

## Luftfremde Stoffe in und aus verschiedenen Haltungssystemen für Legehennen – Teil 2: Staub

Torsten Hinz\*, Tatjana Winter\* und Stefan Linke\*

### Zusammenfassung

Zwei Jahre vor dem Zeitplan der EU ist seit Januar 2010 in Deutschland die Käfighaltung von Legehennen nicht mehr gestattet. Alternative Haltungssysteme wie die Boden-, Volieren- oder die Kleingruppenhaltung sind gefragt, die der Forderung der Öffentlichkeit nach mehr Tiergerechtigkeit entsprechen. Zudem dürfen aber die Belange der Arbeitsplatzhygiene und der Umwelt nicht vernachlässigt werden, wenn es darum geht, verschiedene Haltungssysteme zu vergleichen und zu beurteilen. Zu diesem Zweck wurden die Konzentrationen in und die Emissionen von Stäuben (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, A-Staub) aus verschiedenen Ställen einmal im Monat für jeweils eine Stunde gemessen. Zusätzliches 24 h-Monitoring einmal im Quartal sollte die Einordnung der Stundenmessungen in den Tagesgang und das saisonale Verhalten ermöglichen. Diese Arbeit gibt einen umfassenden Blick auf die eingesetzte Messtechnik und die Ergebnisse, die eine große Spannbreite für die Staubkonzentrationen und Emissionen aus verschiedenen Haltungssystemen aufzeigen.

*Schlüsselworte: Legehennen, Haltungssysteme, Luftgüte, Emissionen, Staub*

### Abstract

#### **Airborne contaminants in and from different keeping systems for laying hens – Part 2: dust**

Two years before the EU regulation comes into force in Germany no permission exists for keeping laying hens in conventional cages since January 2010. Alternative systems like floor keeping, aviaries and small group systems must follow the intentions of the society with high animal welfare requirements. Nevertheless protection of work and the environment cannot be neglected for evaluation and comparison of different systems. Concentration of PM in and emissions from the stables were measured as 1 h spot once a month. Furthermore, 24 h monitoring was added for each stable once in a quarter of a year to have the opportunity to indicate how the spot measurements reflect the diurnal profile and how seasonal effects must be considered. The paper gives a comprehensive view to the measuring procedure and the results of the investigations which show a wide span for the concentrations and emissions of dust for different alternative keepings of laying hens.

*Keywords: Laying hens, keeping system, air quality, emissions, PM*

---

\* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig  
E-Mail: torsten.hinz@vti.bund.de

### Einleitung

Die Haltung von Legehennen zählt zu den am häufigsten diskutierten Tierschutz-Themen der letzten Jahre in Deutschland. Hauptkritikpunkte sind nach Ansicht vieler Verbraucher und Experten die zu geringe Platzbemessung, zu wenig Bewegung und der Mangel an Möglichkeiten zur Ausübung typischer art eigener Verhaltensweisen.

Dies waren auch die Gründe, warum im Jahre 1999 das Bundesverfassungsgericht die Hennenhaltungs-Verordnung von 1988 für nichtig erklärte und in der EU neue Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen vorgelegt wurden (Tierschutz- Nutztierhaltungs-VO, 2009).

Die neuen Bestimmungen wurden in Deutschland 2010 mit dem endgültigen Verbot der Käfighaltung für Legehennen umgesetzt. Es gilt nun Alternativen aufzuzeigen und diese an den vorgegebenen Kriterien für Arbeits-, Tier- und Umweltschutz zu messen. Hierzu wurde ein umfassendes interdisziplinäres Projekt initiiert (Hinz et al., 2009; Winter et al., 2009)

In einem Teilprojekt, über das in zwei Beiträgen berichtet werden soll, wurden verschiedene alternative Haltungssysteme für Legehennen hinsichtlich der Freisetzung von luftfremden Stoffen und der Stallluftqualität untersucht. Es zeigten sich deutliche Unterschiede für Ammoniak und Staub. Während die Emissionen von Ammoniak weitgehend von der Entmistungsstrategie (Kotlagerung) bestimmt wurden, ist für die Staubemissionen die Tieraktivität verantwortlich. Während im ersten Teil (Hinz et al., 2010) die Ammoniakproblematik behandelt wurde, ist dieser zweite Teil auf Stäube unterschiedlicher Fraktionen fokussiert. Dabei werden für die im Stall befindlichen Individuen der alveolengängige A-Staub (im Weiteren als PM4 bezeichnet) und als emissionsrelevant die Fraktionen PM10 und PM2.5 betrachtet. Auf die Definitionen dieser Staubfraktionen wird in Abbildung 5 des Absatzes Messtechnik eingegangen.

### Material und Methoden

#### Ställe

In dem vorliegenden Projekt wurden vier unterschiedliche Stallsysteme für Legehennen untersucht, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Bei der Bodenhaltung mit Freilandzugang, der Bodenhaltung und der Voliere handelte es sich um kommerzielle Betriebe, während die Kleingruppenhaltung Bestandteil einer Forschungs- und Versuchseinrichtung war. Alle Ställe waren zwangsbelüftet. Die Beleuchtung mit Kunstlicht folgte einem Lichtprogramm, das in der Regel 14 Stunden Helligkeit gewährleistete.

#### – Freilandhaltung

Bei diesem Stall handelte es sich um eine Bodenhaltung mit Freilandzugang, die im Folgenden jedoch nur als Freilandhaltung bezeichnet wird.

In diesem Stall wurden 3000 Hennen der Linie Lohmann Brown (LB) auf Kunststoffgitterplatten ohne Einstreu gehalten. Darunter befand sich die Kotgrube. Ein Kotband war nicht vorhanden und der Stall wurde nach jedem Legedurchgang entmistet.

Die Beleuchtung erfolgte durch ein Lichtprogramm, das eine helle Phase von mindestens 14 Stunden Kunstlicht beinhaltete. Die Dunkelphase begann erst dann, wenn alle Hennen im Stall waren. Dementsprechend wurde das Lichtprogramm vom Tageslicht beeinflusst. Der Stall war zwangsbelüftet über zwei gleichartige Ventilatoren.

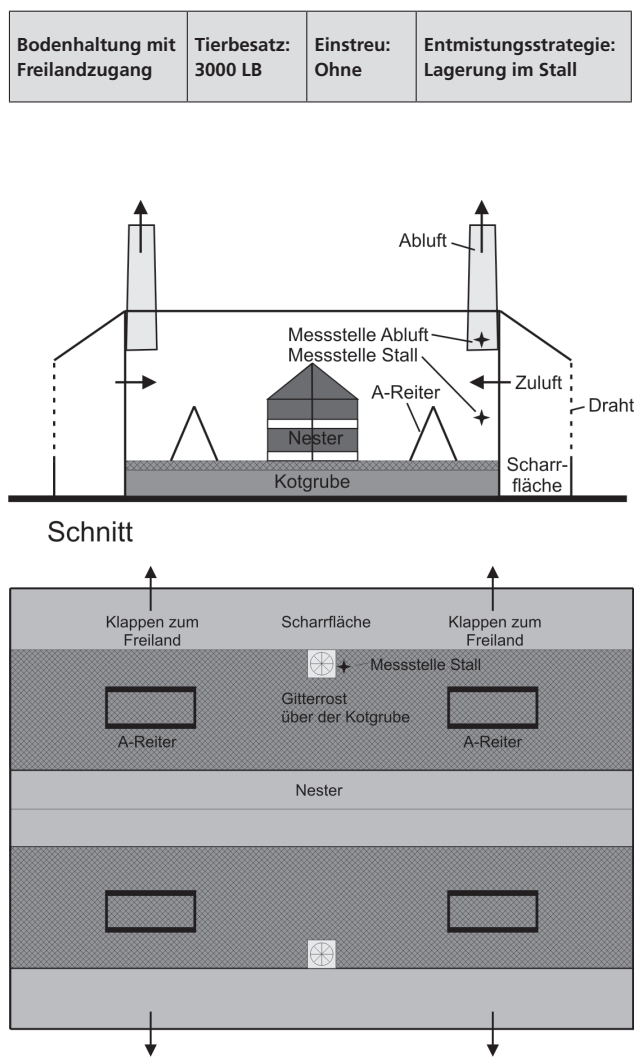


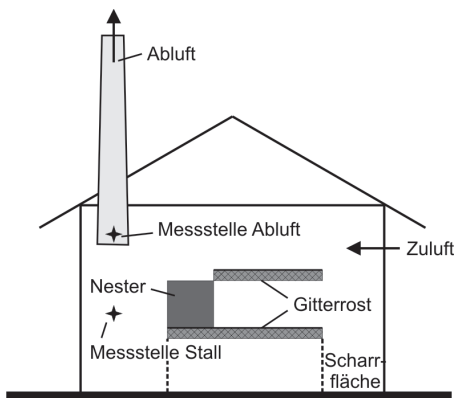
Abbildung 1: Freilandhaltung, Grundriss schematisch

- Volierenhaltung  
 In der Volierenhaltung wurden 900 Hennen der Linie Lohmann Silver Light (LSL) auf einer Einstreu von Sand und Holzspänen gehalten. Die Entmistung erfolgte wöchentlich über ein Kotband.  
 Die Beleuchtung erfolgte durch ein Lichtprogramm. Der Stall war zwangsbelüftet über zwei gleichartige Ventilatoren, von denen im Normalfall nur einer in Betrieb war.

- Bodenhaltung  
 In dem Stall mit Bodenhaltung ohne Kaltscharrraum oder Freilandzugang wurden 8000 Hennen der Linie Lohmann Brown gehalten. Als Einstreu dienten Holzspäne, die vorher entstaubt wurden. Auch hier gab es kein Kotband, sondern der Kot wurde mit der Einstreu am Ende des Legedurchganges aus dem Stall gebracht. Der Stall wurde über sechs Ventilatoren zwangsbelüftet. Die Beleuchtung hell/dunkel erfolgte über ein Lichtprogramm.

<b>Volierenhaltung</b>	<b>Tierbesatz:</b> 900 LSL	<b>Einstreu:</b> Sand/ Holzspäne	<b>Entmistungsstrategie:</b> Kotband wöchentlich
------------------------	-------------------------------	--	---

<b>Bodenhaltung</b>	<b>Tierbesatz:</b> 8000 LB	<b>Einstreu:</b> Holzspäne entstaubt	<b>Entmistungsstrategie:</b> Kotlagerung im Stall
---------------------	-------------------------------	--	--



Schnitt

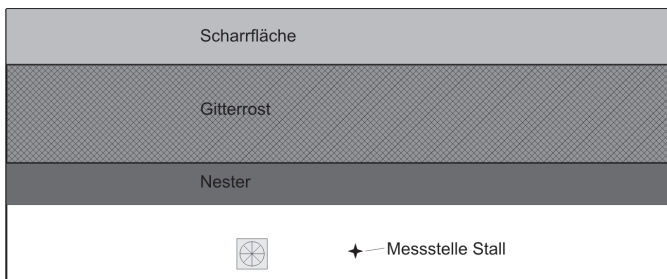
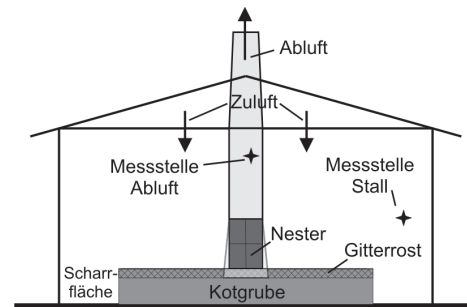


Abbildung 2:  
Volierenhaltung, Grundriss schematisch



Schnitt

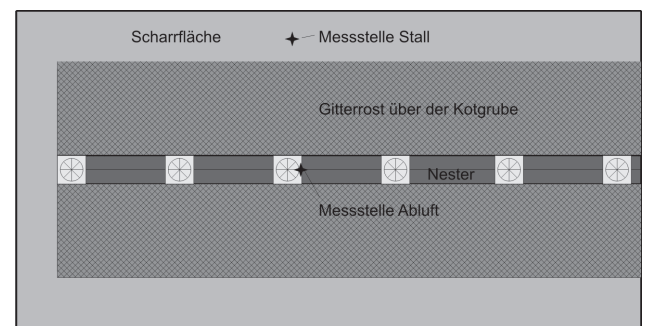


Abbildung 3:  
Bodenhaltung, Grundriss schematisch

- Kleingruppenhaltung  
 In der Kleingruppenhaltung wurden 1500 Hennen der Linien Lohmann Brown und Lohmann Silver Light ohne Einstreu in Gruppen von 40 und 60 Tieren untergebracht. Der Anteil Einstreu, der dem Sandbad und Scharren diene wird dabei nicht berücksichtigt, da er nur kurzfristig zur Verfügung steht. Der Anforderung auf eine uneingeschränkt nutzbare Fläche von mindestens 800 Quadratzentimetern pro Legehenne wurde entsprochen. Der Kot wurde einmal pro Woche über Kotbänder aus dem Stall befördert. Zur Zwangsbelüftung dienten drei computergesteuerte Ventilatoren. Der Stallcomputer bediente auch das Lichtprogramm.

<b>Kleingruppenhaltung</b>	<b>Tierbesatz: 1500 LB/LSL</b>	<b>Einstreu: Ohne</b>	<b>Entmistungsstrategie: Kotband wöchentlich</b>
----------------------------	--------------------------------	-----------------------	--

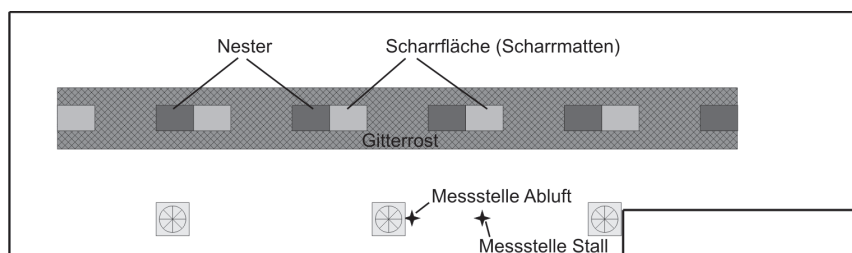
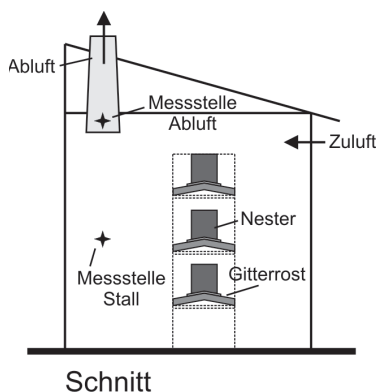


Abbildung 4: Kleingruppenhaltung, Grundriss schematisch

**Messtechnik**

Die Messungen wurden in jedem Stall einmal pro Monat durchgeführt, so dass sich in der Darstellung ein Zeitversatz von einer bis vier Wochen ergab. Gemessen wurde jeweils ein bis zwei Stunden lang in einem Zeitfenster von 12:00 Uhr bis 14:00 Uhr. Der zur Ermittlung der Messwerte verwendete Zeitraum betrug in der Regel eine Stunde. Jeweils einmal pro Quartal war ein 24 h-Monitoring vorgesehen,

um die Einzelergebnisse im Tagesverlauf einordnen und beurteilen zu können sowie saisonale Effekte zu erkennen. Die Emissionen werden als Massenströme in kg/h und als bezogene Massenströme in kg/(h\*Tier) angegeben (EMEP/EEA, 2009; Arends et al., 2006). Nach den Vorgaben im EMEP/EEA Guidebook ist hier die aktuelle Tierzahl einzutragen. Dieses ist jedoch häufig nicht möglich, so dass dann auf den „Tierplatz“ zurückgegriffen wird, mit dem der Anfangsbesatz eines Stalles beschrieben wird.

Zur Beurteilung der Luftgüte im Stall wurde die Konzentration von PM4 an einer zentralen Messstelle in der Mitte des jeweiligen Stalles gemessen. Über die Aussagekraft derartiger Messungen wurde an anderer Stelle berichtet (Hinz et al., 2003). Die Messungen zur Bestimmung der Arbeitsplatzbelastung erfolgten in 1,5 m Höhe über dem Stallboden bei einer der menschlichen mittleren Einatemgeschwindigkeit entsprechenden konstanten Ansauggeschwindigkeit von 1,25 m/s.

Die Emissionen wurden in den Abluftschächten in Anlehnung an die Richtlinien VDI 2066 (2006) gemessen. Hinsichtlich der möglichen Ortsabhängigkeiten der Emissionen aus einer Vielzahl von Abluftkanälen wurden die Erkenntnisse der Messungen der Ammoniakemissionen auf die Partikel übertragen (Teil 1, Hinz et al., 2010).

Insbesondere bei der Bestimmung von Staubemissionen ist darauf hinzuweisen, dass hierfür nur sehr bedingt Messungen im Stall herangezogen werden können (Schmitt et al., 2004; Hinz et al., 2007). Die Strömungsdynamik des Absaugvorganges und die Sedimentationsfähigkeit der Partikeln führen zu Unterschieden in der Partikelgrößenverteilung in den betrachteten Dispersionen: In der

Abluft sind weit weniger größere Partikeln zu finden als in der Stallluft. Wird die Staubkonzentration im Stall mit dem Abluftvolumenstrom verknüpft, so wird der Emissionsmassenstrom überbewertet. Dieses Ergebnis kann in einem Genehmigungsverfahren von großer Bedeutung sein.

In den meisten Fällen kann eine Staubemissionsmessung nicht am Hauptstrom erfolgen, sondern es ist ein Teilstrom mit einer Strömungssonde zu entnehmen. Diese Probenahme hat isokinetisch (geschwindigkeitsgleich) zu erfolgen.

Die Ermittlung von Emissionen aus geführten Quellen errechnet sich aus der Konzentration *c* und dem Volumenstrom *Q* basierend auf der Formel:

$$\dot{m} = c \cdot Q$$

Aus der Tatsache, dass der Mittelwert eines Produktes nicht gleich dem Produkt der Mittelwerte ist, resultiert die Forderung, beide Größen *c* und *Q* simultan zu messen,

wenn auch die Abweichungen im Einzelfall gering sind (Costa und Guarino, 2009).

Für die Messung der Staubkonzentrationen standen, je nach Messaufgabe, verschiedene Geräte und Verfahren zur Verfügung:

- Partikelzähler Grimm 1.105 und 1.108 für PM10, PM4 und PM2,5
- TEOM 1400A für Gesamtstaub und PM10
- High Volume Sampler EM100 mit einem Vorabscheider zur Trennung von Fein- und Grobstaub entsprechend der Johannesburger Konvention (Hinz und Tamoschat, 2007).

Tabelle 1: Eingesetzte Messgeräte und die zugrunde liegenden Messprinzipien

Messgerät / Messprinzip	Technik	Vorteil	Nachteil
EM100 / gravimetrisch	Filter	genau; hohe Aussagekraft	Mittelwert über Messzeitraum
TEOM 1400 / gravimetrisch	Mikrowaage	online-monitoring	größenselektive Messung nur mit Vorabscheider
Grimm 1.105 u. 1.108 / optisch	Streulicht	quasi online-monitoring; gleichzeitige Information über verschiedene Fraktionen	eingeschränkter Partikelgrößemessbereich; Notwendigkeit der Kalibrierung auf den Stallstaub

Staubkonzentrationen wurden im Projekt standardmäßig quasi-online mit einer Taktzeit von einer Minute durch die optisch nach dem Streulichtprinzip arbeitenden Messgeräte aufgezeichnet.

In einigen Fällen kam das TEOM zum Einsatz, insbesondere zur online-Kalibrierung der Streulichtgeräte.

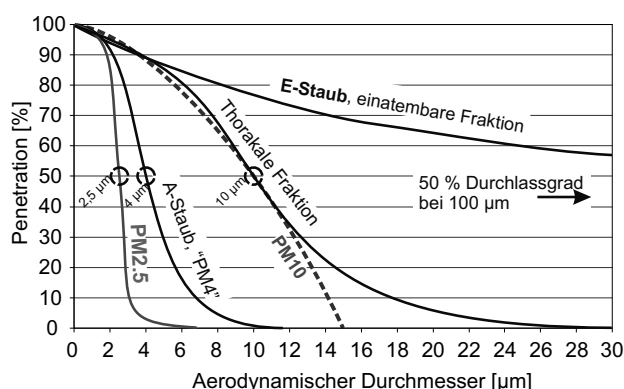


Abbildung 5: Definitionen von Staubfraktionen

Der Einsatz von Streulichtsensoren bietet eine Reihe von Vorteilen, insbesondere in der einfachen Handhabung, der Schnelligkeit der Messung und der Möglichkeit jede gewünschte Partikelfraktion zu berechnen, soweit deren Definition bekannt ist. Im vorliegenden Fall wurde die Definition nach US EPA und EN 481 bzw. ISO 7708 verwendet, Abbildung 5.

Ein wesentlicher Nachteil der Streulichtgeräte besteht darin, dass sie mit dem Staub, der gemessen werden soll, kalibriert werden müssen. Das Nutzsignal ist nicht nur von der Partikelgröße sondern auch von der Form, Struktur und dem Brechungsindex des Materials abhängig. Werkseitig werden die Geräte zumeist mit Latex kalibriert mit einer reellen Brechzahl von z. B. 1,59. Eine einfache Lösung zu überprüfen, ob diese Kalibrierung für den aktuellen Staub zutrifft, zeigt Abbildung 6. Der Staub wurde mit einem Siebschnitt bei 10µm dem Monitor zugeführt, der vom Gerät erkannt werden musste.

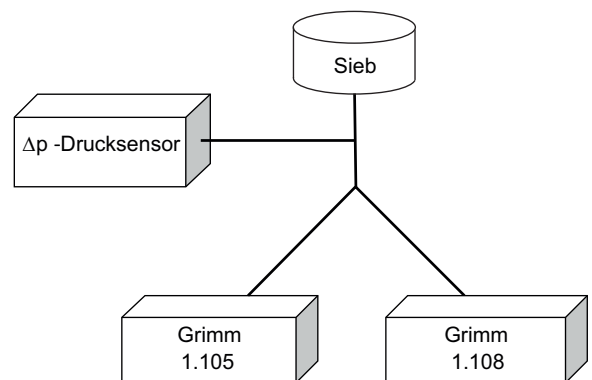


Abbildung 6: Kalibrierung mit einem 10 µm-Sieb.

Das Ergebnis einer Streulichtmessung ist eine Partikelgrößenverteilung in Anzahl, Oberfläche oder Volumen. Der Bezug zur Masse kann rechnerisch hergestellt werden, soweit die spezifische Dichte des Staubmaterials bekannt ist.

Andererseits ist dieser Bezug auch durch einen Vergleich mit einem gravimetrischen Messverfahren mit Vorabscheider, z. B. PM10, gegeben. Beide Methoden wurden angewendet.

Das EM100 diente als Gesamtstaubreferenz. Der im Zyklon abgeschiedene Grobstaub stand für weitere Untersuchungen zur Partikelgrößenverteilung im Grobbereich zur Verfügung, die mit den Staubmonitoren nicht analysiert werden können. Für diese Messungen kam die Laserbeugung mit dem Helos-Gerät von Sympatec zum Einsatz (Hinz und Tamoschat, 2007).

Zur Volumenstrombestimmung waren lediglich im Stall der Kleingruppenhaltung Messventilatoren im Abluftschacht installiert. Die Daten wurden auf einen Rechner ausgegeben und gespeichert.

In den anderen Ställen wurde der Volumenstrom aus der Querschnittsfläche und der in der Kanalmitte gemessenen Geschwindigkeit bestimmt, die mit einem zu Beginn der Kampagne ermitteltem Faktor versehen wurde, um die mittlere Austrittsgeschwindigkeit zu erhalten (Bohl, 1975). Als Messgerät diente ein Flügelradanemometer von Hontzsch mit einem eigenen Datenlogger zur Aufzeichnung der Messdaten.

**Ergebnisse**

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden zuerst messtechnische Probleme behandelt, bevor auf die Staubkonzentrationen im Stall und die Emissionen eingegangen wird. Es wird dabei zuerst jeder Stall im Einzelnen betrachtet und dann werden die unterschiedlichen Ställe miteinander verglichen.

**Messtechnik**

In Abbildung 7 ist das Ergebnis einer Kalibrierung eines optischen Sensors mit einem Siebschnitt bei 10 µm dargestellt. Der Staub stammt aus einer der untersuchten Legehennenhaltungen.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Feinanteil vollständig das Sieb passiert und dass keine Partikel > 12,5 µm im Durchgang zu finden sind.

Von weitreichender Bedeutung ist die Beantwortung der Frage, inwieweit die Spotmessungen zwischen 12:00 Uhr und 13:00 Uhr für den Tagesgang repräsentativ sind.

Im Teil 1 wurde diese Frage für die Ammoniakkonzentration als zufriedenstellend beantwortet. Beim Staub ist die Sachlage etwas anders, wie am Tagesgang in Abbildung 8 dargestellt.

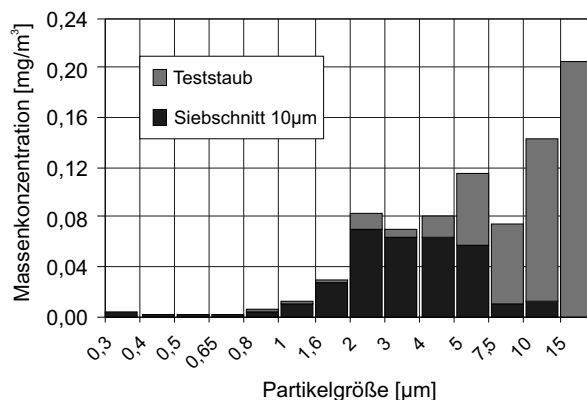


Abbildung 7: Partikelgrößenverteilungen des Aufgabe- und Siebgutes

Hier sind in einem exemplarischen Tagesgang der PM10-Konzentration die unterschiedlichen Mittelwerte für Tag, Nacht und die Spotmessung am Beispiel der „Freilandhaltung“ eingetragen. Diese Darstellung gilt qualitativ auch für den Gesamtstaub und PM4.

Der Mittelwert „Tag“ weicht erheblich vom Mittelwert „Nacht“ ab. Der im Messzeitraum ermittelte Wert ist annähernd repräsentativ für den am Arbeitsplatz relevanten Zeitraum während des Tages. Im Vergleich des 24 h-Mittelwerts zum Messzeitraum ergibt sich ein Faktor von ca. 0,7.

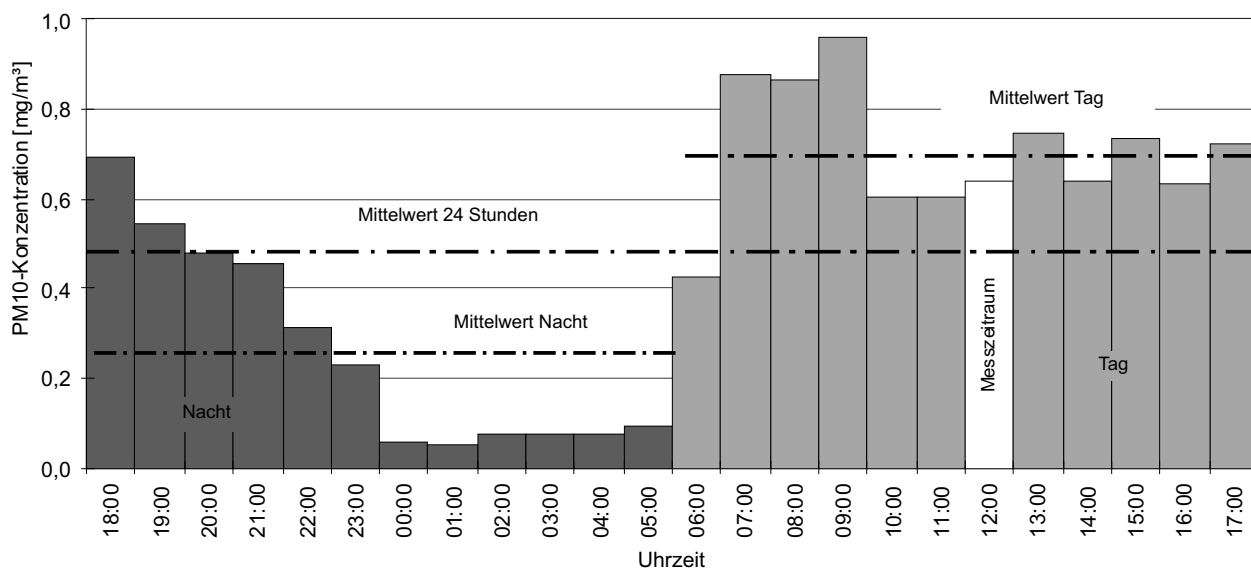


Abbildung 8: Tagesgang der PM10-Konzentration im Stall Freiland, Darstellung über 1 h-Mittelwerte, Spotmessung und die Mittelwerte der Zeiträume Tag, Nacht und 24 h.

In Tabelle 2 sind für die einzelnen Haltungsformen die Verhältnisse der Mittelwerte für 12 h Tag, 12 h Nacht und über die gesamten 24 h zur 1 h-Spotmessung aufgelistet.

Tabelle 2:

PM10 im Stall - Verhältnisse der unterschiedlichen Mittelwerte zum 1 h-Messzeitraum

Stallsystem	Tag / 1 h-Spot	Nacht / 1 h-Spot	24 Stunden / 1 h-Spot
Bodenhaltung mit Freilandzugang	0,97	0,42	0,7
Volierenhaltung	0,91	0,26	0,6
Bodenhaltung	1,17	0,25	0,7
Kleingruppenhaltung	1,26	0,39	0,8

Um die Variation der Messergebnisse besser erkennen zu können, wurden die beiden Durchgänge einzeln und zusammengefasst in Form von Boxplots dargestellt. Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Ergebnisse für die zwei Durchgänge und zusammengefasst. Es besteht eine gute Übereinstimmung, so dass die folgenden Ergebnisse im Boxplot aus beiden Durchgängen errechnet werden.

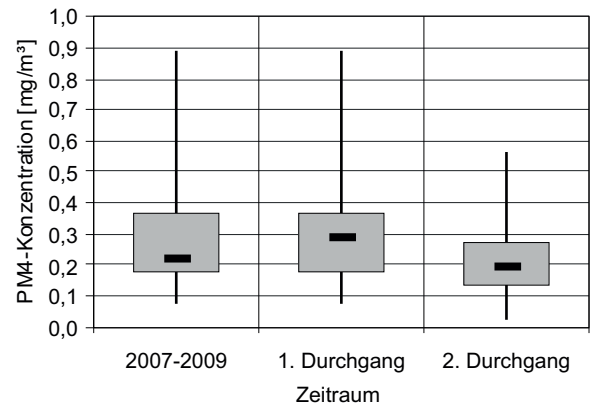


Abbildung 9: Konzentration PM4 in der Freilandhaltung (Box and Whiskers Plot, Median), Arbeitsplatz

### Staubkonzentration PM10 und PM4 im Stall

Die Staubkonzentrationen im Stall beschreiben als ein Indikator die Luftgüte im Hinblick auf Mensch und Tier. Die folgenden Abbildungen geben den Verlauf der PM10-Konzentrationen wieder. PM10 entspricht dabei der thora-

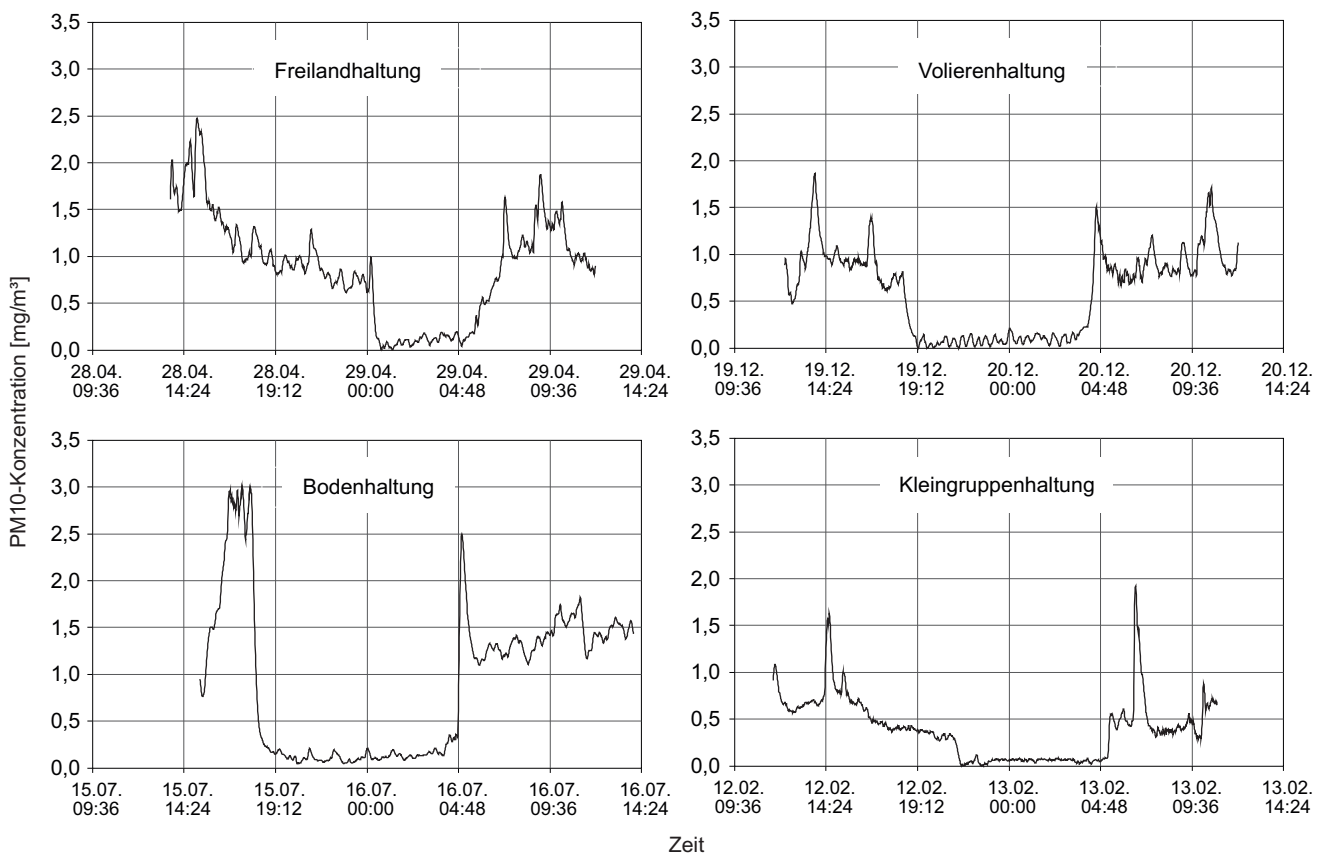


Abbildung 10: Tagesgang der PM10-Konzentration in allen untersuchten Ställen

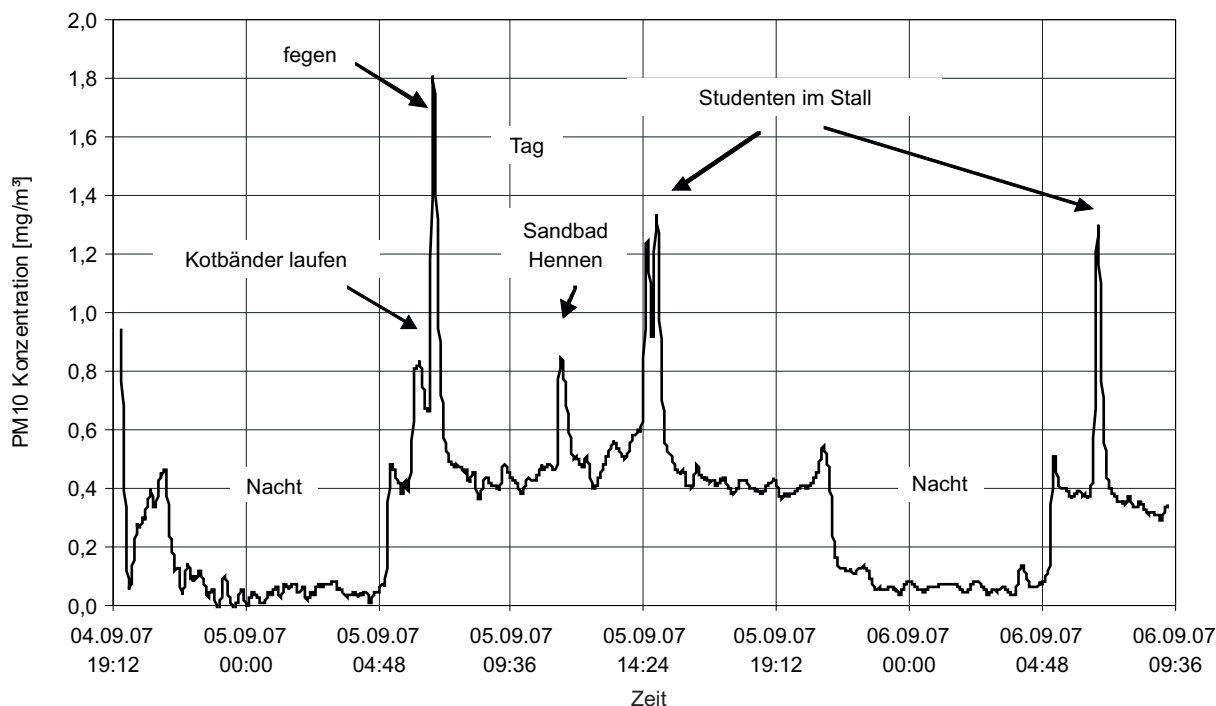


Abbildung 11:  
Aktivitäten im Stall als Einflussgröße für die Staubentstehung

kalen Fraktion nach EN 481. PM4 unterscheidet sich davon quantitativ nur um einen Faktor, auf den später noch eingegangen wird. Abbildung 10 stellt die Tagesgänge von PM10 in den untersuchten Haltungssystemen für einen exemplarisch ausgesuchten Tag dar.

Deutlich zu sehen ist ein charakteristischer Verlauf mit hohen Werten am Tag und sehr niedrigen in der Nacht. Diese Bezeichnungen stehen synonym für „hell“ und „dunkel“ und geben damit Zeiten unterschiedlicher Aktivität im Stall wieder. Diese Aktivitäten können vom Tier und dem arbeitenden Menschen sowie den maschinellen Einrichtungen wie z. B. dem Kotband stammen. Abbildung 11 zeigt ein entsprechendes Beispiel im Tagesgang.

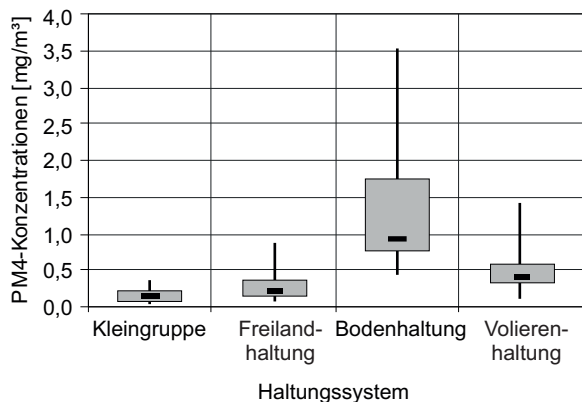


Abbildung 12:  
PM4 für die unterschiedlichen Haltungssysteme in der Boxplot-Darstellung

Die Daten für PM4 weisen bei zum Teil erheblichen Schwankungsbreiten Medianwerte zwischen 0,1 mg/m<sup>3</sup> und 1,7 mg/m<sup>3</sup> auf. Diese sind außerordentlich niedrige Werte.

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse in Boxplots befindet sich in Abbildung 12. Für die **Freilandhaltung** liegt der Medianwert in der Größenordnung von 0,2 mg/m<sup>3</sup>. Oberes und unteres Quartil (75 % und 25 %) entsprechen in der Zusammenfassung 0,4 bzw. 0,2 mg/m<sup>3</sup>. Das Maximum erreicht 0,9 mg/m<sup>3</sup> und das Minimum ist 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

Die in Abbildung 9 exemplarisch gezeigte gute Übereinstimmung der Messergebnisse in den einzelnen Durchgängen ergab sich auch für die anderen Haltungssysteme.

Der Medianwert für die **Kleingruppenhaltung** liegt in der Größenordnung von 0,15 mg/m<sup>3</sup>, wobei die mediane Konzentration an PM4 im zweiten Durchgang deutlich geringer war als im ersten Durchgang. In der Zusammenfassung beider Durchgänge betragen oberes und unteres Quartil 0,2 bzw. 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Das Maximum erreicht 0,35 mg/m<sup>3</sup> und das Minimum ist 0,02 mg/m<sup>3</sup>.

Für die **Bodenhaltung** liegt der Medianwert im Größenbereich zwischen 0,6 und 1,7 mg/m<sup>3</sup>, wobei die PM4-Konzentration im zweiten Durchgang geringer war als im ersten Durchgang. In der Zusammenfassung beider Durchgänge entsprechen oberes und unteres Quartil 1,7 bzw. 0,8 mg/m<sup>3</sup>. Das Maximum erreicht 3,5 mg/m<sup>3</sup> und das Minimum ist 0,5 mg/m<sup>3</sup>.

Der Medianwert für die **Volierenhaltung** liegt in der Größenordnung von 0,45 mg/m<sup>3</sup>. In der Zusammenfassung



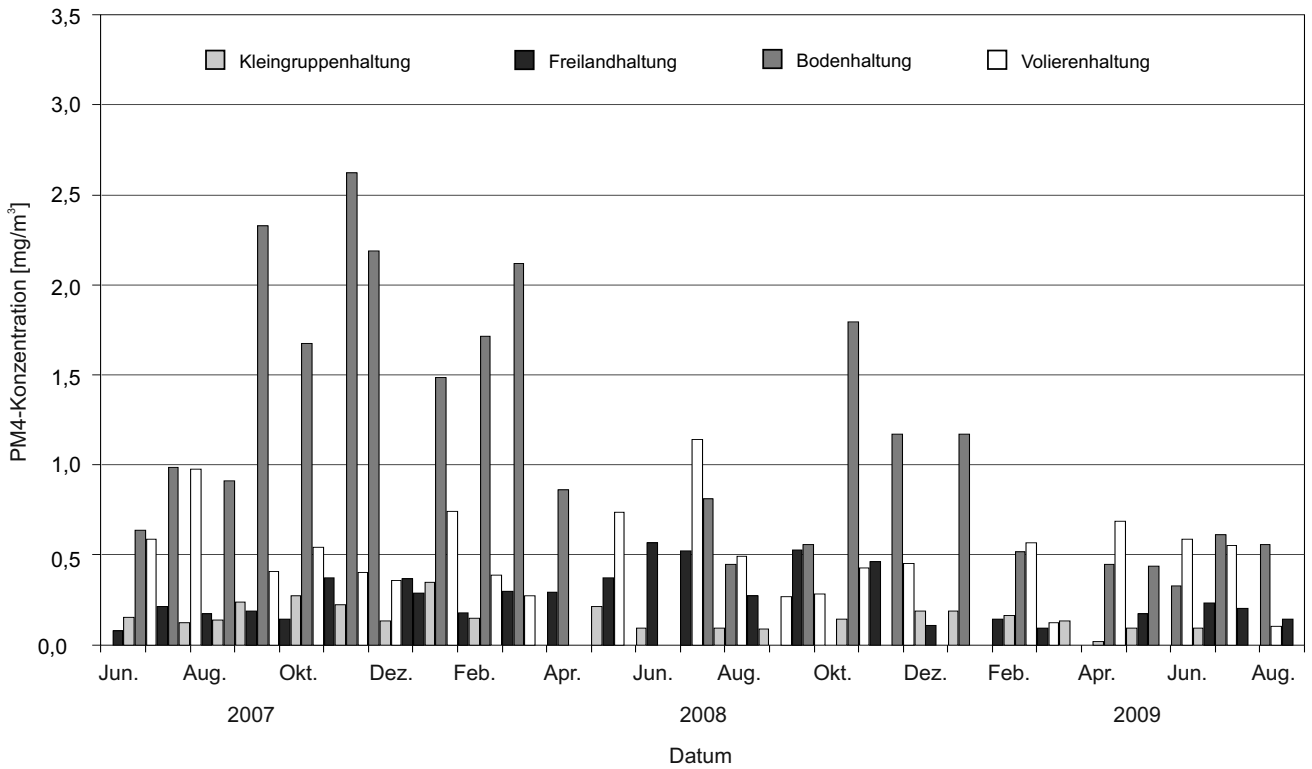


Abbildung 13: Mittlere PM4-Konzentrationen in den untersuchten Haltungssystemen

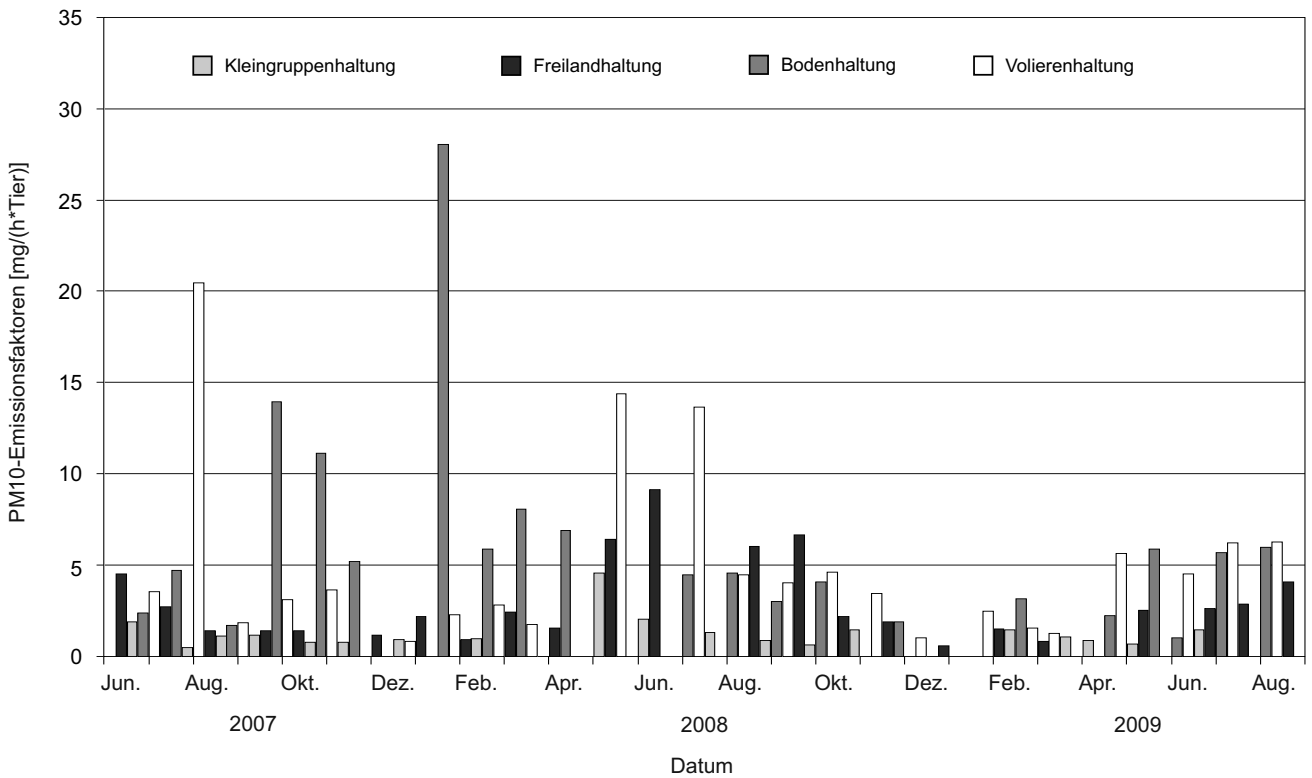


Abbildung 14: PM10-Emissionsfaktoren im Überblick

sung der beiden Durchgänge betragen oberes und unteres Quartil 0,6 bzw. 0,3 mg/m<sup>3</sup>. Das Maximum erreicht 1,4 mg/m<sup>3</sup> und das Minimum ist 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

Abbildung 13 zeigt alle im Untersuchungszeitraum erfassten Messergebnisse (1 h-Mittelwerte) bezüglich der PM<sub>4</sub>-Konzentrationen in den einzelnen Ställen. Der Wertebereich reicht von 0,02 mg/m<sup>3</sup> bis 2,6 mg/m<sup>3</sup>.

### Emissionen – Emissionsfaktoren

Um die Unterschiede im Besatz und der Besatzdichte zu berücksichtigen, werden die Emissionsfaktoren als spezifische Emissionen in mg pro Stunde und Tier angegeben.

In der Zusammenstellung aller Messergebnisse für die Emissionen von PM<sub>10</sub> in Abbildung 14 wird die große Spannweite der Werte deutlich.

Auch hier erfolgt die weitere Beschreibung in Form von Boxplots.

Die in den Boxplots für die PM<sub>10</sub>-Massenströme pro Tierplatz ermittelten Medianwerte liegen zwischen 1 mg/(h\*Tier) und ca. 6 mg/(h\*Tier).

Für die **Freilandhaltung** liegt der Medianwert in der Größenordnung von 2,2 mg/(h\*Tier). Oberes und unteres Quartil entsprechen in der Zusammenfassung beider Durchgänge 3,7 bzw. 1,4 mg/(h\*Tier). Das Maximum erreicht 12,7 mg/(h\*Tier) und das Minimum ist 0,6 mg/(h\*Tier).

Der Medianwert für die **Kleingruppenhaltung** liegt in der Größenordnung von 1,1 mg/(h\*Tier). Oberes und unteres Quartil entsprechen in der Zusammenfassung beider Durchgänge 1,5 bzw. 0,8 mg/(h\*Tier). Das Maximum erreicht 4,6 mg/(h\*Tier) und das Minimum ist 0,5 mg/(h\*Tier). Auffällig ist die geringe Schwankungsbreite im ersten Durchgang.

Für die **Bodenhaltung** liegt der Medianwert in der Größenordnung von 4,7 mg/(h\*Tier). Oberes und unteres Quartil liegen in der Zusammenfassung der beiden Durchgänge bei 5,9 bzw. 3,1 mg/(h\*Tier). Das Maximum erreicht 28,0 mg/(h\*Tier) und das Minimum ist 1,0 mg/(h\*Tier). Auffällig ist der deutliche Ausschlag der Schwankungen zu höheren Werten im ersten Durchgang. Der Medianwert für die **Volierenhaltung** liegt im Größenbereich zwischen 3,0 und 4,6 mg/(h\*Tier). Oberes und unteres Quartil entsprechen in der Zusammenfassung beider Durchgänge 5,6 bzw. 2,3 mg/(h\*Tier). Das Maximum erreicht 20,4 mg/(h\*Tier) und das Minimum ist 0,8 mg/(h\*Tier).

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt Abbildung 15.

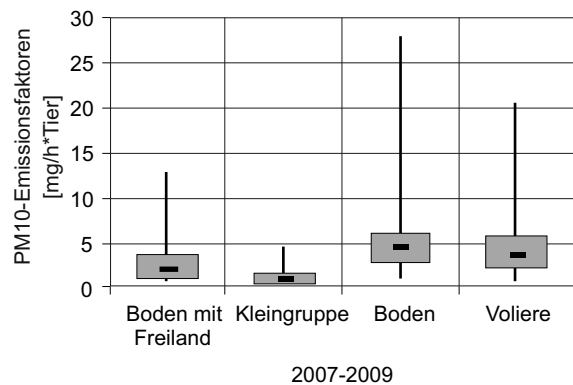


Abbildung 15:  
PM<sub>10</sub>-Emissionsfaktoren in der Boxplot-Darstellung

### Partikelgrößenverteilungen – Staubfraktionen

Abhängig von der Fragestellung – Stallhygiene oder Umwelt – werden die in Abbildung 5 gezeigten Definitionen für Partikel (Staub)-fraktionen benutzt. Dies bedeutet den Einsatz von Staubabscheidern mit entsprechender Durchlassfunktion oder deren rechnerische Anwendung auf den Gesamtstaub und dessen Partikelgrößenverteilung. In früheren Untersuchungen wurden die Fraktionen als Anteil des Gesamtstaubes in % angegeben. Um hier zu wirklichen Vergleichen zu kommen, ist es aber nötig, die Partikelgrößenverteilung des Gesamtstaubes zu kennen. In Abbildung 16 sind exemplarisch Summenverteilungen aus den untersuchten Ställen dargestellt.

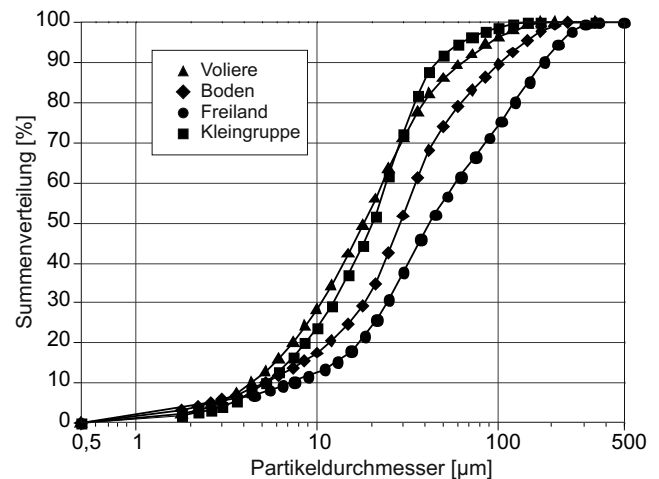


Abbildung 16:  
Partikelgrößenverteilungen von Gesamtstäuben in der Legehennenhaltung

Die Stäube in der Voliere und der Kleingruppenhaltung waren feiner als die aus den beiden Bodenhaltungen. Insgesamt ist zu bemerken, dass Partikel bis zu einem geometrischer Durchmesser von fast 450 µm aufgetreten sind.

**Diskussion**

*Luftgüte – Staubkonzentrationen im Stall*

Im Vergleich der Ergebnisse zur PM4-Konzentration aus beiden Durchgängen (Boxplots) werden auf Ebene der Medianwerte gut reproduzierbare Messwerte ermittelt. Die Schwankungsbreiten sind jedoch erheblich.

Die Darstellung in Boxplots über die gesamte Messzeit überdeckt allerdings mögliche saisonale Abhängigkeiten.

Bei der Staubfraktion PM4 liegen alle Werte unter dem in der TRGS 900 genannten Grenzwert für die alveolengängige Fraktion von 3 mg/m<sup>3</sup>. Hinsichtlich einer Arbeitsplatzexposition ist jedoch auch die Expositionsdauer zu berücksichtigen, die im Normalfall in der Hennenhaltung niedrig ist.

Die Staubentwicklung ist auf die Aktivität der Tiere zurückzuführen. Diese ist vom Beleuchtungsprogramm abhängig und kann somit darüber gesteuert werden.

Um den Anschluss an frühere Arbeiten zu finden, sei darauf hingewiesen, dass hier für die Definition des Feinstaubes die sogenannte Johannesburger Trennfunktion  $T(d) = 1 - (d/7,07)^2$  zugrunde gelegt ist. Diese Fraktion kann nach dem 50 %-Wert bei 5 µm als PM5 bezeichnet werden. In Tabelle 3 ist für einzelne Messungen das Verhältnis PM5 zu PM4 aufgeführt. Es ist festzustellen, dass die Unterschiede im Mittel 25 % betragen.

Tabelle 3:

Arbeitsplatzrelevante Staubfraktionen berechnet mit unterschiedlichen Definitionen: Verhältnis PM5/PM4

Stallsystem	Maximum	Minimum	Mittelwert	Standardabweichung
Bodenhaltung mit Freilandzugang	1,29	1,22	1,26	0,01
Volierenhaltung	1,26	1,16	1,29	0,02
Bodenhaltung	1,29	1,20	1,27	0,02
Kleingruppenhaltung	1,27	1,22	1,26	0,01

Tabelle 4:

Zusammenfassung der PM10-Messungen in der Boxplot Darstellung

Stallsystem	Median PM10	Minimum PM10	Maximum PM10	Oberes Quartil (75 %)	Unteres Quartil (25 %)	(O-U) / Median	(Max-Min) / Med
Bodenhaltung mit Freilandzugang	2,20	0,59	9,16	3,7	1,4	1,0	3,9
Volierenhaltung	3,56	0,82	20,44	5,6	2,3	0,93	5,5
Bodenhaltung	4,70	1,03	28,03	5,9	3,1	0,6	5,7
Kleingruppenhaltung	1,05	0,51	4,56	1,5	0,8	0,67	3,9

Alle Werte – mit Ausnahme der beiden letzten Spalten – in mg/(h\*Tier)

**Emissionen – Emissionsfaktoren**

Die TA-Luft enthält keine Grenzwerte zur Beurteilung der PM10-Emissionen. Um aber auch hier zu einer Aussage zu kommen, werden Werte aus dem Guidebook der European Environment Agency (EEA) herangezogen. Abhängig vom Halteverfahren betragen die hier genannten Werte zwischen 1,94 mg/(h\*Tier) bei der Käfighaltung und bis zu 9,59 mg/(h\*Tier) bei der Volierenhaltung. RAINS geht von einem Wert von 5,37 mg/(h\*Tier) aus. Alle vier untersuchten Ställe unterschreiten im Median den in RAINS genannten Wert. Die untersuchte Kleingruppenhaltung unterschreitet sogar den Wert, der für Käfighaltung im EEA Guidebook genannt wird.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse sich auf den Messzeitraum von einer Stunde beziehen und ein direkter Vergleich mit den zitierten Emissionsfaktoren nicht oder nur bedingt zulässig ist, da diese auf ein Jahr bezogen sind. Dieses gilt insbesondere für die Emissionen von Staub. Soll der spezifische Emissionsmassenstrom für 24 h-Tagesgänge berechnet werden, so sind die in Tabelle 4 für PM10 aufgeführten Werte mit dem Faktor 0,7 zu multiplizieren.

Abschließend zeigt Tabelle 4 die Zusammenfassung der Ergebnisse für PM10-Emissionen.

Es wird deutlich, dass die Schwankungsbreite bei Bezug auf die Quartile der Boxplot Darstellung deutlich geringer wird als bei der Betrachtung der Maximalwerte, die auch Messungen mit Ausreißern beinhalten. Dennoch liegen die Werte zwischen 60 % und 100 %.

**Fazit**

- Die Staubkonzentrationen im Stall werden vom Halteungssystem, der Lüftung und besonders der Tieraktivität beeinflusst
- Ein Tag und Nachtrhythmus ist klar zu erkennen
- Der Grenzwert von 3 mg/m<sup>3</sup> für PM4 wird eher nicht überschritten
- Hinsichtlich der Luftgüte im Stall und des Emissionsverhaltens ist die Kleingruppenhaltung deutlich besser zu bewerten als die anderen untersuchten Stallsysteme

- Diese Ergebnisse gelten nur für die Ställe und Zeiträume, in denen sie gemessen wurden. Für prognostische Aussagen sind zusätzliche Modelle erforderlich

Die Untersuchungen fanden im Zusammenhang mit einem Projekt der Privaten Universität Witten-Herdecke und dem Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie (ITTN) der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover statt. Dieses Projekt wurde durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gefördert.

## Literatur

- Arends F, Eckhof W, Grimm E, Heidenreich T, Hinz T, Kamp M, Krause K-H, Kypke J, Martin I, Nesper S, Seedorf J (2006) Handhabung der TA Luft bei Tierhaltungsanlagen : ein Wegweiser für die Praxis. Darmstadt : KTBL, 244 p, KTBL-Schrift 447
- Bohl W (1975) Technische Strömungslehre kurz und bündig : Stoffeigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen, Hydrostatik, Aerostatik, Hydrodynamik, Gasdynamik, Strömungsmeßtechnik. Würzburg : Vogel, 240 p
- Costa A, Guarino M (2009) Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. *Atmos Environ* 43(8):1548-1556
- EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook – 2009 (2009) Part B, 4 B Animal husbandry and manure management [online]. Zu finden in <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/4-b/4-b-animal-husbandry-and-manure-management.pdf>> [zitiert am 04.04.2011]
- Europäische Gemeinschaften (1999) Richtlinie 1999/74/EG des Rates, vom 19. Juli 1999 zur Festlegung von Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen [online]. Zu finden in <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:203:0053:0057:DE:PDF>> [zitiert am 04.04.2011]
- Hinz T (2010) Staubemissionsmessungen an Ställen der Geflügelhaltung. In: Tagungsband, 24. Palas Aerosol Technologie Seminar, Karlsruhe
- Hinz T, Winter T, Linke S (2010) Luftfremde Stoffe in und aus verschiedenen Haltungssystemen für Legehennen – Teil 1: Ammoniak. *Landbauforsch* 60(3):139-150
- Hinz T, Linke S, Zander F (2009) Farmers exposure against airborne contaminants in different systems for layers. In: Giametta G, Zimbalatti G (eds) 33rd CIOSTA CIGR V Conference 2009 : Vol. 2. Reggio Calabria : Artemis, pp 1595-1599
- Hinz T, Winter T, Linke S (2009) Dust emissions from keeping laying hens : a comparison of different systems. In: Briese A, Clauß M, Hartung J, Springorum A (eds) Proceedings of the 14th ISAH Congress 2009 : International Society for Animal Hygiene ; 19th to 23rd July, Vechta, Germany ; Vol. 2. Brno : Tribun EU, pp 851-854
- Hinz T, Winter T, Linke S, Zander F (2009) PM and ammonia emissions from alternative systems for laying hens. In: Giametta G, Zimbalatti G (eds) 33rd CIOSTA CIGR V Conference 2009 : Vol. 2. Reggio Calabria : Artemis, pp 1889-1893
- Hinz T, Linke S, Karlowski J, Myczko R, Kuczynski T, Berk J (2007) PM emissions in and from force-ventilated turkey and dairy cattle houses as a factor of health and environment. In: Monteny G-J, Hartung E (eds) Ammonia emissions in agriculture. Wageningen : Wageningen Acad Publ, pp 305-306
- Hinz T, Tamoschat-Depolt K (eds) (2007) Particulate matter in and from agriculture : proceedings of the conference organized by the Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Braunschweig : FAL, 178 p, Landbauforsch Völknerode SH 308
- Hinz T, Linke S, Berk J, Wartemann S (2003) Die Luftgüte in einem Putenmaststall mit natürlicher Lüftung und Außenklimabereich. In: 6. Internationale Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“ : Vechta, 2003.03.25-27. Münster : KTBL-Schr-Vertr Landwirtschaftsverl, pp 82-87
- Schmitt G, Wallenfang O, Büscher W, Diekmann B (2004): Partikelkonzentrationen in der Stallluft. *Landtechnik* 59(6):334-335
- Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), die durch die Verordnung vom 1. Oktober 2009 (BGBl. I S. 3223) geändert worden ist [online]. Zu finden in <<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tierschnutztv/gesamt.pdf>> [zitiert am 04.04.2011]
- VDI 2066 (2006) Messen von Partikeln : Staubmessungen in strömenden Gasen ; gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung : Blatt 1. Berlin : Beuth
- Winter T, Linke S, Hinz T (2009) Farmers exposure to ammonia in new systems of laying hens. In: Briese A, Clauß M, Hartung J, Springorum A (eds) Proceedings of the 14th ISAH Congress 2009 : International Society for Animal Hygiene ; 19th to 23rd July, Vechta, Germany ; Vol. 2. Brno: Tribun EU, pp 607-610
- Winter T, Linke S, Hinz T (2009) Workload in alternative keeping systems for laying hens. *Bornimer Agrartechn Ber* 66:76-84