

Hessentag, 15. November 2010

**Einfluss des Einstreumaterials und des
Entmistungsintervalls auf Ammoniak- und
Staubentwicklung in Pferdeställen**

PD Dr. Engel Hessel

**Georg-August-Universität Göttingen, Außenstelle Vechta,
Department für Nutztierwissenschaften, Abteilung Verfahrenstechnik
earkena@uni-goettingen.de**

Gliederung

- **Einleitung**
- **Anforderung an die Einstreu**
- **Stallluftqualität**
- **Einfluss der Einstreumaterialien auf die Schwebstaubkonzentrationen**
- **Einfluss der Einstreumaterialien auf die Ammoniakkonzentrationen**
- **Fazit**

Einleitung

- Derzeit leben mehr als 1 Mill. Pferde in Deutschland
- Der größte Anteil, sowohl im Sport- als auch im Zucht- und Freizeitbereich wird in Innenboxen gehalten.
- Untersuchung in Niedersachsen: 94 % Einzelhaltung (63 % in Innenboxen, 31 % in Außenboxen), nur 6 % in Gruppenhaltung in Laufställen
- Untersuchung in Schleswig-Holstein: 96 % Einzelhaltung

Einleitung

- Symptomatische oder latent vorhandene Schäden der Atemwege bei ca. 80 % aller Stallpferde (Pick, 1986).
- Ca. 30 % der Unbrauchbarkeitsfälle von Sportpferden werden auf chronische Atemwegserkrankungen zurückgeführt (Schlichting, 2001).
- Atemwegserkrankungen als zweithäufigste Abgangsursache versicherter Pferde (Salzbrunn, 2005; Köning, 1983).

Einleitung

- Atmungssystem der Pferde reagiert besonders empfindlich auf Staub und Schadgase (Holcombe et al., 2001; Malikides und Hodgson, 2003) → Schaffung eines optimalen Stallklimas zur Erhaltung der Gesundheit

Grundlagen

- Boxenhaltung- Einraumwohnung
- Fressen-Schlafen-Misten auf beengten Raum
- 8-12kg Kot/Pferd u. Tag, 10-12 Portionen
- 5-10 l Urin/Pferd u. Tag, 6-12 Portionen
- ~ 9-10 t Mist/Pferd u. Jahr

Studien von RODEWALD (1989) über die Häufigkeiten von Pferdeerkrankungen ergaben:

1. Schädigung des Bewegungsapparates
2. Schädigung des Atmungsapparates
3. Schädigung des Verdauungsapparates
4. Verhaltensstörungen (Koppen, Weben etc.)

Da diese Erkrankungen unter naturnahen Bedingungen i.d.R. nicht vorkommen, sind diese im wesentlichen auf die Haltungsbedingungen zurückzuführen!



Anforderungen an die Einstreu



Anforderungen aus Sicht des Pferdes

- Binden des Urins und der Feuchtigkeit des Mistes
 - Erleichterung des Harnen und Mistens
- Liegeunterlage, ausreichende Dicke
 - **Trocken**, verformbar, sauber und staubarm
 - Liegekomfort
 - Vermeidung von Druckstellen an den Gliedmaßen
 - Geringere Liegezeiten → Auf Dauer Rückgang des Leistungsvermögens und der Belastbarkeit
 - Ausrutschsicher
- Darf dem Pferd nicht schaden, wenn es davon frisst

Auswahlkriterien

- Verfügbarkeit
- Kosten
- Absorbtionseigenschaften
- Liegekomfort
- Handhabung und Pflege
- Entmistung- und Lagerungseigenschaften
- Oberflächenstruktur, Partikelgröße
- Staub und andere allergene Anteile
- Düngereigenschaften des entstehenden Mistes
- Schmackhaftigkeit fürs Pferd



Stallluftqualität

Stallklima

- **Stallklima** hat neben Raumverhältnissen, verwendeten Stalleinrichtungen, Betreuung und Fütterung einen bedeutenden Einfluss auf die Tiergerechtheit eines Haltungssystems.
- **große Bedeutung** für Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit
- **entscheidendes Kriterium** für eine erfolgreiche Pferdehaltung

Stallklima

drei verschiedene Faktorbereiche:

- **physikalische** Parameter (Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Luftbewegung)
 - **chemische** Parameter (Schadgase)
 - **biologische** Parameter (Staub, Mikroorganismen)
- Zusätzlich wird der Faktor Licht aufgeführt, der einen Einfluss auf das gesamte endokrine und limbische System des Pferdes ausübt.

Physikalische Parameter

- **Lufttemperatur (°C):**
 - Pferd besitzt sehr ausgeprägtes Thermoregulationsvermögen
 - schnelle Anpassungsfähigkeit an klimatische Veränderungen
 - gleichmäßige „Komfortlufttemperatur“ unerwünscht; dadurch bleibt Organismus untrainiert
 - **Stalllufttemperatur soll der Außentemperatur ganzjährig gemäßigt folgen!**

Physikalische Parameter

- **rel. Luftfeuchte (%):**
 - optimale rel. Luftfeuchte im Pferdestall beträgt **60 – 80 %**
- **Luftbewegung (m/s):**
 - regelmäßiger Austausch von verbrauchter Stallluft durch Frischluft
 - Luftströmung im Pferdestall **mind. 0,2 m/s**
 - Luftströmungen den Temperaturen anpassen: bei hohen Temperaturen im Sommer sollte diese bis zu 6 m/s ansteigen
 - Zugluft vermeiden

Chemische Parameter

- **Schadgase**
stammen meist aus dem Stoffwechsel der Tiere,
den Ausscheidungen und der Einstreu
- Hauptschadgase:
Kohlendioxid
Ammoniak

Kohlendioxid

- wird hauptsächlich durch die Atmung in die Stallluft abgegeben
- geringe Mengen (5-10 %) entstehen bei der mikrobiellen Zersetzung von Kot, Harn und Futterresten
- Parameter für die Qualität der Stallluft;
- **sehr guter Indikator für die Luftqualität**, speziell für eine ausreichende Lüftungsrate!
- **Grenzwert (BMVEL, 1995) = 1000 ppm (0,1 Vol %)**

Ammoniak – Bedeutung für die Pferdegesundheit

- Besitzt keratolytische Eigenschaften, wirkt reizend und irritierend besonders auf Schleimhäute und Augen (Hartung et al., 1990).
- Schädigung der zellulären Oberfläche der Atmungstraktes → Abnahme der Mukoziliären Clearance (Katayama et al., 1995)
- Der Richtwert für Ammoniak im Pferdestall: 10 ppm (6,96 mg/m³) (BMVEL, 1995).
- > 30 ppm: schwerwiegende Schäden an den Atmungsorganen
- Bestehende Atemwegserkrankungen (RAO) werden durch erhöhte Ammoniakkonzentrationen nachteilig beeinflusst.

Ammoniak – Generierung und Freisetzung

- Enzymatische Harnstoffspaltung:



- Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammonium und gelöstem Ammoniak:



- Stoffübergang von flüssig in gasförmig:
Konzentrationen an der Grenzschicht (Henry-Gesetz), Luftgeschwindigkeit, Temperatur

Biologische Parameter

- **belebte Partikel** (Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen, Pilze, Viren)
- **unbelebte Partikel** (Staub): können andere Stoffe wie Mikroorganismen mit sich tragen

Zusammensetzung Staub:

- org. Partikel aus Einstreu, Futter, Haut-/Haarpartikel, Kot
 - Partikelgröße spielt besondere Rolle für die biologische Wirkung
 - **keine verbindlichen Grenzwerte für Pferdeställe festgesetzt !!**
 - unterschiedliche Richtwerte angegeben (z.B. 4 mg/m³ Feinstaub)
- Das Einstreumaterial und das Futter sind die primären Staubquellen im Pferdestall (Art et al., 2002).

Luftgetragene Partikel - Fraktionen

- Einteilung der Staubfraktionen:

Einatembarer Anteil: PM (Particular Matter) $< 100 \mu\text{m}$

- Thoraxgängiger Anteil: PM $< 10 \mu\text{m}$ passiert den Nasen- und Rachenraum, dringt bis zur Lunge vor
- Alveolengängiger Anteil: PM $< 5 \mu\text{m}$ gelangt durch den Bronchialbereich in die Alveolen
- Luftbewegung beeinflusst das Verhältnis zwischen den Fraktionen in der Luft \rightarrow unterschiedliche Sedimentationsgeschwindigkeiten:

PM 100: 30 cm/**sec**; PM 10: 30 cm/**min** (Harry, 1978)

Staub in Pferdeställen

- wesentlicher Verursacher von Erkrankungen und so mitverantwortlich für Leistungseinbußen und Tierarztkosten.
- Einstreu muss möglichst arm sein an biogenen Schwebstoffen → allergieverursachende Wirkung (ART et al., 2002)

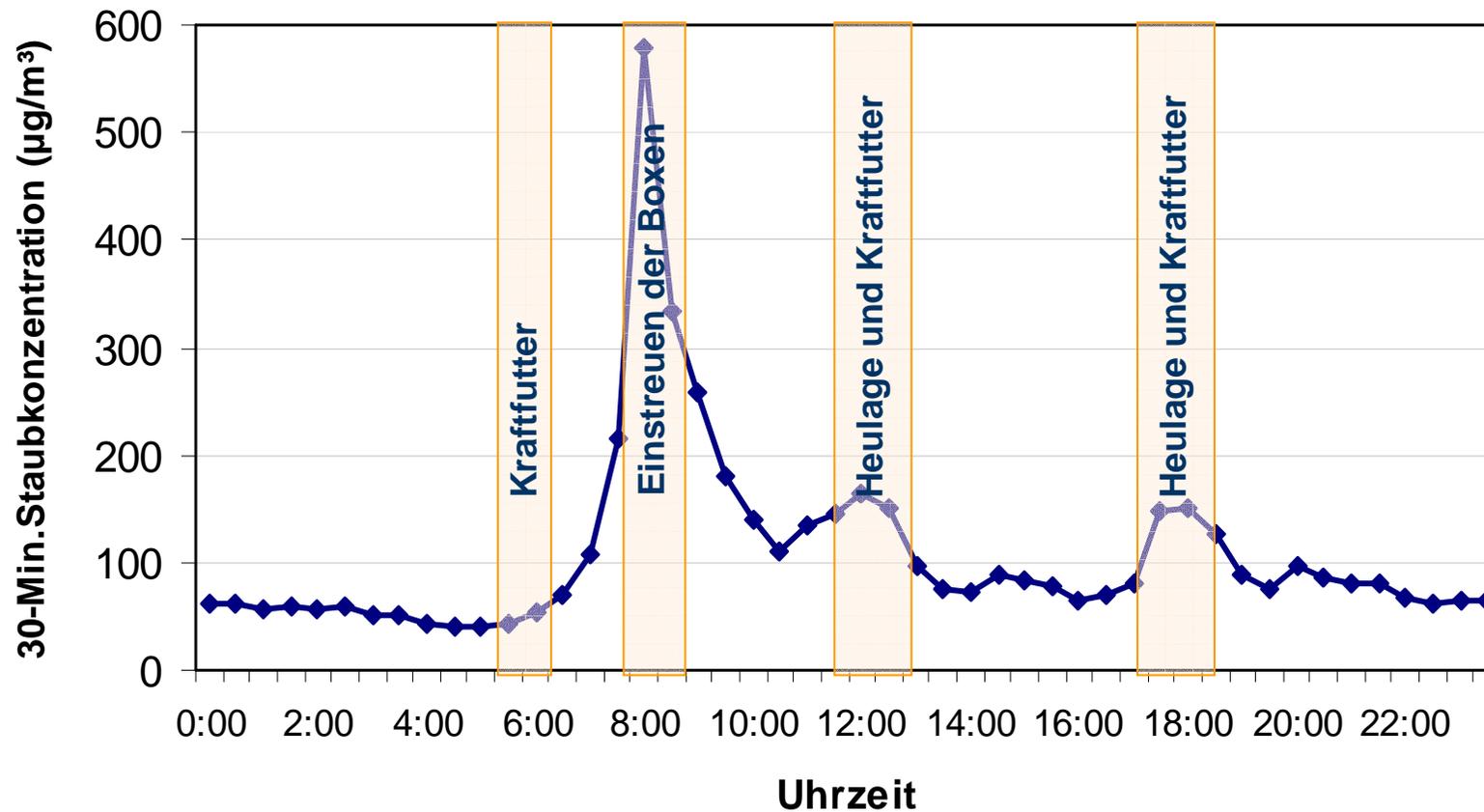
Luftgetragene Partikel - Bedeutung für die Pferdegesundheit

- Respirable Fraktion (PM 10) sind gesundheitsrelevant (Cargill, 1999)
- Mechanische, allergisierende, infektiöse oder toxische Wirkungen auf die Atmungsorgane (Art et al., 2002)
- Mukoziliäre Clearance nimmt bei starker Staubbelastung ab → kein effektiver Abtransport der Partikel → Entstehung unspezifischer Entzündungsreaktionen Tracheobronchialbereich (Deconto, 1983)
- Keine verbindlichen Grenzwerten für Pferdeställe

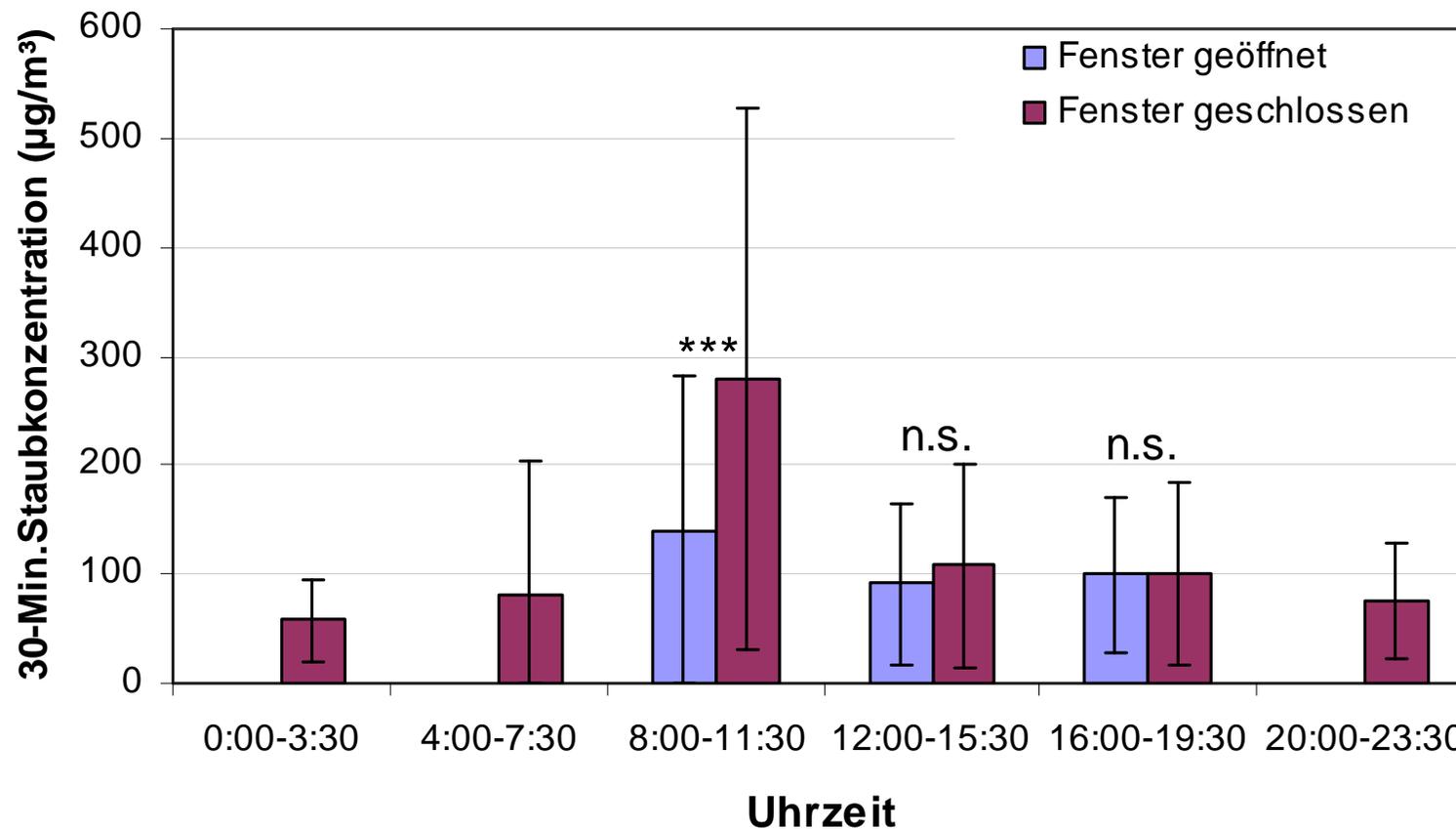
Einfluss der Einstreumaterialien auf die Schwebstaubkonzentrationen



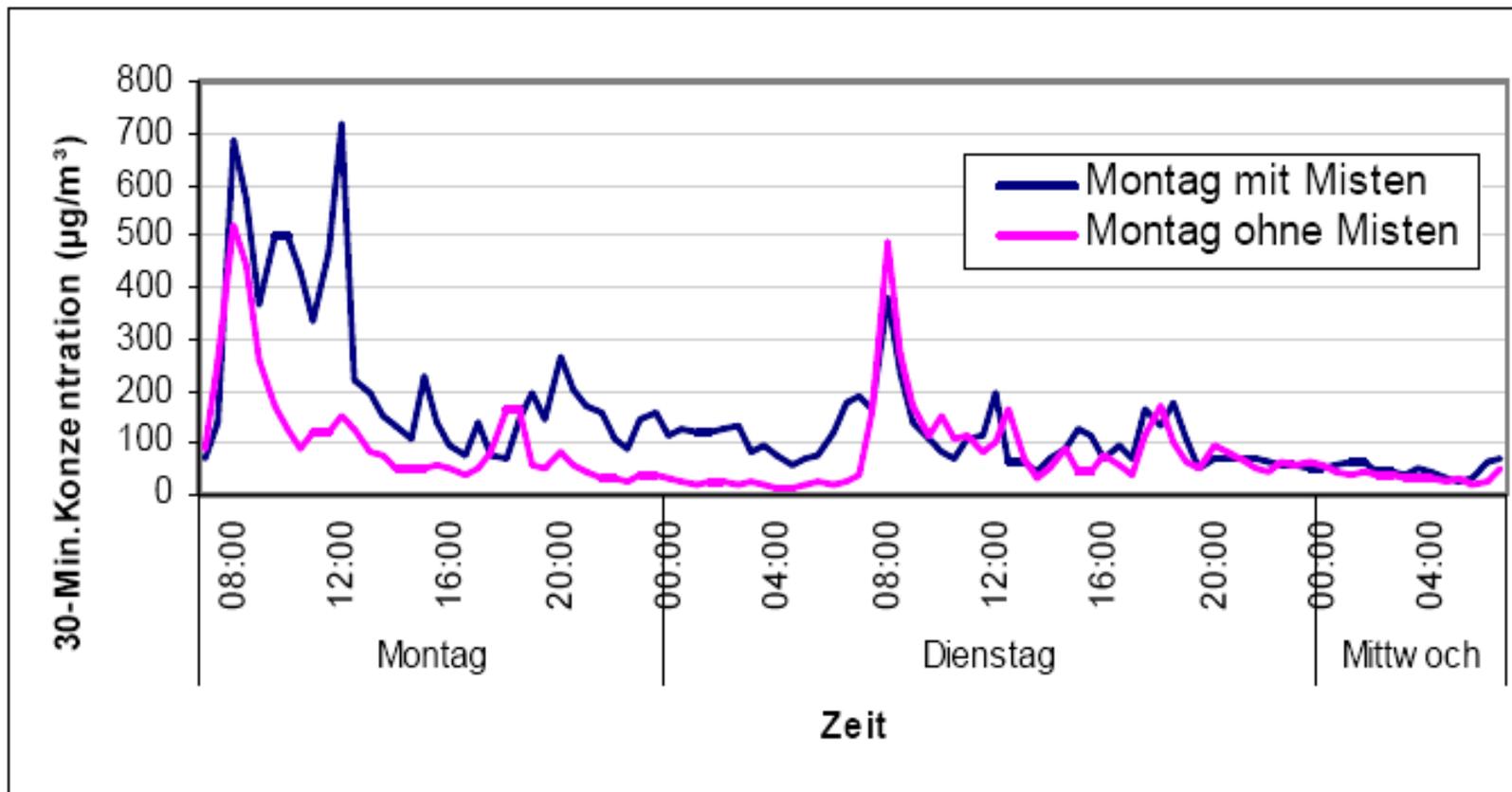
Mittlerer Tagesverlauf der Schwebstaubkonzentrationen im Zeitraum vom 24.2.2004 bis zum 19.4.2004



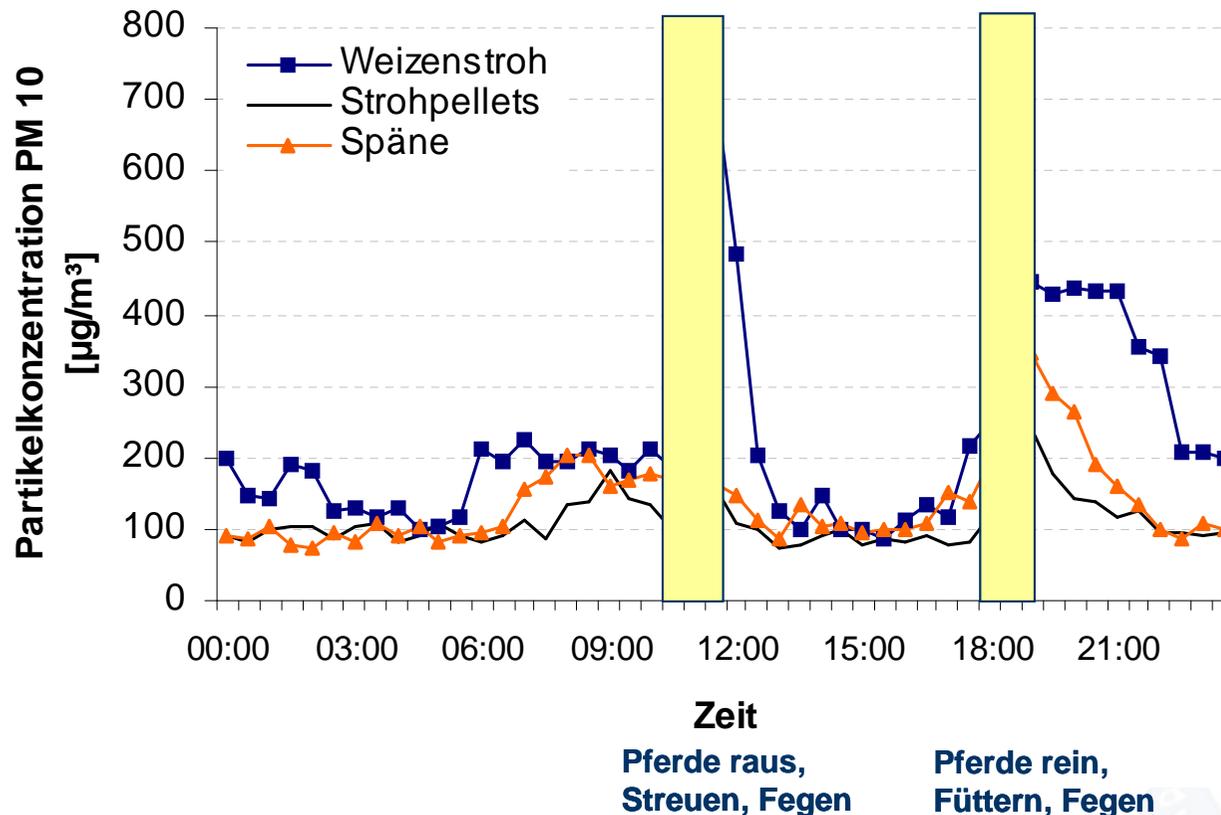
Mittelwerte und Standardabweichungen der Schwebstaubkonzentrationen in Abhängigkeit von dem Öffnen der Fenster



Mittlerer Tagesverlauf der Schwebstaubkonzentrationen im Zeitraum vom 24.2.2004 bis zum 19.4.2004 in Abhängigkeit von der Öffnung der Fenster in 48 Stunden nach dem Misten



Mittlere Partikelkonzentrationen (PM10) im Tagesverlauf, Praxisversuch, n = 42 Messtage/Material



Mittlere Partikelkonzentration (PM10)

- Weizenstroh $227,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 280,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n = 1991)
- Strohpellets $111,2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 149,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n = 1960)
- Holzspäne $140,9 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 141,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (n = 1993)

Luftgetragene Partikel - Generierung in Abhängigkeit vom Einstreumaterial (Technikum-Untersuchungen, kontinuierlich online)



Kasten: 1 m breit, 1 m tief, 1,50 m hoch
rotierende Paddel: $d = 50$ cm
Messkopf: 90 cm hoch

Drehdauer: 5 Minute, 1 Minute

Drehgeschwindigkeit: 14 U/ min, 8 U/ min

Messköpfe:

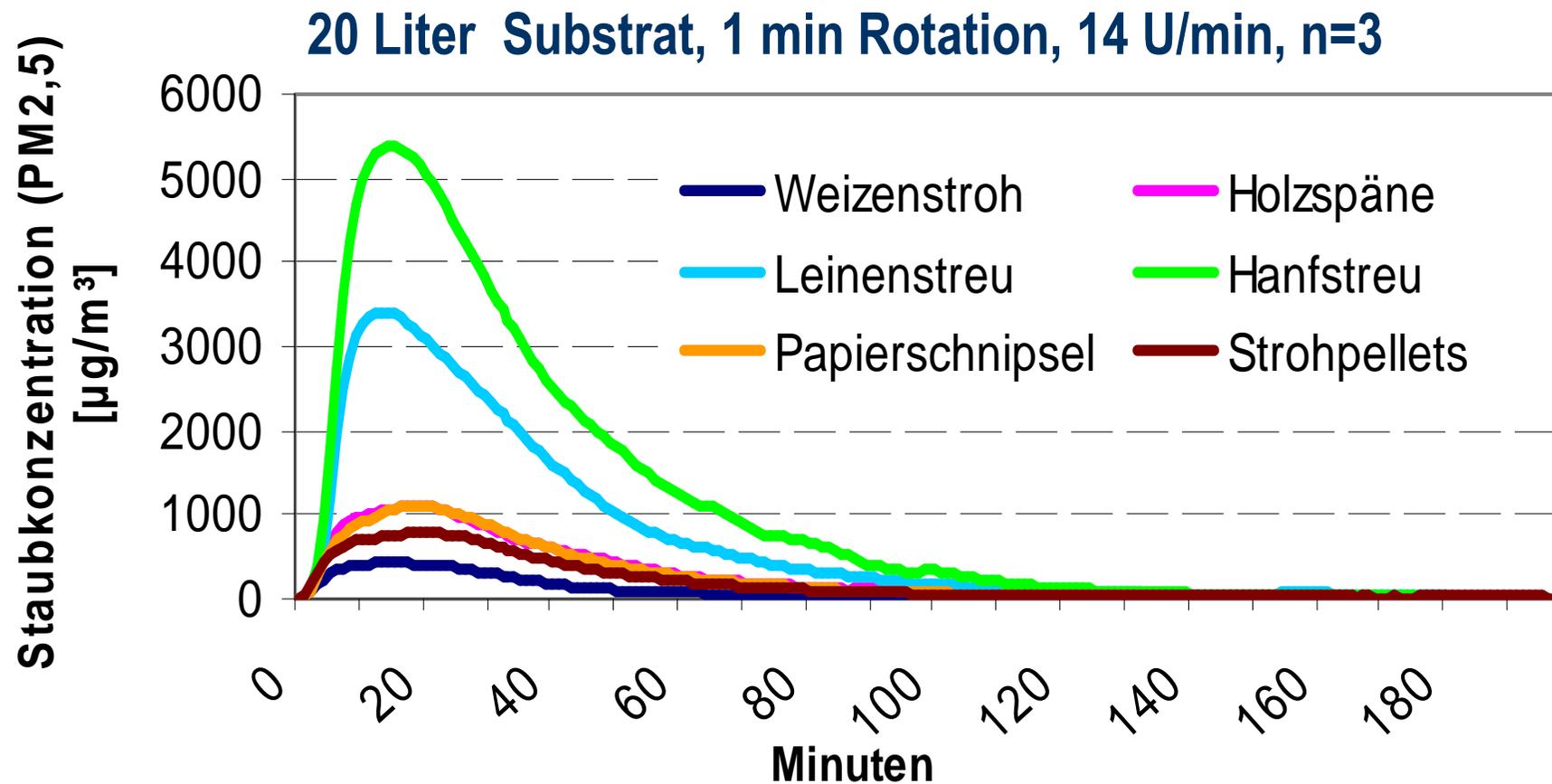
PM 20 Inlet (Fraktion $< 20 \mu\text{m}$),

PM 10 Inlet (Fraktion $< 10 \mu\text{m}$),

PM 2.5 Inlet (Fraktion $< 2.5 \mu\text{m}$),

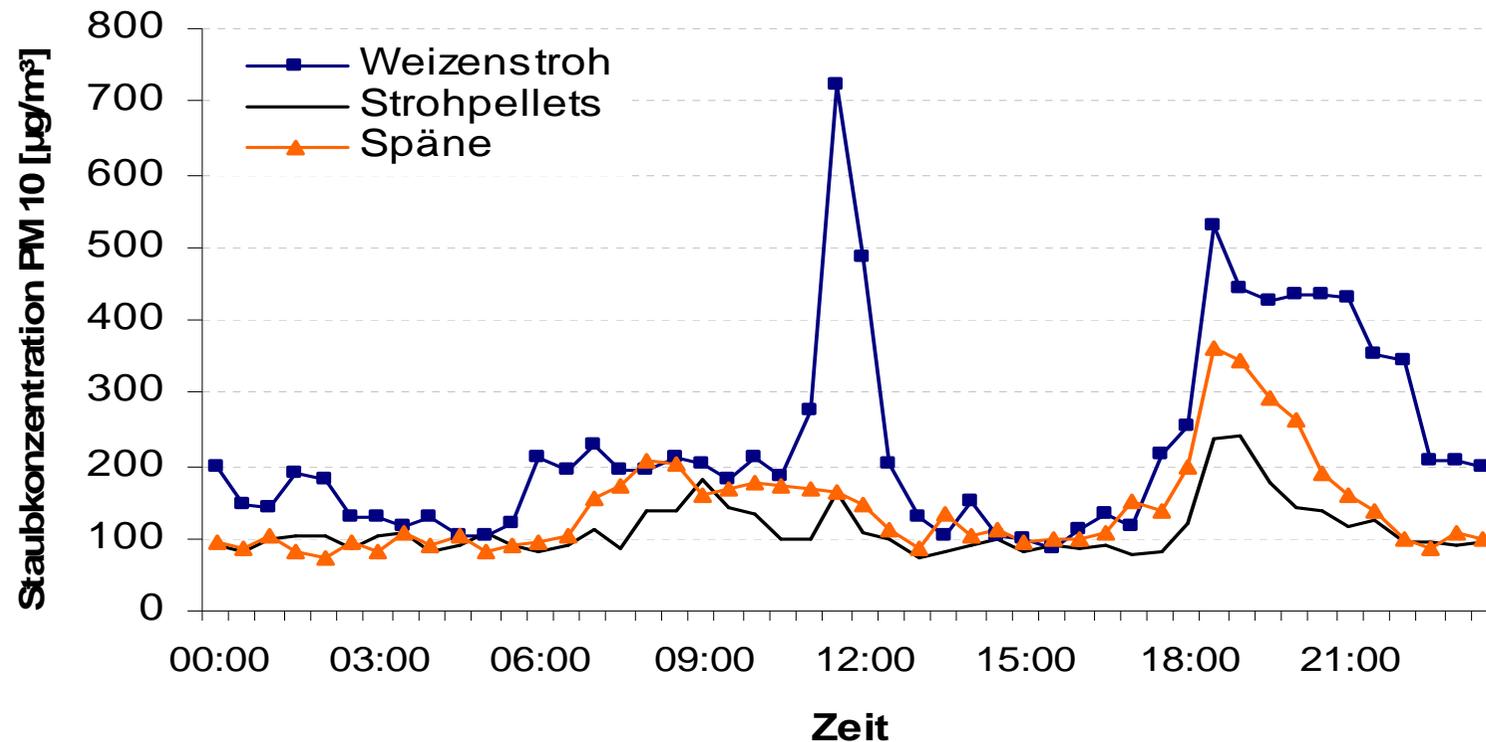
PM 1 Inlet (Fraktion $< 1 \mu\text{m}$)

Generierung von PM 2,5 Partikeln in Abhängigkeit vom Einstreumaterial bei konstantem Volumen



Generierung luftgetragener Partikel und Gase

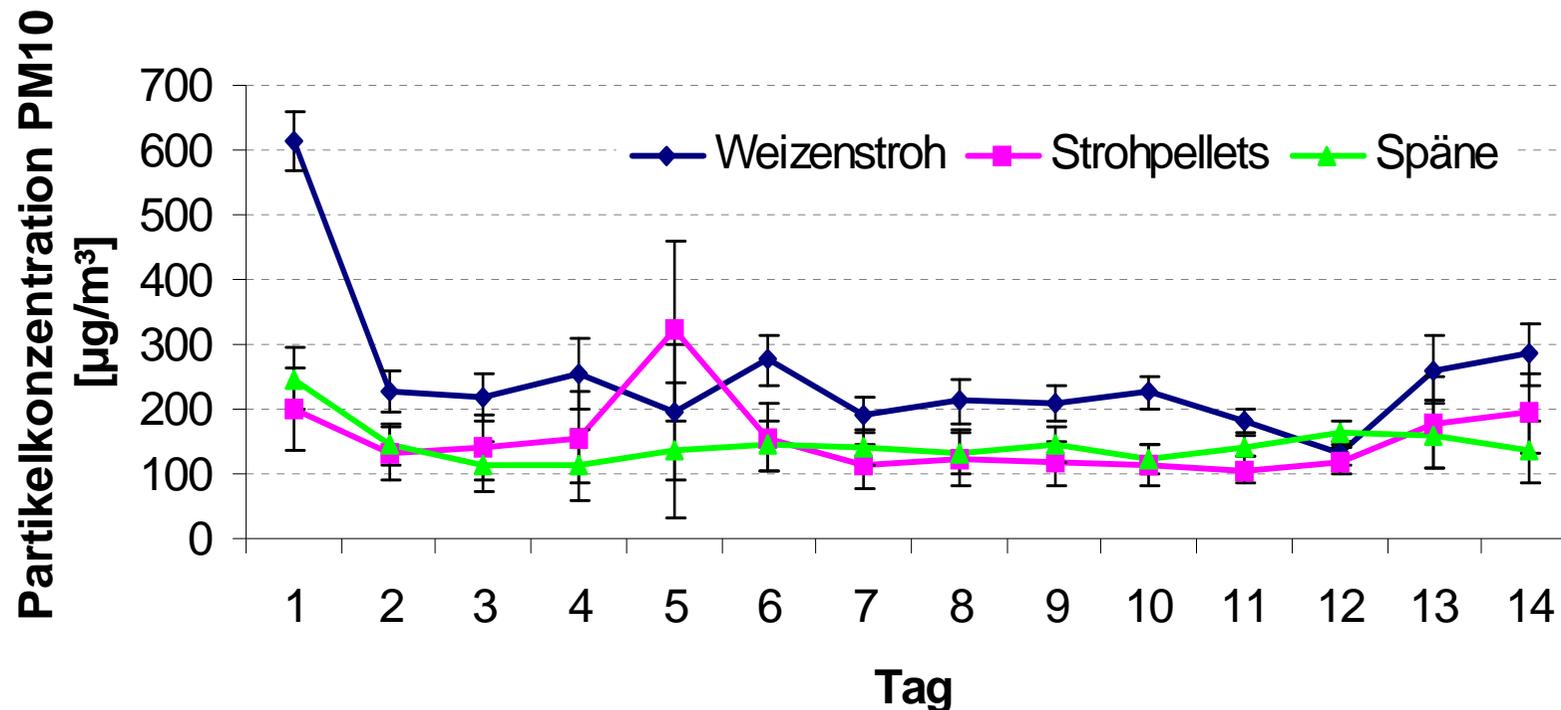
verschiedene Einstreumaterialien
unter Praxisbedingungen - mittlere Partikelkonzentration



Mittlere Staubkonzentrationen (PM10) im Tagesverlauf n = 42 Messtage/Material

Mittlere Partikelkonzentrationen (PM10) in Abhängigkeit vom Versuchstag

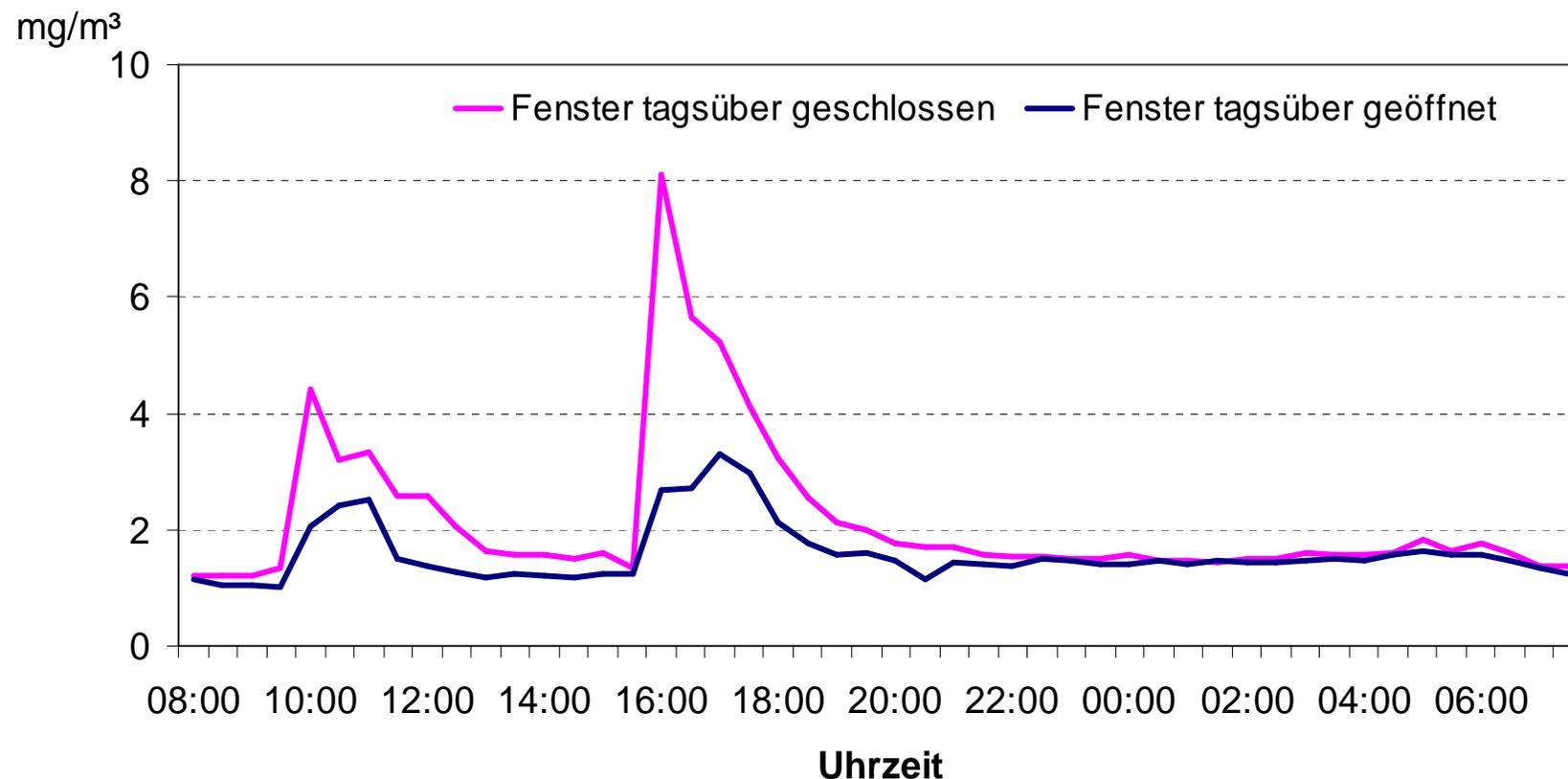
Praxisversuch, n = 42 Messtage/Material



Einfluss der Einstreumaterialien auf die Ammoniakkonzentrationen



Mittlerer Tagesverlauf der Ammoniakkonzentrationen im Zeitraum vom 24.2.2004 bis zum 19.4.2004 in Abhängigkeit von der Öffnung der Fenster



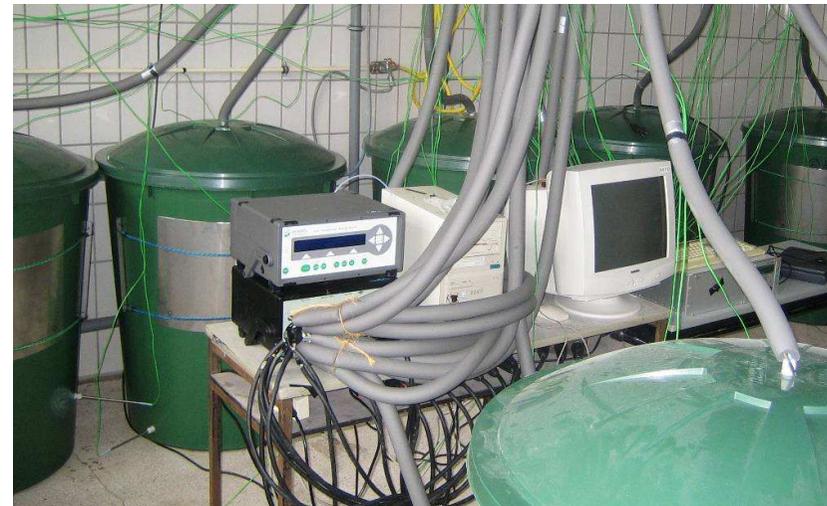
Ammoniak – Fehlerquellen bei Praxisuntersuchungen

- Tägliche Stickstoffausscheidung
- Luftbewegung, -temperatur, -austausch
- Luftvolumen im Stall
- Messzeitpunkt und Messpunkt im Stall
- Menge und Struktur der Einstreu

Ammoniak – Freisetzung in Abhängigkeit vom Einstreumaterial (Technikum-Untersuchungen, quasi-kontinuierlich online)

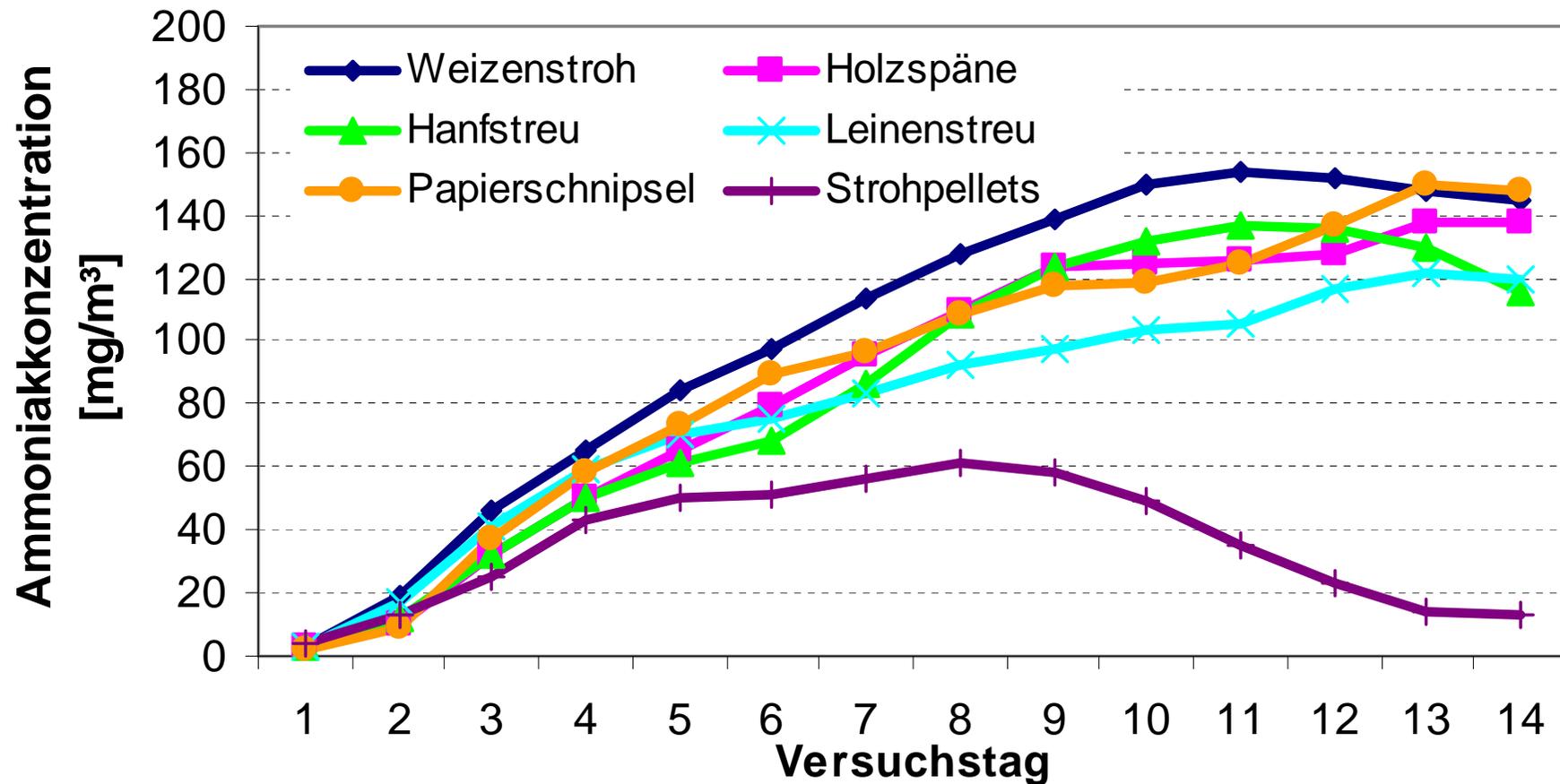
Einstreumaterialien

- Weizenstroh (ungehäckselte),
- entstaubte Holzspäne,
- Hanfstreu (Schäben),
- Leinenstreu (Schäben),
- Strohpellets (Weizenstroh),
- Papierschnipsel (1 x 6 cm)

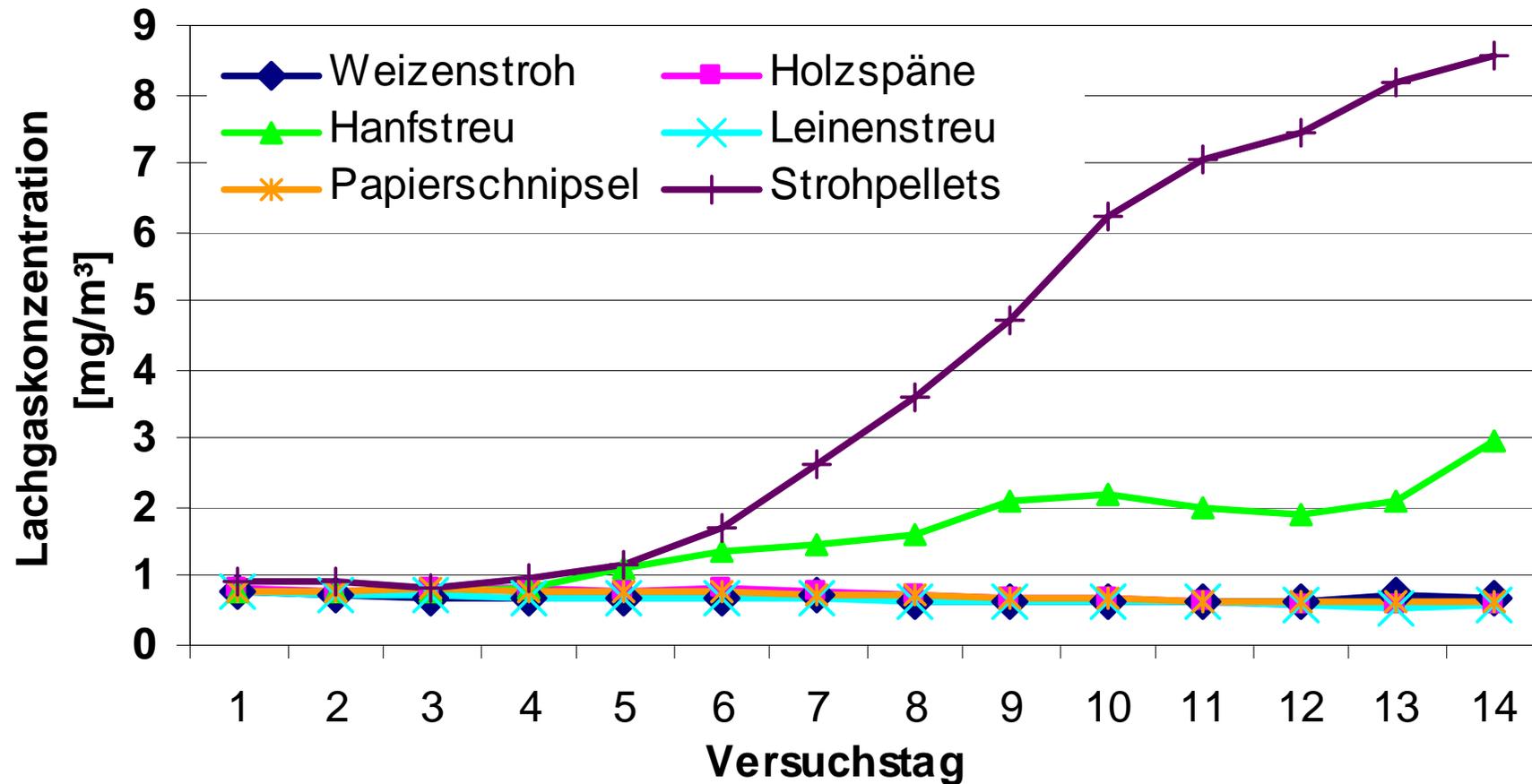


Je 2 Behälter mit gleichem Material befüllt; 1500 g Kohlenstoff/Behälter
Tägliche Zugabe von 220g Pferdeharn/-kot-Gemisch, keine Nachstreu
Quasi-kontinuierliche Erfassung der Gase (Ammoniak, Kohlendioxid, Lachgas,
Wasserdampf) und der Temperatur (im Material und oberhalb des Materials)

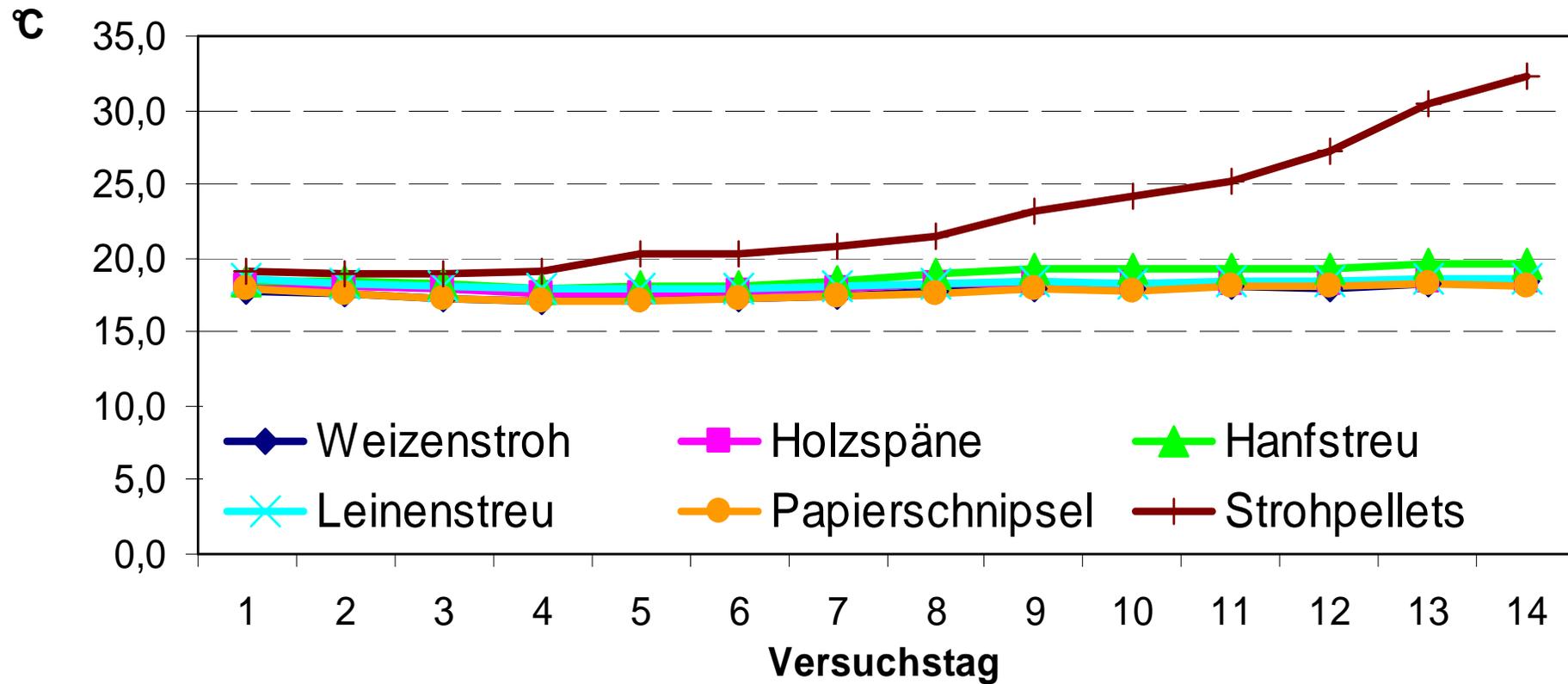
Mittlere Ammoniakkonzentrationen in Abhängigkeit vom Versuchstag und Einstreumaterial (n=12/Einstreumaterial)



Mittlere Lachgaskonzentrationen in Abhängigkeit vom Versuchstag und Einstreumaterial (n=12/Einstreumaterial)



Mittlere Substrattemperatur in Abhängigkeit vom Versuchstag und Einstreumaterial (n=12/Einstreumaterial)



Nitrifikation



Oxidation unter Beteiligung von
Mikroorganismen
(Energiequelle: Kohlenstoff)



NH_4^+ = Ammonium

NH_3 = Ammoniak

NO_2^- = Nitrit

NO_3^- = Nitrat

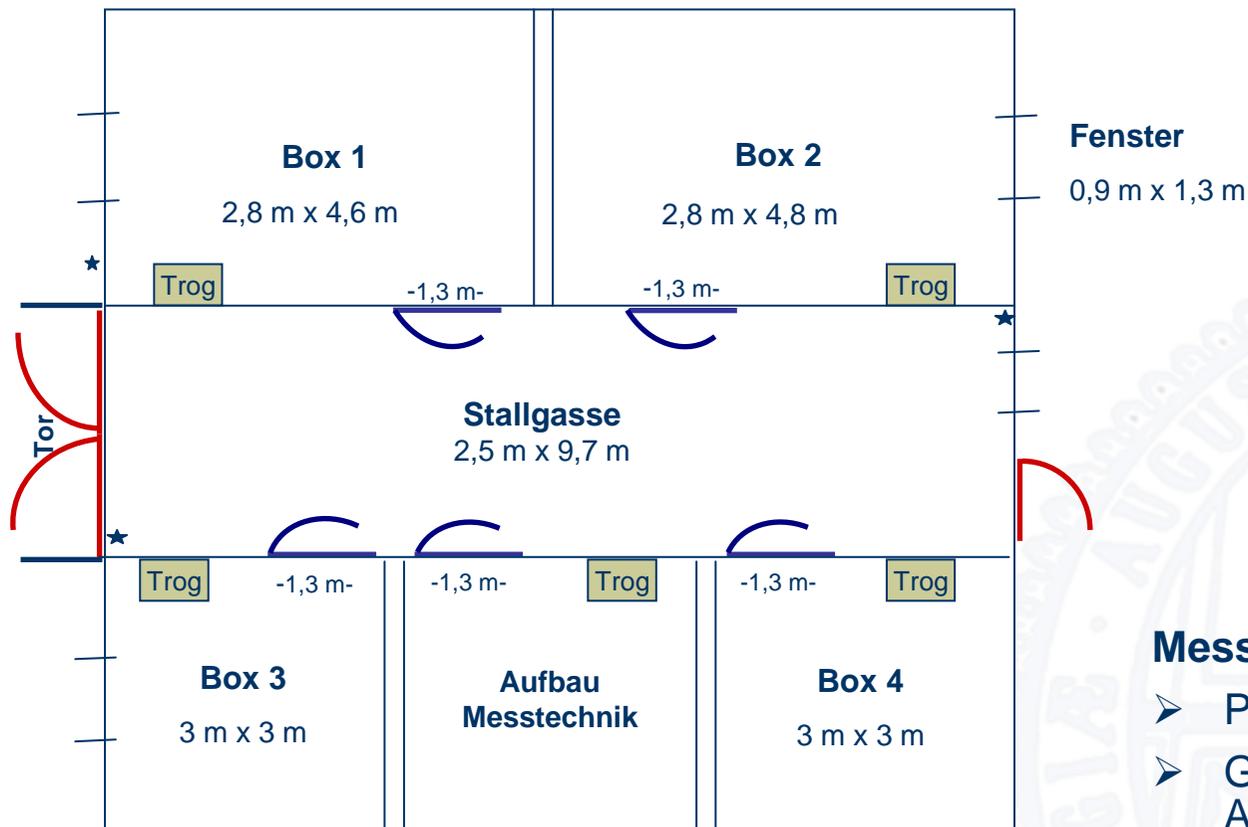
Mittlere Konzentrationen von Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Lachgas, Methan und Wasserdampf **im Stall** über 14 Tage in Abhängigkeit vom Einstreumaterial

Material	Mittlere Gaskonzentration [mg/m ³]				
	NH ₃	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	H ₂ O
Weizenstroh	2,89 ± 0,14 ^a	1519,9 ± 15,1 ^{ab}	0,68 ± 0,003 ^a	5,25 ± 0,1 ^a	7795,8 ± 134,4 ^a
Strohpellets	5,14 ± 0,14 ^b	1545,9 ± 15,2 ^a	0,66 ± 0,003 ^b	4,69 ± 0,1 ^b	8108,8 ± 34,7 ^b
Holzspäne	4,14 ± 0,10 ^c	1492,4 ± 11,1 ^b	0,65 ± 0,002 ^c	4,68 ± 0,1 ^b	8026,1 ± 25,3 ^b

Eigene Untersuchungen zum **Entmistungintervall**



Entmistungsintervall - Versuchsstall



★ Tiny Tag

Stallhöhe: 3,5 m

Luftvolumen gesamt: 295 m³

Messtechnik

- Partikelanalyse
- Gasanalyse:
Ammoniak, Kohlendioxid,
Lachgas, Wasserdampf
- Lufttemperatur und relative
Luftfeuchte: Tiny Tag

Vergleich von drei unterschiedlichen Entmistungsintervallen

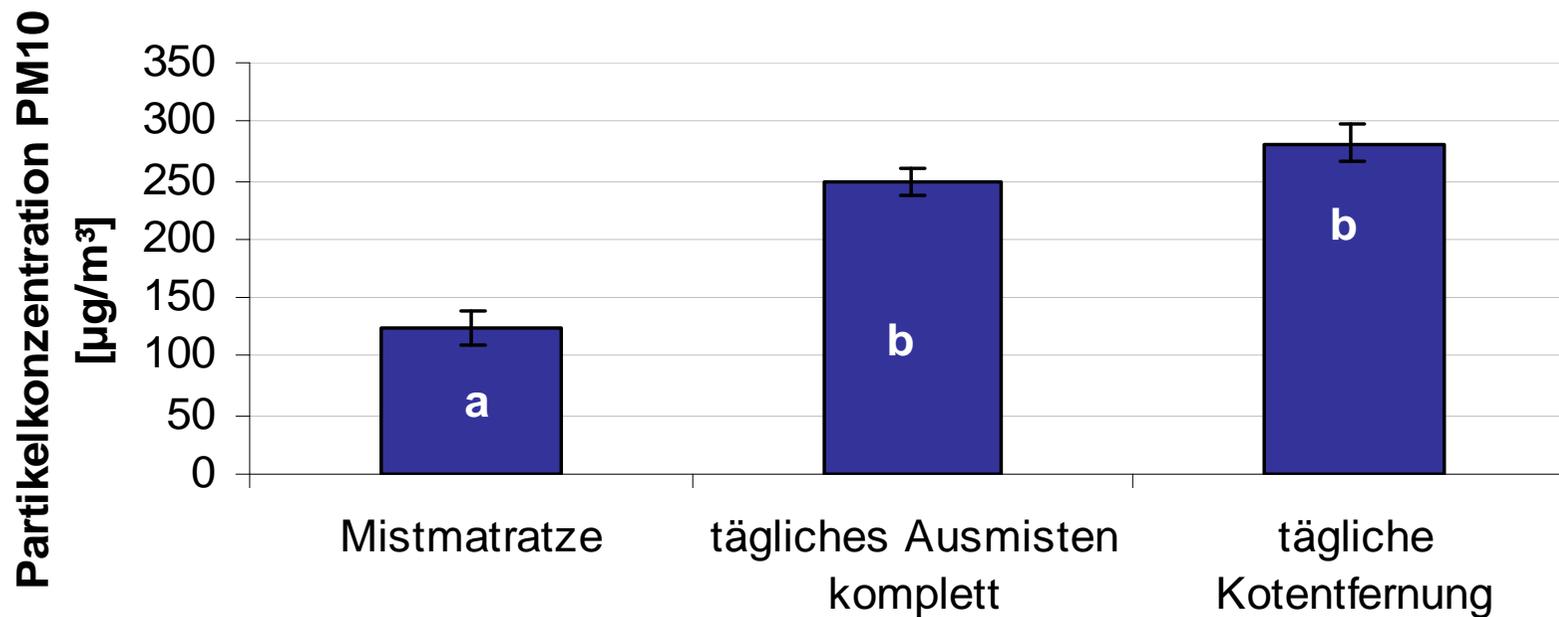
- 1. *Mistmatratze;***
nur tägliche Nachstreu: 1 kg/m^2
- 2. *tägliches komplettes Ausmisten,***
tägliche Neueinstreu: $3,5 \text{ kg/m}^2$
- 3. *tägliches Ausmisten,***
nur Kotentfernung, tägliche Nachstreu: 1 kg/m^2

Mittlere Ammoniak-, Kohlenstoffdioxid- und Lachgaskonzentrationen in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante

Entmistungsvariante	Mittlere Gaskonzentration [mg/m ³]		
	NH ₃	CO ₂	N ₂ O
1 Mistmatratze (kein Ausmisten)	1,92 ± 0,1 ^a	1295 ± 21 ^a	0,65 ± 0,005 ^a
2 Tägliches Ausmisten komplett	2,25 ± 0,1 ^b	1235 ± 18 ^b	0,67 ± 0,005 ^b
3 Tägliche Kotentfernung	1,54 ± 0,1 ^a	1361 ± 24 ^a	0,64 ± 0,005 ^a

a,b,c = LSMs mit verschiedenen Buchstaben innerhalb einer Spalte unterscheiden sich signifikant (P < 0,05), n = 56 Tagesmittelwerte/Entmistungsvariante.

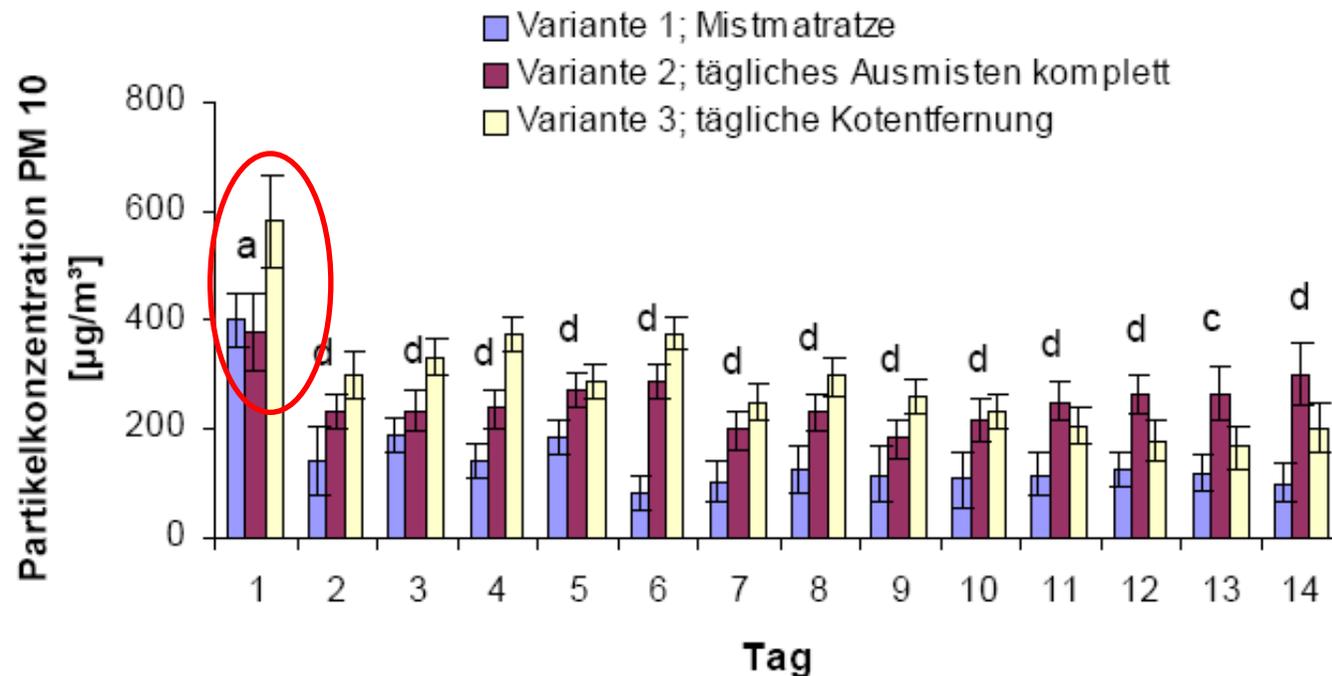
Mittlere Partikelkonzentrationen (PM10) in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante



a,b = LSMs mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant mit $P < 0,05$
 n = 14 Tagesmittelwerte/Entmistungsvariante

Generierung luftgetragener Partikel

in Abhängigkeit vom Versuchstag

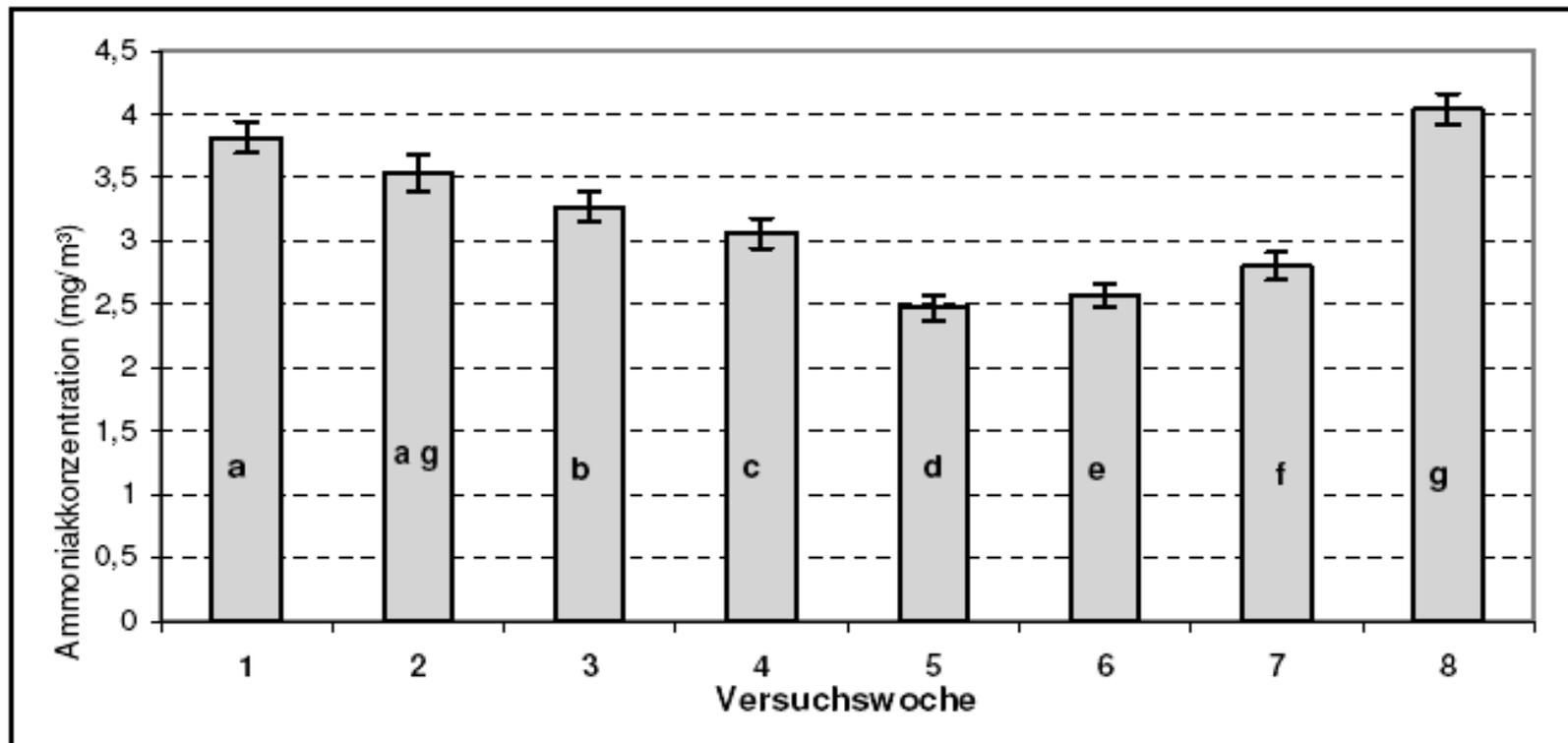


Mittlere Partikelkonzentrationen PM₁₀ im Verlauf von 14 Tagen in Abhängigkeit von der Entmistungsvariante, n = 336 Werte/Entmistungsvariante; a = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 1 und 2 d = keine signifikanten Unterschiede zwischen Variante 2 und 3, P < 0,05

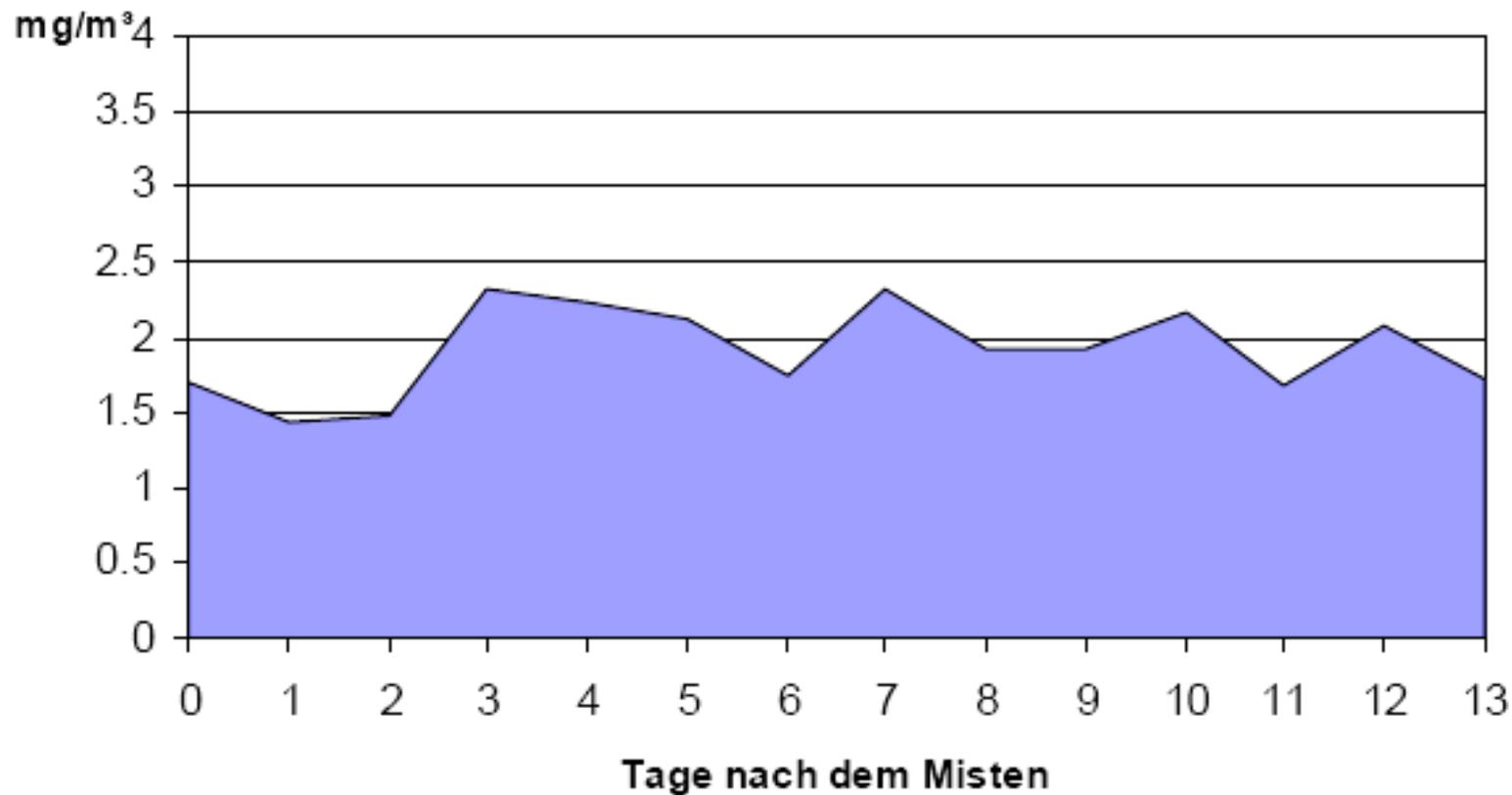
Mistmatratze



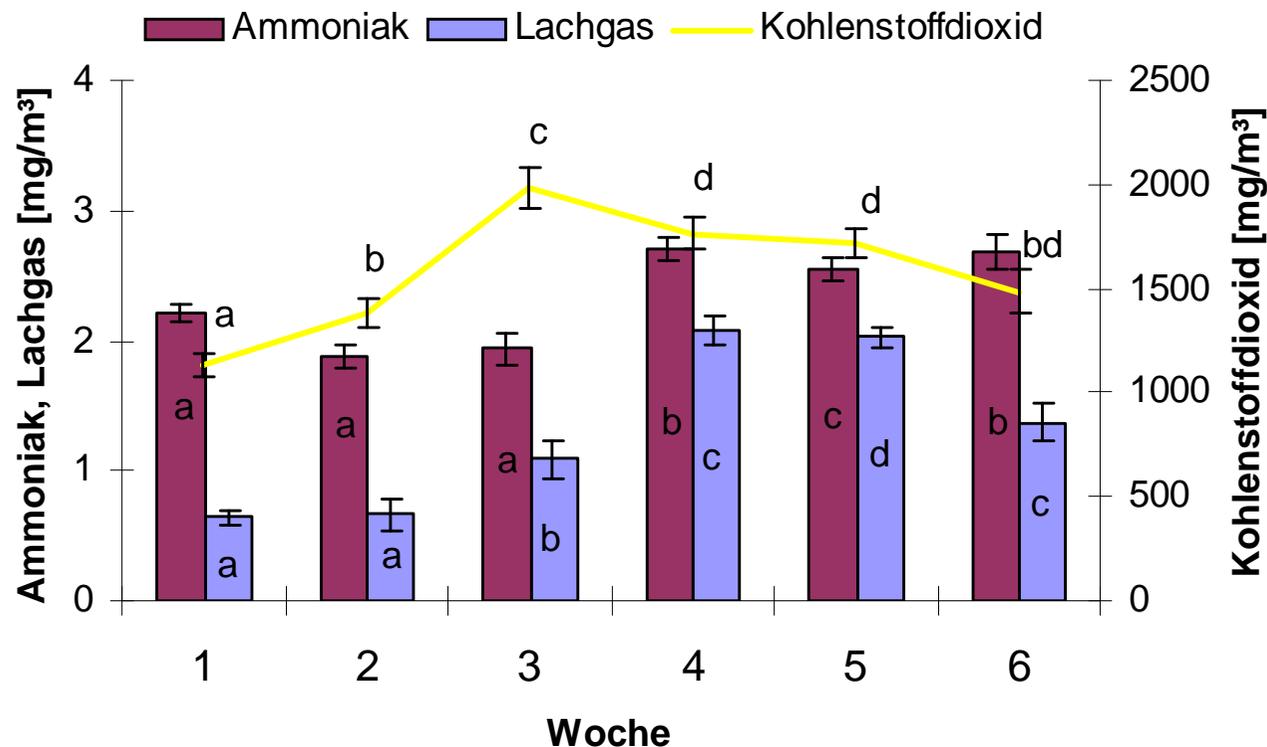
LSMeans und Standardfehler der Ammoniakkonzentration in Abhängigkeit von der Versuchswoche 5.-13. Woche ohne Misten, nur Nachstreuen mit Stroh



Mittlere Ammoniakkonzentrationen im Zeitraum vom 24.2.2004 bis zum 19.4.2004 in Abhängigkeit vom Entmistungsintervall



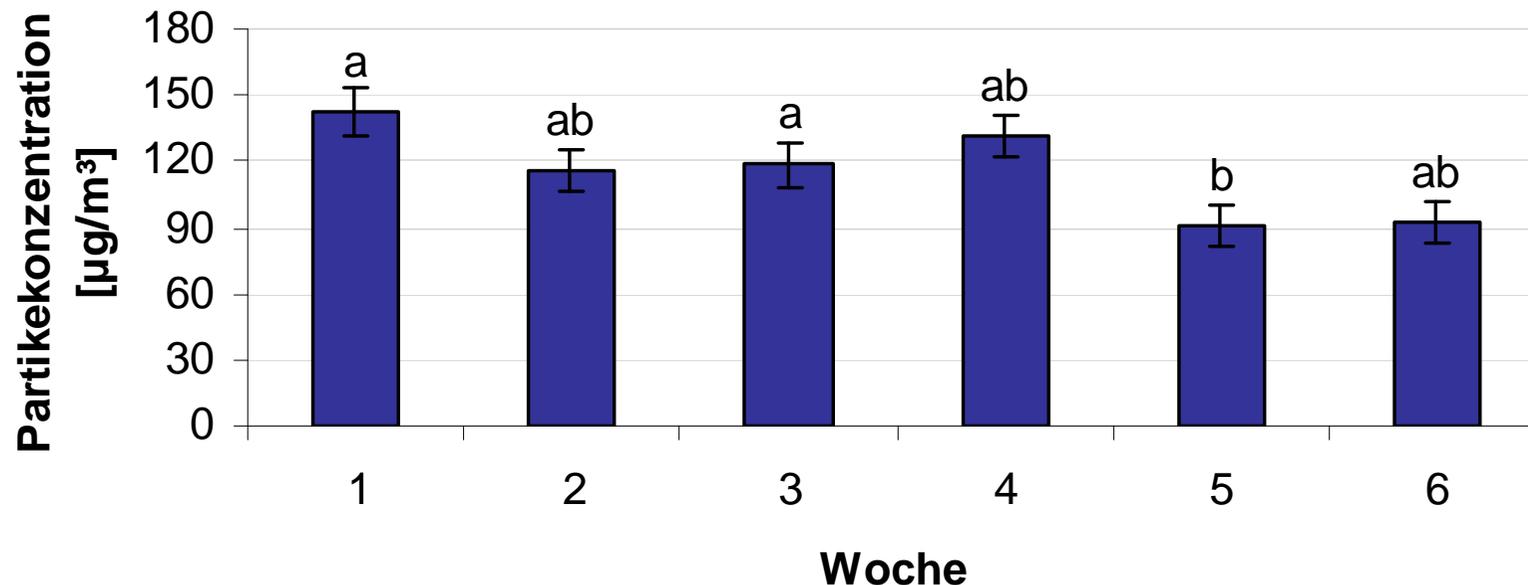
Mittlere Ammoniak-, Lachgas- und Kohlenstoffdioxidkonzentrationen in Abhängigkeit der Versuchswoche



n = 28 Tagesmittelwerte/Woche; a,b,c,d = LSMs innerhalb eines Gases mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)

Mittlere Partikelkonzentrationen PM 10 (LSM \pm SE) in Abhängigkeit der Versuchswoche

Weizenstroh, tägliche Einstreu 1kg/m²



n = 7 Tagesmittelwerte/Woche

a,b = LSM mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden mit $P < 0,05$.

Fazit

- Einstreumaterialien Hanf und Leinen, die als partikelreduzierende Alternativen zur Stroheinstreu in der praktischen Pferdehaltung angeboten werden, haben diese Anforderungen unter Technikumbedingungen nicht erfüllt.
- Einstreumaterialien wie Holzspäne oder Strohpellets können die Partikelkonzentrationen in der Stallluft im Vergleich zu Stroh reduzieren.
- Die Tätigkeiten im Stall (Füttern, Misten bzw. Säubern und Begradigen der Box, Fegen) verursachen sowohl erhöhte Ammoniak- als auch Partikelkonzentrationen.
- Die Mistmatratze bietet Vorteile im Vergleich zum täglichen Misten hinsichtlich der Partikel- und Gasgenerierung

Fazit

- Eine zweiwöchige Mistmatratze mit Stroh hat keinen negativen Einfluss auf die Ammoniakkonzentrationen im Stall hat.
- Sie bietet sogar Vorteile im Vergleich zum täglichen Misten hinsichtlich der Partikel- und Gasgenerierung.
 - Eine regelmäßige Nachstreu (Kohlenstoffverfügbarkeit) sollte aber erfolgen.
- Auch im Verlauf einer sechswöchigen Strohmistmatratze wurden keine kontinuierlich ansteigenden Ammoniakwerte im Stall erfasst.

Fazit

- Neben den genannten Faktoren Ammoniak und Partikelkonzentration müssen jedoch weitere Faktoren berücksichtigt werden.
 - negative Auswirkungen des Matratzenstreuverfahrens durch einen Anstieg des Parasitenbefalls und durch eine starke Insektenvermehrung im Stall
 - Mistmatratze als ein idealer Nährboden für pathogene Krankheitserreger