Partikelkonzentrationen in der Stallabluft im Vergleich mit der Innenraumkonzentration

Gregor Schmitt¹⁾²⁾, Oliver Wallenfang¹⁾, Wolfgang Büscher¹⁾ und Bernd Diekmann²⁾

1) Institut für Landtechnik, Universität Bonn

Zur Berechnung der Staubemissionen von Tierställen wird die Staub-konzentration in der Abluft meist mit der Innenraumkonzentration gleichgesetzt. In typischen Tierställen für Legehennen wurde die Partikelkonzentration zeitgleich im Innenraum und in der Abluft gemessen und verglichen. Untersucht wurden ein Volierenstall und ein Käfigstall; beide Ställe sind zwangsentlüftet. Die Messungen geben Aufschluss darüber, wie groß der Unterschied zwischen der Staubkonzentration in der Abluft und der im Innenraum ist. Die Abweichungen sind durch einfache strömungstechnische Überlegungen zu erklären.

Schlüsselwörter

Staub, Partikelkonzentration, Stallabluft

Einleitung

In der "Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft" [1] werden in der aktuellen Fassung aus dem Jahr 2002 erstmals Grenzwerte für Staubemissionen gesetzt, die auch bei Tierställen einzuhalten sind. Zur Angabe und Prognose der aus Ställen tretenden Staubfrachten fehlen belastbare Emissionsfaktoren. Die Ermittlung der tatsächlich aus einem Tierstall emittierten Staubpartikel in der Abluft ist mit hohem messtechnischen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund liegen nur punktuelle Kenntnisse über die Emissionsfaktoren von Tierställen vor

In den letzten Jahren wurden vermehrt arbeitsmedizinische Untersuchungen der Staubbelastung an Arbeitsplätzen im Stallbereich durchgeführt [2, 3]. Daher sind für Haltungsanlagen der meisten Nutztierarten typische Staubkonzentrationen im Stallinnenraum bekannt. Aufgrund der komplizierten messtechnischen Umsetzung der Staubkonzentrationsbestimmung in der Stallabluft wird in der Praxis die Abluftkonzentration mit der Innenraumkonzentration gleichgesetzt. Zur Ermittlung des Emissionsstroms wird die Innenraumkonzentration mit dem durchschnittlichen Luftvolumenstrom im Stall multipliziert [4]. Es ist jedoch fraglich, ob die Innenraumkonzentration der Staubpartikel auf die Abluft übertragen werden kann.

Theoretische Grundüberlegungen zur Partikelausbreitung zeigen, dass diese Übertragung nicht möglich ist. Das im Stallinnenraum durch kontinuierliche Staubproduktion erzeugte dynamische Konzentrationsgleichgewicht der Staubpartikel unterscheidet sich von der Abluftkonzentration der Partikel. Größere Partikel einer definierten Dichte sinken in ruhiger Luft schneller als kleinere Partikel [5]. Die Sinkgeschwindigkeit der Partikel ist vom Partikeldurchmesser abhängig. Dies konnte in praktischen Sedimentationsversuchen am Institut für Landtechnik der Universität Bonn bestätigt werden. Des Weiteren sind höhere Strömungsgeschwindigkeiten notwendig, um große und damit in der Regel schwerere Partikel in den Abluftstrom aufzunehmen, als dies für kleine, leichte Partikel der Fall ist.

Diese beiden Überlegungen führen zu der Annahme, dass sich die Partikelkonzentration in der Abluft bei zwangsentlüfteten Ställen von der Konzentration im Stallinneren unterscheidet. In der Abluft sollten im Verhältnis weniger große Partikel vorhanden sein als im Stall, da große Partikel weniger wahrscheinlich vom Abluftstrom erfasst werden und schneller absinken als kleine Partikel. Eine Simulation mit dem am Institut für

Landtechnik der Universität Bonn entwickelten Partikelmodell NaSt3D bestätigt diese Überlegungen [6].

In den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wird die Partikelkonzentration im Stallinnenraum mit der Partikelkonzentration in der Stallabluft in praktischen Versuchen verglichen. Der Untersuchungszeitraum beträgt einen Tag. Die Ergebnisse zeigen daher eine Momentaufnahme, anhand derer die Unterschiede zwischen Partikelkonzentration in der Abluft zu der im Stallinnenraum abgeschätzt werden können.

Untersuchungsgegenstand

Der Vergleich der Partikelkonzentrationen von Stallinnenraum und Stallabluft erfolgte in zwei typischen zwangsentlüfteten Legehennenställen, in einem Käfigstall für bis zu 46.000 Tiere und in einem Volierenstall, ausgelegt für 13.000 Tiere.

Die Grundfläche des Käfigstalls beträgt ca. 30 m x 67 m = 2.010 m². Die Firsthöhe liegt bei 6 m, die Traufhöhe bei 3 m. Die 4-etagigen Käfige sind in zehn Reihen mit einer Höhe von 3 m und einer Breite von 1,6 m entlang des Stalls aufgestellt. Im Käfigstall befinden sich 26 Abluftschächte mit baugleichen Ventilatoren in zwei Reihen entlang des Stalls. Die Ventilatoren werden über Relais in Gruppen zu- oder abgeschaltet. Die Schächte ragen ca. 1,5 m von der Stalldecke in den Innenraum. Die Zuluft-klappen befinden sich an der Stirnseite des Stalls in einer Höhe von etwa 3 m. Sie werden über den Klimacomputer proportional zur Einstellung der Lüftungsintensität geregelt.

Der Volierenstall ist ca. 7,5 m x 94 m = 705 m^2 groß. Die Firsthöhe liegt bei 5 m, die Traufhöhe bei 3 m. Im Stallinneren befinden sich je zwei Reihen Volieren

²⁾ Physikalisches Institut, Universität Bonn

G. Schmitt et al.

und Legenester. Die Volieren haben eine Höhe von 2 m und eine Breite von 1,7 m; die Legenester sind ca. 1,7 m hoch und 0,8 m breit. Als Einstreu im Scharrraum wird gehäckseltes Stroh verwendet. Der Stall wird über neun Abluftventilatoren in Schächten entlüftet, welche sich in einer Reihe entlang des Stalls befinden. Sie ragen ca. 1 m von der Stalldecke in den Innenraum. Bei dieser Gruppenschaltung werden die beiden äußeren Ventilatoren stufenlos geregelt, die anderen Ventilatoren sind baugleich und werden über Relais zugeschaltet. Die Zuluftklappen an der Längsseite des Stalls in einer Höhe von 2,2 m werden wie beim Käfigstall proportional zur Einstellung der Lüftungsintensität am Klimacomputer geregelt.

Messmethode

Die Partikelkonzentrationen in der Raum- und Abluft wurden bei verschiedenen Einstellungen der Lüftungsintensität am Stallklimacomputer bestimmt, um sowohl Sommer- als auch Winterbedingungen zu simulieren. Alle Messungen wurden innerhalb eines Tages durchgeführt

Als Messgeräte dienten zwei Aerosol-Spektrometer Modell 1.108 der Firma Grimm Aerosol-Technik GmbH, Ainring. Der Einsatz von zwei baugleichen Geräten ermöglicht eine zeitgleiche Messung der Konzentrationen im Innenraum und in der Abluft. Die Messgeräte ermitteln die Staubkonzentration über ein optisches Streulichtverfahren, welches mit einer gravimetrischen Bestimmung der Gesamtstaubkonzentration gekoppelt ist. Im Aerosol-Spektrometer kommen demnach zwei Messprinzipien zum Einsatz. Die Staubmessgeräte erfassen die Partikelkonzentration in Abhängigkeit der Partikelgröße. Die Einteilung in insgesamt 16 Kanäle (Größenbereiche) erfolgt mit Schwellwerten von 50 %. Das bedeutet, dass z.B. in der Fraktion "1,6 - 2,0 µm" die gemessenen Partikel mit einem Durchmesser größer gleich 1,6 µm und kleiner gleich 2,0 µm zusammengefasst sind.

Die gemessene Partikelanzahlkonzentration gibt die Anzahl der Partikel einer Größenfraktion in einem Volumen an. Die Begriffe "Partikelkonzentration" und "Partikelanzahlkonzentration" wer-

den synonym verwendet. Die Einteilung der Partikel in Größenfraktionen ist Voraussetzung für den Nachweis der Unterschiede in den Konzentrationen, die in der Einleitung vermutet wurden.

Die Messgeräte liefern laut Hersteller Ergebnisse mit einer Reproduzierbarkeit von \pm 3 % bei einer Partikelkonzentration von bis zu 2 x 10^9 Partikeln pro $\rm m^3$. Während der praktischen Untersuchungen wurde eine reproduzierbare Genauigkeit von wenigstens 10 % des mittleren Messwertes festgestellt.

Trotz der Verwendung baugleicher Messgeräte ist eine Abweichung der Geräte untereinander möglich. Um diesen Einfluss auf die Messergebnisse auszuschließen, wurden die Geräte im Stallinneren über zehn Stunden zeitgleich miteinander verglichen. Abweichungen wurden bei den hier vorgestellten Ergebnissen bereits eliminiert.

Die Staubkonzentration im Stallinnenraum wurde kontinuierlich in Intervallen von sechs Sekunden mit einem der Aerosol-Spektrometer gemessen. Die Beprobung im Innenraum erfolgte für jeden Stall an einer einzigen Position, die während der Messungen nicht verändert wurde (vgl. Bild 1 und Bild 2). Die Staubkonzentrationsbestimmung wurde nach den für den Arbeitsschutz standardisierten Messvorschriften [7, 8] in einer Höhe von ca. 1,2 m über dem Stallboden durchgeführt. Auf diese Weise ist ein Vergleich der gemessenen Staubkonzentration mit anderen Staubmessungen aus der Literatur möglich. Bild 3 zeigt die typische Partikelanzahlkonzentration im Innenraum der untersuchten Ställe.

Mit Hilfe des zweiten Aerosol-Spektrometers wurden die Staubproben isokinetisch im Abluftkamin in einer Höhe von ca. 1,5 m über dem Abluftventilator auf der Schwerlinie des Abluftschachts entnommen (vgl. [9, 10]). Bei der Mes-

sung nach dem Schwerlinienverfahren wird allgemein der zu beprobende Kreisquerschnitt in flächengleiche Kreisringe eingeteilt. Gemessen wird auf der Schwerlinie eines Kreisringes, d.h. der Linie, die wiederum den Kreisring in zwei flächengleiche Ringe einteilt. Eine Beprobung mehrerer Schwerlinien war für die verschiedenen Lüftungseinstellungen nicht möglich. Da die Proben nur nahe hinter dem Ventilator entnommen werden konnten, musste geklärt werden, ob eine einzelne Probenentnahmestelle repräsentativ für die gesamte Abluftfläche ist. Vorversuche haben gezeigt, dass der Mittelwert der Staubkonzentration auf verschiedenen Schwerlinien mit dem Messwert einer Schwerlinie übereinstimmt, solange eine korrekte isokinetische Probennahme erfolgt. Bild 4 zeigt die Partikelkonzentrationen, die bei einer Einteilung des Kaminquerschnitts in drei Kreisringe auf drei Schwerlinien gemessen wurden. Die durchschnittliche Abluftgeschwindigkeit betrug 10 m/s. Die Messergebnisse liegen innerhalb der bereits beschriebenen Fehlergrenzen der Messgeräte. Bei anderen Abluftgeschwindigkeiten wurden vergleichbare Übereinstimmungen gefunden. Demnach kann von der Beprobung des Abluftschachts an einer Stelle (Schwerlinie) auf die gesamte Querschnittsfläche geschlossen werden. Die Messdauer zur Ermittlung der Partikelkonzentration im Abluftschacht betrug ca. fünf Minuten pro Messung. Die Messwerte wurden in Intervallen von sechs Sekunden aufgezeichnet.

Die Staubmessungen erfolgten bei Einstellungen der Lüftungsintensität am Klimacomputer von 20 %, 40 %, 60 %, 80 % und 100 %. Die eingestellte Lüftungsintensität wurde mit Hilfe von Messventilatoren zur Bestimmung des Luftvolumenstroms kalibriert. Die Zeit zwischen Änderung der Lüftungsintensi-

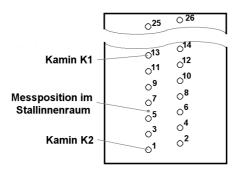


Bild 1: Skizze des Käfigstalls mit 26 Abluftschächten

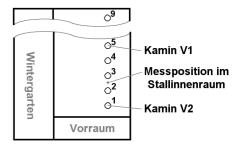


Bild 2: Skizze des Volierenstalls mit neun Abluftschächten

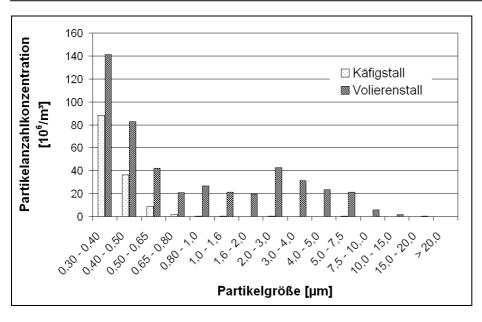


Bild 3: Typische Partikelanzahlkonzentration im Innenraum des Käfigstalls und des Volierenstalls (Mittelwerte über eine Messdauer von ca. 10 min)

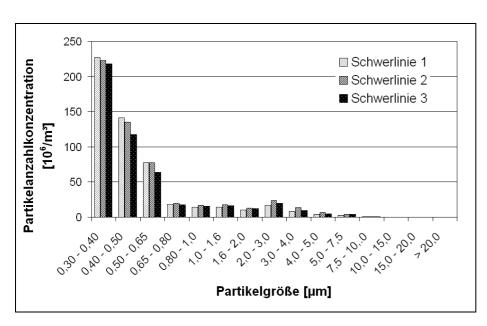


Bild 4: Ergebnisse der Partikelkonzentrationsbestimmung auf verschiedenen Schwerlinien des Kamins V2 bei einer Abluftgeschwindigkeit von 10 m/s (Messdauer ca. 5 Minuten)

tät und Messung der Partikelkonzentration in Abluftschacht betrug jeweils ca. zwei Minuten.

Am Käfigstall wurden zwei über Relais zuschaltbare Abluftkamine untersucht (vgl. Bild 1); einer in der Mitte des Stalls (Kamin K1), der zweite befand sich am Rand des Stalls (Kamin K2). Die durchschnittliche Abluftgeschwindigkeit betrug für K1 11 m/s und für K2 10 m/s. Am Volierenstall wurden ein ungeregelter Ventilator aus der Mitte des Stalls (Kamin V1) sowie einer der stufenlos geregelten Ventilatoren am Rand (Kamin V2) beprobt (vgl. Bild 2). Die durchschnittliche Abluftgeschwindigkeit des über Relais zugeschalteten Ventilators V1 betrug 11 m/s.

Im Käfigstall befanden sich zum Zeitpunkt der Datenerhebung etwa 39.600 Legehennen mit einer durchschnittlichen Masse von ca. 2 kg. Die mittlere Innenraumtemperatur betrug 26 °C, die mittlere relative Luftfeuchtigkeit 58%.

Der Volierenstall war mit 11.100 Legehennen belegt. Die mittlere Stallinnentemperatur betrug 26 °C, die mittlere Luftfeuchtigkeit 68%. Die Gänge zum Freilandauslauf des Volierenstalls waren während der Messungen geschlossen.

Während des Messtages lag die Außentemperatur im Mittel bei 24 °C, der Luftdruck bei etwa 1011 hPa.

Verfahren zur Datenauswertung

Zum Vergleich der Daten wurden zeitgleiche Ausschnitte der Partikelkonzentrationsmessung im Stallinnenraum und im Abluftkamin ausgewählt.

Zur Visualisierung der Ergebnisse wurde der Quotient q aus der Partikelkonzentration in der Stallabluft und der Partikelkonzentration im Stallinnenraum in Abhängigkeit der Partikelgröße für jede Größenfraktion gebildet.

q [%] =
$$\frac{\text{Partikelko nzentratio n in der Abluft}}{\text{Partikelko nzentratio n im Stallinnen raum}} \cdot 100$$

Dieses Konzentrationsverhältnis q beschreibt die Wahrscheinlichkeit, ein Partikel einer bestimmten Größe aus dem Stallinnenraum in der Abluft zu finden. Bei einem Quotienten von $q=100\,\%$ für alle Partikelgrößen müsste jedes Partikel aus dem Stallinnenraum in die Abluft gelangen. Dies bedeutete eine Übereinstimmung der Partikelinnenraumkonzentration mit der Abluftkonzentration.

Messergebnisse

Beim Käfigstall änderte sich die Innenraumkonzentration an Staubpartikeln nur minimal während des gesamten Messzeitraums. Die Staubkonzentration im Volierenstall reagierte empfindlicher auf Veränderungen der Lüftungsintensität; bei Verringerung der Lüftungsintensität stieg die Partikelkonzentration innerhalb weniger Sekunden an.

Bei gleichen Abluftgeschwindigkeiten, welche bei über Relais zugeschalteten Ventilatoren (K1, K2, V1) vorliegen, bleibt der Quotient q aus Partikelkonzentration in der Abluft und Konzentration im Innenraum für jede Partikelgrößenfraktion nahezu konstant. Er zeigt keine Abhängigkeit von der eingestellten Lüftungsintensität und damit dem Gesamtvolumenstrom. Zur einfacheren Darstellung wurden daher die Konzentrationsverhältnisse q bei gleichen Partikelgrößen für die Ventilatorschächte K1, K2 und V1 über die Lüftungsintensitäten gemittelt.

Bild 5 zeigt die gemittelten Quotienten q aus Partikelkonzentration in der Abluft und Partikelkonzentration im Stallinnenraum für den untersuchten Käfigstall. Das Konzentrationsverhältnis q sinkt G. Schmitt et al.

von kleineren Partikelfraktionen zu größeren. Deutlich ist ein Minimum des Quotienten q bei einer Partikelgröße von 10 - 15 μm zu erkennen. Der Quotient für den Kamin V1 des Volierenstalls zeigt das gleiche Phänomen (vgl. Bild 6). Dies bedeutet, dass die bei einer Messhöhe von 1,20 m über dem Boden liegenden größeren Partikel weniger wahrscheinlich aus dem Stall transportiert werden als kleinere Partikel. Die in der Einleitung beschriebenen theoretischen Überlegungen werden dadurch bestätigt.

In den Abbildungen zum Konzentrationsverhältnis q sind bei kleinen Partikeln zum Teil Verhältniswerte q > 100 % zu finden. Gemäß der Vorgabe, dass der Quotient q den Anteil der Partikel vom Stallinneren beschreibt, die ins Freie getragen werden, sind solche Ergebnisse nicht zulässig. Neben Messungenauigkeiten ist eine mögliche Erklärung, dass sich die kleinen Partikel, allein durch die Thermik im Stall verteilt, in einem Schwebezustand befinden. Die Partikelkonzentration dieser Feinststäube scheint zur Stalldecke anzusteigen. Die Messstelle im Stallinnenraum liegt zu tief, um diese Partikel zu erfassen. Die Partikel können den Boden nur dann erreichen, wenn sie sich mit anderen Partikeln verbinden (agglomerieren). Vom Abluftkamin werden die Partikel im oberen Stallbereich jedoch erfasst und sind daher auch im Abluftschacht messbar. Dieser Umstand führt zu Verhältniswerten von über 100 %.

Die anfangs aufgestellte Vermutung, dass größere Partikel weniger wahrscheinlich den Stall verlassen als kleinere Partikel, scheint bei der Betrachtung der Partikelfraktion > 20 µm zunächst widerlegt. In Bild 5 und Bild 6 steigt der Quotient q bei der größten Partikelfraktion stark an. Dieses Verhalten kann durch die Verschmutzung der Ventilatorschächte erklärt werden. In den Kaminen setzen sich kleine Partikel an den Seitenwänden ab. Sie resuspendieren bei genügend hoher Luftgeschwindigkeit agglomeriert mit anderen Partikeln als ein großes Partikel in die Abluft. Daher werden in der Abluft mehr Partikel über 20 µm gemessen als im Stallinneren. Es ergibt sich demnach kein Widerspruch zur Anfangsvermutung.

Die unterschiedlichen Quotienten einer Größe für K1 und K2 in Bild 5 sind auf

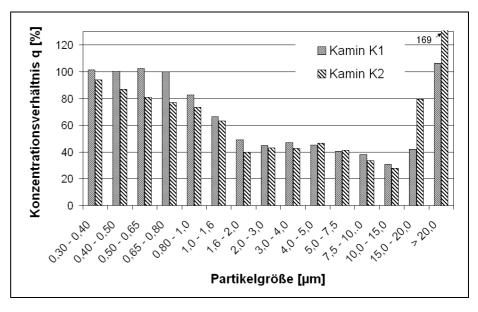


Bild 5: Gemittelte Konzentrationsverhältnisse g für die Kamine K1 und K2 des Käfigstalls

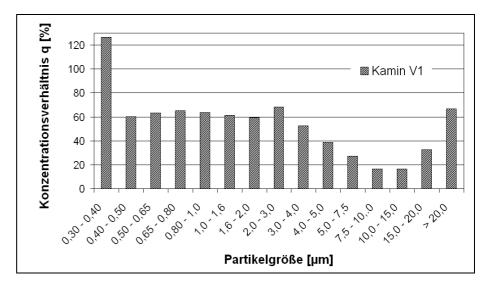


Bild 6: Gemittelte Konzentrationsverhältnisse q für den Kamin V1 des Volierenstalls

verschiedene Abluftgeschwindigkeiten und Verschmutzungsgrade der Kamine zurückzuführen. Eine Erklärung für den variierenden Verlauf von q in Bild 5 und Bild 6 kann nur durch die unterschiedlichen innenraumabhängigen Strömungsverläufe in den beiden Ställen gegeben werden.

Messungen am stufenlos geregelten Ventilator des Volierenstalls zeigen die Abhängigkeit der Partikelkonzentration in der Abluft von der Abluftgeschwindigkeit. In **Bild 7** ist der Quotient der Abluftkonzentration zur Innenraumkonzentration im Volierenstall bei verschiedenen Abluftgeschwindigkeiten v des Ventilators im Kamin V2 dargestellt. Bei einer durchschnittlichen Abluftgeschwindigkeit von 10 m/s liegt wie in Bild 5 und Bild 6 das Minimum des Quotienten q bei einer Partikelgröße von

10 - 15 μm. Sinkt die Abluftgeschwindigkeit auf 1 m/s, werden weniger große Partikel in den Abluftkamin gesaugt. Schon bei einer Partikelgröße von 1,0 - 1,6 μm gelangen weniger als 1 % der Partikel dieser Größenfraktion vom Innenraum ins Freie. Auch dies stützt die anfänglichen Vermutungen, dass die Zusammensetzung der Partikelkonzentration abhängig von der Abluftgeschwindigkeit ist.

Fehlerbetrachtung

Naturgemäß ist die Staubkonzentration innerhalb eines Tierstalls zeitlich nicht konstant. Daher sind Abweichungen der Messwerte möglich, welche die Quotientenbildung beeinflussen können. Die

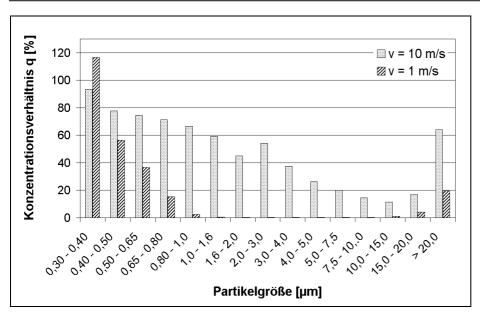


Bild 7: Konzentrationsverhältnisse q in Abhängigkeit der Abluftgeschwindigkeit am Kamin V2

Messungen wurden mit größtmöglich vertretbarer Messdauer durchgeführt. Bei jedem Messpunkt wurde auf stabile Ergebnisse geachtet. Da die Messungen im Innenraum zeitgleich mit denen im Abluftschacht durchgeführt wurden, sind variierende Staubkonzentrationen zu vernachlässigen. Plötzlich ansteigende Konzentrationsveränderungen Z. durch Unruhe im Volierenstall können nicht ausgeschlossen werden. Diese plötzlichen Veränderungen werden zwar im Innenraum erfasst, sind aber möglicherweise im Abluftschacht nicht nachzuweisen. Nach kritischer Bewertung der Messergebnisse wurden derartige Fluktuationen nicht in die Auswertung einbezogen.

Durch die Gruppenschaltung der Abluftventilatoren werden je nach Schaltung die Ventilatoren in der Nähe des Kamins für die Probennahme ein- oder ausgeschaltet. Dadurch verändern sich lokal die Strömungsverhältnisse am beprobten Abluftschacht. Ein Einfluss auf die Partikelkonzentration konnte bei der Datenauswertung nicht bestätigt werden und blieb daher unberücksichtigt.

Alle Messungen wurden innerhalb eines Tages durchgeführt. Daher sind keine Langzeitvergleiche bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen und Jahreszeiten möglich. Auch ein eventueller Einfluss der verschiedenen Haltungsabschnitte kann nicht betrachtet werden. Die Lüftung wurde am Klimacomputer geregelt, wodurch eine Simulation von Sommer- und Winterbedingungen ermöglicht werden sollte. Durch die ver-

hältnismäßig kurzen Abstände von einigen Minuten zwischen Regelung der Lüftung und Probennahme konnte kein stabiler Gleichgewichtszustand der Staubpartikel im Stall erreicht werden [11]. Durch die Verwendung des Quotienten q als Verhältnis der Partikelkonzentrationen anstelle der absoluten emittierten Partikel wird der Einfluss der unterschiedlichen Partikelkonzentrationen bei den verschiedenen Einstellungen der Lüftungsintensität umgangen.

In obiger Analyse der Ergebnisse wird davon ausgegangen, dass größere Partikel schwerer sind als kleine Partikel. Dies impliziert eine einheitliche Dichte für alle Größenfraktionen. Diese Voraussetzung muss nicht erfüllt sein. Es ist durchaus möglich, dass durch Dichteunterschiede größere Partikel leichter sind als kleinere. Dann gilt die anfängliche Annahme über die Emission der Partikel allein in Abhängigkeit ihrer Größe nicht. Eine weitere Analyse ist nur mit Hilfe speziell angelegter Sedimentationsversuche durchführbar. Die Messergebnisse lassen jedoch darauf schließen, dass die Dichte der Partikel nur unwesentlich variiert

In der Erläuterung zum ansteigenden Quotienten q der Partikelkonzentrationen bei Partikeln > 20 μ m wird darauf hingewiesen, dass sich durch Impaktion und Resuspension im Abluftschacht die Partikel agglomerieren. Da die Größe der messbaren Partikel technisch begrenzt ist, ist fraglich, ob alle Partikel erfasst worden sind oder ob Partikel mit einem Durchmesser weit über 20 μ m

den Stall verlassen, ohne detektiert zu werden. Diese Möglichkeit besteht und darf nicht ganz ausgeschlossen werden.

Fazit und Ausblick

Die Annahme, dass die Partikelkonzentration im Stallinneren von der in der Abluft abweicht, konnte durch Messungen reproduzierbar bestätigt werden. Staubmessungen im Stallinnenraum dürfen demnach nicht als Berechnungsgrundlage der aus Ställen emittierten Staubfrachten genutzt werden. Die ausgetragenen Staubfrachten können nur durch Messungen in den Abluftschächten der Ställe bestimmt werden.

Es kann keine für alle Haltungs- und Stallvarianten gültige Aussage über das Verhältnis der Partikelkonzentration in der Abluft zu der im Innenraum getroffen werden. Vielmehr geht es um die Einschätzung der Unterschiede in den Konzentrationen.

Inwieweit durch Strömungssimulationen Prognosen möglich sind, wird zu einem späteren Zeitpunkt untersucht. Über die beschriebenen Zusammenhänge hinausgehend erfolgen Auswertungen, die die emittierten Staubmassen aus den beprobten Legehennenställen betreffen. Angaben von Quellstärken sind aufgrund der vorliegenden Datenbasis möglich.

Literatur

Bücher sind mit einem • gekennzeichnet

- [1] Bundesimmissionsschutzgesetz: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.07.2002, GMBI (2002), H. 25-27, S. 511-605
- [2] Seedorf, J.: Emissionen von luftgetragenen Stäuben und Mikroorganismen, Landtechnik 55, (2000) S. 182-183
- [3] Hartung, E., K. Ollesch, A. Häußermann, M. A. Rieger, H. Diefenbach, A. Sundrum, M. Ebke und M. Lohmeyer. Stallluftqualität und Arbeitsplatzbelastungen in unterschiedlichen Mastschweinehaltungsverfahren, Agrartechnische Forschung 10, (2004) H. 4, S. 47-53
- Seedorf, J. und J. Hartung: Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 393, (2002) ISBN 3-7843-2145-3

G. Schmitt et al.

 Reist, P. C.: Introduction to Aerosol Science, Macmillan Publishing Company, (1984), ISBN 0-02-949600-4

- [6] Wallenfang, O., Schmitt, G., Büscher, W. und B. Diekmann: Entwicklung eines angepassten numerischen Modells zur Simulation der Ausbreitung von Bioaerosolen, Landtechnik 59, (2004) H. 5, S. 278-279
- [7] TRBA 405: Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe, Anwendung von Messverfahren und technischen Kontrollwerten für lutgetragene Biologische Arbeitsstoffe, BArbBI. 5/01, S. 58
- [8] Probenahme von Bioaerosolen am Arbeitsplatz (9410), BIA Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag (2004)
- [9] VDI Richtlinie 2066: Messen von Partikeln, Staubmessungen in strömenden Gasen, DIN VDI Taschenbuch 335 Luft-Analysenverfahren. Emissionstechnik. Staubmessung in strömenden Gasen (1975-1999), ISBN 3-410-14240-1
- [10] VDI Richtlinie 2080: Messverfahren und Messgeräte für Raumlufttechnische Anlagen, VDI Handbuch Lüftungstechnik (1984)
- [11] Wang, X., Y. Zhang, L. Y. Zhao und G. L. Riskowski: Effect of Ventilation Rate on Dust Spatial Distribution in a Mechanically Ventilated Airspace, Trans. ASAE, Vol. 43 (2000) (6), P. 1877-1884

Autoren

Dipl.-Phys. Gregor Schmitt Universität Bonn Institut für Landtechnik Nussallee 5 53115 Bonn

Tel.: +49/(0)228/73-2598 Fax: +49/(0)228/73-2596

Email: gregor.schmitt@uni-bonn.de

Dr. rer. nat. Oliver Wallenfang (Anschrift siehe G. Schmitt) Tel.: +49/(0)228/73-2588 Fax: +49/(0)228/73-2596 Email: wallenfang@uni-bonn.de

Prof. Dr. agr. habil. Wolfgang Büscher (Anschrift siehe G. Schmitt)

Tel.: +49/(0)228/73-2396 Fax: +49/(0)228/73-2596 Email: <u>buescher@uni-bonn.de</u>

PD Dr. rer. nat. habil. Bernd Diekmann Universität Bonn Physikalisches Institut Nussallee 12 53115 Bonn

Tel.: +49/(0)228/73-3497 Fax: +49/(0)228/73-3620

Email: diekmann@physik.uni-bonn.de