hier im Vergleich zu den anderen Einstreumaterialien höher. Daraus lässt sich schließen, dass sowohl die Stallarbeiten als auch die Einstreu einen wichtigen Einfluss haben.

Die Mittelwerte der Staubkonzentrationen in der Stallluft (thoraxgängige Partikel $< 10 \mu\text{m}$) von Weizenstroh und Hobelspänen unterschieden sich statistisch signifikant von denen der Holzpellets (Abbildung 5 und Tabelle 4). Trotzdem liegt die höchste Staubkonzentration in der Stallluft ($0,198 \text{ mg/m}^3$) dabei unterhalb des von MEYER et al. (2014) angegebenen Konzentration von 0,2 bis $0,8 \text{ mg/m}^3$. Im Gegensatz dazu war bei einer ähnlichen Erhebung von VAN DEN WEGHE et al. (2008) die mittlere Staubkonzentration in der Stallluft bei Stroheinstreu am höchsten. VANDENPUT (1997 zitiert nach SZABO 2008) erhielt unter Laborbedingungen das Ergebnis, dass durch qualitativ gutes Stroh weniger Staub generiert wird als bei Spänen. Es kann also vermutet werden, dass dies auf die stark schwankenden Qualitäten von Stroh zurückzuführen ist. Zusätzlich bestehen auch bei den Staubgehalten in der Stallluft in dieser Studie signifikante Unterschiede zwischen der Ruhe-,

Fütterungs- und Mistphase und den Materialien (Abbildung 5). Dies bestätigt deren Einfluss auf die Staubgenerierung, wobei eine besondere Ausprägung während der Fütterung ermittelt wurde. Diese Zusammenhänge konnten ebenfalls bei den Untersuchungen von VAN DEN WEGHE et al. (2008) festgestellt werden und bestätigen damit im Wesentlichen die Aussage der vorliegenden Studie.

Bei den Variablen Ammoniak und Staub wurden in dieser Arbeit, im Vergleich zu anderen Untersuchungen die ebenfalls Staubkonzentrationen in der Stallluft (Partikel < 10 µm) untersucht haben, (VAN DEN WEGHE et al. 2008, BMELV 2009, MEYER et al. 2014) insgesamt niedrige Staubkonzentrationen ermittelt. Dies kann als positiv beschrieben werden, da so die Belastung des Atmungssystems der Pferde, orientiert an den Grenzwerten nach BMELV (2009), relativ gering ist und keine negativen Folgen zu erwarten sind. Grundsätzlich sollten stets so geringe Konzentrationen in der Stallluft wie möglich angestrebt werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Akzeptanz von Holzpellets durch die Kunden von Pensionspferdebetrieben, den Kompostierungseigenschaften und der Düngewirkung des Holzpelletmistes. Ob verkürzte Liegezeiten aufgrund der Holzpelleteinstreu langfristig zu gesundheitlichen Schäden führen oder sich die Liegezeiten ggf. bei langfristigem Einsatz von Holzpellets normalisieren, sollte ebenfalls in weiteren Studien untersucht werden. Auch wäre es interessant, die Untersuchungen in unterschiedlichen Haltungssystemen und bei Einsatz desselben Entmistungsverfahrens für alle Einstreumaterialien zu wiederholen und weitere für das Stallklima relevante Gase (z. B. Stickoxide, Methan, Schwefelwasserstoff) sowie die einzelnen Staubpartikelgrößen (einatembar, thoraxgänglich, alveolengänglich) zu erfassen.

Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Untersuchung sind aufgrund der methodischen Vorgehensweise nur auf Betriebe mit ähnlichen Haltungs- und Managementsystemen übertragbar und somit aussagekräftig. Verallgemeinernde Aussagen sind schwer zu treffen, da sich Betriebe stark voneinander unterscheiden können (HAIDN et al. 2002) und das Entmistungsverfahren Einfluss nimmt (HAIDN et al. 2002, VAN DEN WEGHE et al. 2008, NEUBERT 2011). Somit sollte die Entscheidung für ein Einstreumaterial betriebsindividuell abgewogen werden. Zu klären wäre, ob die verkürzten Liegezeiten und Zeiten der Futtersuche bei Einstreu mit Holzpellets durch Managementmaßnahmen, wie beispielsweise ausgedehnten Weidegang, ausgeglichen werden können.

Schlussfolgerungen

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Entscheidung für oder gegen ein Einstreumaterial immer betriebsindividuell ist. Die Einstreumaterialien Stroh und Holzpellets stachen in dieser Untersuchung hervor. Die Hobelspäne rangierten hinsichtlich der ethologischen und stallklimatischen Ergebnisse im Mittelfeld und rückten aufgrund der hohen Kosten in dieser Untersuchung in den Hintergrund. Das Stroh erwies sich als das Einstreumaterial, das den Bedürfnissen der Pferde am nächsten kam, während die Holzpellets aufgrund ihrer geringen Gesamtkosten je Pferd und Jahr überzeugten.

Literatur

- Arndt, S. (2001): Vergleich der Pferdehaltung in bäuerlich-ländlichen Kleinbetrieben mit derjenigen in hauptberuflichen, städtischen Pferdewirtschaftsbetrieben im Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang mit Atemwegserkrankungen. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen, <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2001/497/pdf/d010100.pdf>, Zugriff am 14.09.2019
- Art, T.; McGorum, B.C.; Lekeux, P. (2002): Environmental Control of Respiratory Disease. In: Equine Respiratory Diseases. International Veterinary Information Service, http://www.ivis.org/special_books/Lekeux/art2/ivis.pdf?origin=publication_detail, Zugriff am 17.04.2020
- Beck, J. (2005): Pferdemit – Problemlösung durch mechanische Aufbereitung, Kompostierung und thermische Verwertung. Landtechnik 60(1), S. 40–41, DOI: <https://doi.org/10.15150/lt.2005.1161>
- Benz, B.; Benitz, B.; Krüger, K.; Winter, D. (2013): Weniger Einstreu bei gleichem Komfort. Pferde Zucht & Haltung 1, S. 66ff.
- Buck, J. (2012): Einstreu – eine Ährensache? Pferdebetrieb 8, S. 32–35
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2009): Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Bonn, BMELV, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/HaltungPferde.pdf?jsessionid=134F2EEB73CF0D2E5D09867102DE3069.2_cid296?__blob=publicationFile, Zugriff am 17.04.2020
- Everything Horse (Hrsg.) (2018): Ammonia is detrimental to horses health says study. <https://everythinghorseuk.co.uk/ammonia-is-detrimental-to-horses-health-says-study/>, Zugriff am 12.11.2019
- Fader, C. (2002): Ausscheide- und Ruheverhalten von Pferden in Offenlaufstall- und Boxenhaltung. Dissertation, Technische Universität München, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/603269/603269.pdf>, Zugriff am 14.09.2019
- 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, <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B039-A/fleming.pdf?sequence=1>, Zugriff am 17.04.2020
- Fritz, C.; Maleh, S. (2016): Zivilisationskrankheiten des Pferdes – Ganzheitliche Behandlung chronischer Krankheiten. Stuttgart, Sonntag Verlag
- Fuchs, C. (2017): Narkolepsie oder REM-Schlafmangel? 24-Stunden-Überwachung und polysomnographische Messungen bei adulten „narkoleptischen“ Pferden. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, https://edoc.ub.uni-muenchen.de/20588/1/Fuchs_Christine.pdf, Zugriff am 17.04.2020
- Fuchs, C.; Steinmetz, A.-K.; Schuldt, A.; Van den Weghe, H.; Garlipp, F.; Lang, C. (2012): Pferdehaltung – Planen und kalkulieren. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
- Garlipp, F. (2011): Evaluierung verschiedener prozesstechnischer Handlungsoptionen zur Reduktion luftgetragener Partikel bei Einsatz von Einstreumaterialien und der Vorlage von Rau- und Kraftfuttermitteln in der Pferdehaltung. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-AB1D-D/garlipp.pdf?sequence=1>, Zugriff am 17.04.2020
- Haidn, B.; Berger, N.; Gruber, V.; Lindenau, G. (2002): Arbeitszeitbedarf für die Pensionspferdehaltung in landwirtschaftlichen Betrieben. KTBL-Sonderveröffentlichung 041, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
- Hassenpflug, H.G.; Schindler, M. (2011): Betriebswirtschaftliche Aspekte der Pensionspferdehaltung. In: Pferdehaltung – Zucht, Aufzucht und Pensionspferde, Bauförderung Landwirtschaft e.V (Hrsg.), Baubriefe Landwirtschaft 49, Aktuelle Beratungsempfehlung, Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag, 2. überarbeitete Auflage, S. 12–17
- Häußermann, A.; Beck, J.; Jungbluth, T. (2002): Einstreumaterialien in der Pferdehaltung. Landtechnik 57(1), S. 50–51, <https://doi.org/10.15150/lt.2002.1560>
- Hoffmann, G. (2011): Generelle Anforderungen an die Pferdehaltung und Empfehlungen für pferdegerechte Haltungssysteme. In: Pferdezücht, -haltung und -fütterung Empfehlungen für die Praxis. Landbauforschung –

- vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft 353, S. 148–150, https://www.thuenen.de/media/publikationen/landbauforschung-sonderhefte/lbf_sh353.pdf, Zugriff am 17.04.2020
- Jaep, A. (2004): Wirtschaftlichkeit. In: Pensionspferdehaltung im landwirtschaftlichen Betrieb. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), KTBL-Schrift 405, Darmstadt, S. 111
- Jungbluth, T.; Büscher, W.; Krause, M. (2017): Technik Tierhaltung. Stuttgart, Eugen Ulmer KG
- Jungbluth, T.; Büscher, W.; Krause, M. (2005): Technik Tierhaltung – Grundwissen Bachelor. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer
- Köster, J. (2015): Der Einfluss unterschiedlicher Einstreumaterialien und Einzelboxenhaltungssysteme auf das Liegeverhalten von Pferden. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, https://elib.tiho-hannover.de/servlets/MCRFileNodeServlet/etd_derivate_00000410/koesterj_ws15.pdf, Zugriff am 14.09.2019
- KTBL (2016): Betriebsplanung Landwirtschaft 2016/17. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Marten, J. (2004): Stallgebäude für die Pensionspferdehaltung. In: Pensionspferdehaltung im landwirtschaftlichen Betrieb, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), KTBL-Schrift 405, Darmstadt, S. 72–75
- Meyer, H.; Coenen, M.; Vervuert, I. (2014): Pferdefütterung. Stuttgart, Enke Verlag
- Nakagawa, S. (2004): A farewell to Bonferroni: the problems of low statistical power and publication bias. *Behavioral Ecology* 15(6), pp. 1044–1045, <https://doi.org/10.1093/beheco/arh107>
- Nebe, H.-D. (2005): Gibt es Alternativen bei der Einstreu von Pferden? Forschungsbericht, Zweibrücken, DLR Westpfalz
- Neubert, U. (2011): Pensionspferdeställe – Funktionalität und Kundenwünsche zusammenbringen. In: Pferdehaltung – Zucht, Aufzucht und Pensionspferde, Baubriefe Landwirtschaft 49, Aktuelle Beratungsempfehlung, Hrsg. Bauförderung Landwirtschaft e.V., Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag, 2. überarbeitete Aufl., S. 98–106
- Nover, M. (2013): Status quo der Haltung von Pferden in einer Region Westdeutschlands unter Aspekten des Tierwohlbefindens. Dissertation, Freie Universität Berlin, https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/1565/Nover_online.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Zugriff am 17.04.2020
- Oke, S. (2018): Ammonia & Respiratory Health. *The Horse: Your Guide To Equine Health Care*, <https://thehorse.com/wp-content/uploads/2018/04/ammonia-and-respiratory-health-30023-FS.pdf>, Zugriff am 12.11.2019
- Pirkelmann, H.; Ahlswede, L.; Zeitler-Feicht, M.H. (2008): Pferdehaltung. Stuttgart, Eugen Ulmer KG
- R Core Team (2015): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) (Hrsg.) (2017): Bemessungswerte 2017. https://www.svlfg.de/50-vmb/vmb09/vmb09_002/vmb09_07_werte/index.html, Zugriff am 07.01.2017
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2017): Branchenspezifische Mindestlöhne in Deutschland im Januar 2017. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VerdiensteArbeitskosten/Mindestloehne/Tabellen/MindestlohnDeutschland.html>, Zugriff am 08.02.2017
- Szabo, E. (2008): Experimentelle Untersuchungen luftgetragener Partikel und Schimmelpilze in Pferdeställen. Göttingen, Cuvillier Verlag, 1. Auflage
- TierSchG (2006): Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Dezember 2018 (BGBl. I Nr. 47 S. 2586). <http://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>, Zugriff am 01.11.2019
- Van den Weghe, H.; Hessel, E.; Fleming, K.; Bockisch, F.-J.; Hoffmann, G. (2008): Schlussbericht – Alternative Einstreumaterialien zur Reduzierung der gas- und partikelförmigen Emissionen in der Pferdehaltung und Prävention von Atemwegserkrankungen bei Pferden. Georg-August-Universität Göttingen und Johann Heinrich von Thünen-Institut, https://www.openagrar.de/receive/timport_mods_00001447, Zugriff am 17.04.2020
- von Borstel, U. K.; Kassebaum, L.; Ladewig, K.; Gauly, M. (2010): Arbeitszeitaufwand in der Pferdehaltung: ein Vergleich von Einzelboxen-, Laufstall- und Bewegungsstallhaltung. *Züchtungskunde* 82(6), S. 417–427, https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/borstel-et-al_NjA4OTg3Mg.PDF, Zugriff am 18.04.20

- Werhahn, H.; Hessel, E.F.; Van den Weghe, H.F.A. (2009): Einfluss verschiedener Einstreumaterialien auf das Verhalten von Pferden in Boxenhaltung. Landtechnik 64(4), S. 238–241, DOI: <https://doi.org/10.15150/lt.2009.671>
- Zeitler-Feicht, M.H. (2013): Tiergerechte Haltungsverfahren für Sport- und Freizeitpferde gemäß den Richtlinien des BMELV. Pferdeheilkunde 29(4), S. 1-3, DOI: <https://doi.org/10.21836/PEM20130405>
- Zeitler-Feicht, M.H. (2015): Handbuch Pferdeverhalten – Ursache, Therapie und Prophylaxe von Problemverhalten. Stuttgart, Eugen Ulmer KG

Autoren

Franziska Christ, Diana Schneider und **Sarah Schneider** studierten Pferdewirtschaft (B. Sc.) sowie Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft (M. Sc.), **Prof. Dr. Barbara Benz** ist Professorin in den Studiengängen Agrarwirtschaft und Pferdewirtschaft an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Neckarsteige 6–10, 72622 Nürtingen. E-Mail: barbara.benz@hfwu.de