

Jessica Henseler, Eberhard Rosenthal,
Philipp Lodomez, Christoph Nannen, Bernd Diekmann und Wolfgang Büscher

Resuspension von Partikeln aus Tierställen

Feinstaubbelastungen im Nahbereich von Tierställen stehen immer wieder im Fokus von Standortdiskussionen. Um präzise Prognosen einer Staubausbreitung treffen zu können, ist die Bestimmung der Emissionsfaktoren von großer Bedeutung. Darüber hinaus sollten die relevanten Einflussfaktoren der Transmission in Ausbreitungsmodellen berücksichtigt werden. Diese Faktoren werden in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt untersucht. Dazu gehören die Sedimentation, Adsorption und Resuspension, welche mit unterschiedlichen Tierstallstäuben an verschiedenen Laborprüfständen analysiert wurden. In einem speziell entwickelten Windkanal wurden die Untersuchungen zur Resuspension und Adsorption der Partikel außerhalb des Stalles durchgeführt.

Schlüsselwörter

Transmissionsparameter, Resuspension, Windkanal

Keywords

Transmission parameter, resuspension, wind tunnel

Abstract

Henseler, Jessica; Rosenthal, Eberhard; Lodomez, Philipp; Nannen, Christoph; Diekmann, Bernd und Büscher, Wolfgang

Resuspension of dust from livestock buildings

Landtechnik 64 (2009), no. 3, pp. 198 - 201, 3 figures,
7 references

Inhalable and respirable dust from livestock buildings are continually in the focus of discussion. To give more accurate prognosis for a simulation model, on the one hand the determination of emission factors has a great significance. Furthermore the transmission parameter should be included likewise in such calculations. In this project the transmission parameter sedimentation, adsorption and resuspension are determined for different livestock buildings in different lab tech benches. The resuspension and adsorption for airborne dust from livestock buildings is determined in a specific wind tunnel.

■ In der Umgebung von landwirtschaftlichen Stallanlagen sedimentieren besonders die von ihnen emittierten Stäube. Durch Resuspension, also die Wiederaufwirbelung von auf

Oberflächen abgelagerten Partikeln, können diese Stäube wieder in den Luftstrom gelangen. Nachdem sich ein Aerosolpartikel an einer Oberfläche abgelagert hat, entscheiden die auf das Partikel einwirkenden Kräfte, ob es durch die Strömung von der Oberfläche abgelöst wird. Bei den Untersuchungen sollte daher für die unterschiedlichen Partikelgrößenklassen geklärt werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass diese wieder in den Luftstrom gelangen. Eine Abhängigkeit von der Staub- bzw. Tierart und von der Windgeschwindigkeit wurde vermutet.

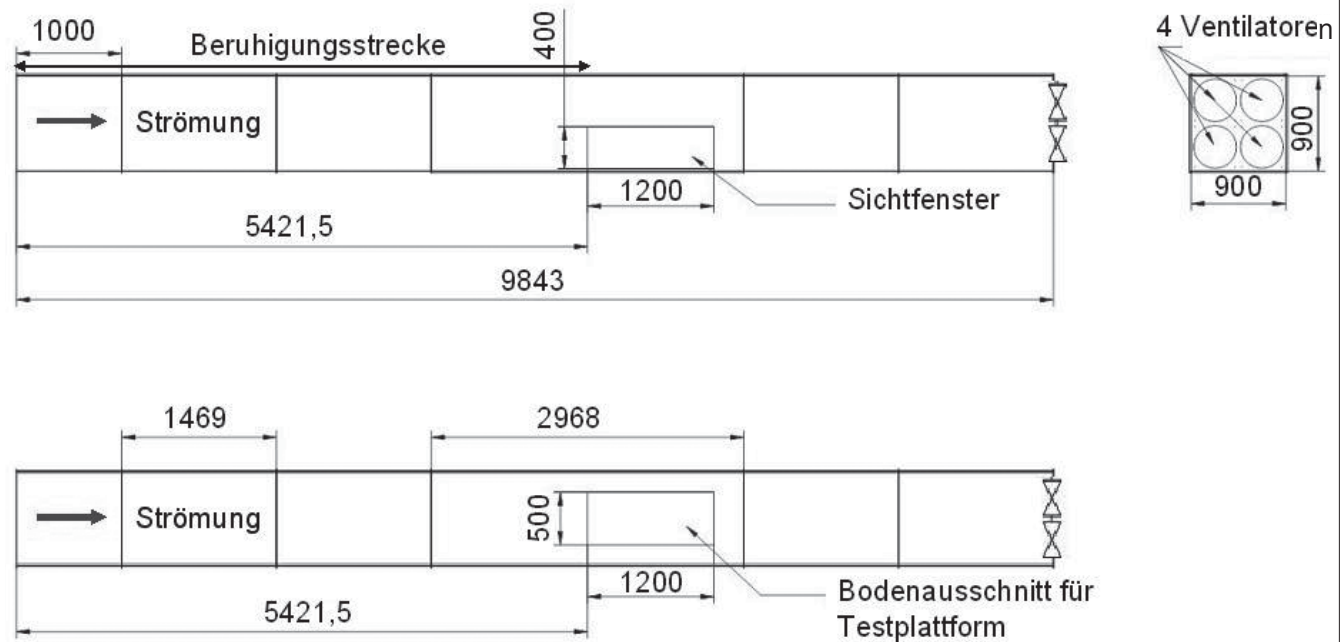
Resuspensionsverhalten von Partikeln

Durch die Adhäsionskräfte werden Partikel entweder aneinander oder an eine Oberfläche gebunden. Diese Bindung kann physikalischer oder chemischer Natur sein. Besonders bei kleinen Partikeln hat die Adhäsionskraft einen großen Einfluss.

Bedingt durch die Strömung wird der Teilchentransport ausgelöst. Weiterhin wirken verschiedene Phänomene wie Thermophorese, Diffusionsphorese und Elektrophorese auf den Transport von Partikeln. Hierbei unterscheidet man drei verschiedene Transportarten, die von der Partikelgröße, der Bodenrauigkeit und eventueller Hindernisse abhängt [1].

- Eine Suspension liegt vor, wenn Partikel ($< 70\mu\text{m}$) bedingt durch die Strömung resuspendieren. Hierbei unterscheidet man zwischen der kurzzeitigen Suspension, diese umfasst die Partikel von $20 - 70\mu\text{m}$, und die über längere Zeiträume, deren Partikel kleiner $20\mu\text{m}$ sind.
- Die Saltation umfasst die schwereren Partikel mit einer Größe von $60 - 1000\mu\text{m}$, die zu schwer sind, um in die Strömung zu gelangen. Werden sie trotzdem in die Strömung aufgenommen, so sedimentieren sie schnell wieder zu Boden und bewegen sich sprunghaft vorwärts. Unter der modifizierten Saltation ($70 - 100\mu\text{m}$) versteht man den Übergang von Saltation und Suspension.

Abb. 1



Seitenansicht (oben), Querschnitt (oben rechts) und Draufsicht (unten) des verwendeten Windkanals
 Fig. 1: Side-view (top), cross-section (top right) and top view (bottom) of the wind tunnel

■ Partikel, deren Durchmesser mehr als $500\mu\text{m}$ betragen, können nicht resuspendieren, man spricht hier von einer Reptation. Jedoch weisen diese Partikel eine rollende oder kriechende Bewegung entlang der Oberfläche auf, die durch die kinetische Energie von springenden Partikeln bedingt ist.

Messprinzip und Versuchsaufbau

Die Untersuchungen des Transmissionsparameters Resuspension wurden in einem Windkanal durchgeführt (siehe **Abbildung 1**), der im Querschnitt quadratisch ist und eine Kantenlänge von 0,9 m und einer Gesamtlänge von etwa 9,8 m hat.

Die Installation einer Testplattform (0,5 m x 1,2 m) im Anschluss an die Beruhigungsstrecke ermöglicht den Einbau unterschiedlicher Oberflächen. Die Testplattform, die in den ersten Versuchen aus einer Spanplatte bestand, bildet die Grundlage für die eingebaute Messtechnik. Diese besteht aus zwei Aerosolspektrometern (Model 1.108) der Firma Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG, sowie einem Temperatur- und Luftfeuchtefühler und zwei Flügelradanemometer der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH. Die Messdaten werden online übertragen und grafisch dargestellt.

Auf der Testplattform sind zwei Ansaugpunkte für die Aerosolspektrometer vorgesehen. Das erste Aerosolspektrometer zeichnet die Partikelanzahlkonzentration im vorderen Bereich der Testplattform auf und erfasst somit die Hintergrundkonzentration. Das zweite Aerosolspektrometer ist am Ende der Testplattform installiert, hinter der zu untersuchenden Oberfläche und den abgelagerten Stäuben. Die Übertragung der Messdaten des Aerosolspektrometers geschieht sekundlich, wodurch eine sehr hohe zeitliche Auflösung zustande kommt. Weiterhin wird

die Partikelanzahlkonzentration entsprechend ihres optischen Äquivalentdurchmessers in acht Kanälen klassifiziert.

In zwei diagonal gegenüberliegenden Ecken der Testplattform sind im Windkanal zwei Flügelradanemometer installiert (gemäß VDI 3783), die die Windgeschwindigkeit vor und hinter dem ausgebrachten Tierstallstaub aufzeichnen. Der Temperatur- und Luftfeuchtefühler erfasst die Klimabedingungen.

Durch den Einbau von vier Axialventilatoren ($\varnothing 0,3\text{m}$) der Firma Ziehl-Abegg können verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten eingestellt werden.

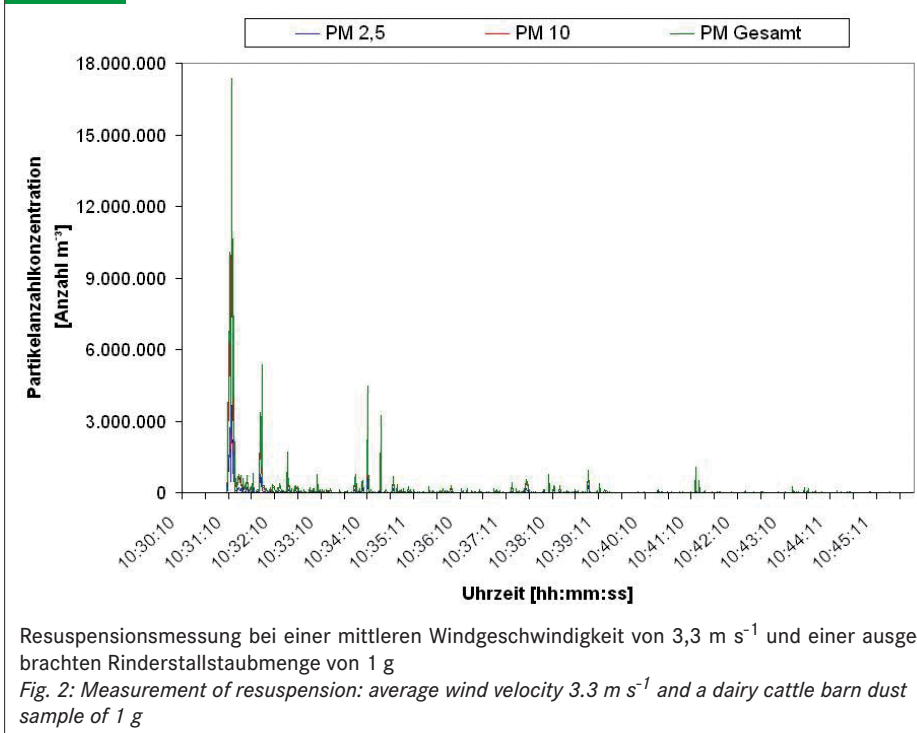
Eine Automatisierung der Messungen, sowie die Ansteuerung der verwendeten Messtechnik werden durch ein mit der Software LabView 8.5 geschriebenes Programm realisiert.

Bei den Stäuben handelt es sich um Staub aus Geflügel-, Schweine- und Rinderstallungen. Die Tierstallstäube werden auf einer Fläche von 50cm^2 in einem Abstand von 10 cm zu dem zweiten Aerosolspektrometer ausgebracht. Auffällig bei der Ausbringung der Stäube war die unterschiedliche Zusammensetzung. Besonders der Geflügelstallstaub hebt sich von den anderen Stäuben durch seine watteähnliche Konsistenz ab. Eine gleichmäßige und flächendeckende Ausbringung wurde daher erschwert. Hingegen gab es bei dem Schweine- und Rinderstallstaub durch die feine Struktur keine Probleme. Für jede Tierart wurde pro Messung, die 15 Minuten dauerte, 1 g Tierstallstaub ausgebracht.

Datengrundlage

Um eine Aussage über den Anteil der resuspendierten Partikel treffen zu können, muss eine Partikelverteilung des ausgebrachten Tierstallstaubes in den einzelnen Größenklassen

Abb. 2



vorliegen. Hierfür wird zunächst die gemessene Partikelverteilung für die jeweiligen Stäube aus den vorher durchgeführten Emissionsmessungen im Stall betrachtet. Diese Partikelverteilung dient als Grundlage zur Berechnung der Verteilung für 1 g der ausgebrachten Partikel für die Resuspensionsmessungen im Windkanal.

Die Anzahl der resuspendierten Partikel wird durch die Aerosolspektrometer gemessen. Anhand der zuvor ermittelten spezifischen Dichte [4] der jeweiligen Größenklasse und Tierstallstaubes wird die Partikelmasse der resuspendierten Partikel berechnet.

Durch die vorherige Bestimmung der Partikelverteilung der ausgebrachten Tierstallstäube und den korrigierten Messwerten ist man in der Lage, den Anteil der resuspendierten Partikel an der ausgebrachten Tierstallstaubmenge zu ermitteln.

Erste Messergebnisse

Exemplarisch sind in **Abbildung 2** die Messergebnisse einer Resuspensionsmessung für einen ausgebrachten Rinderstallstaub (1 g) bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von $3,3 \text{ m s}^{-1}$ dargestellt. Weiterhin wurde eine Aufschlüsselung der Partikelgrößenklassen in $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} und $\text{PM}_{\text{Gesamt}}$ für die korri-

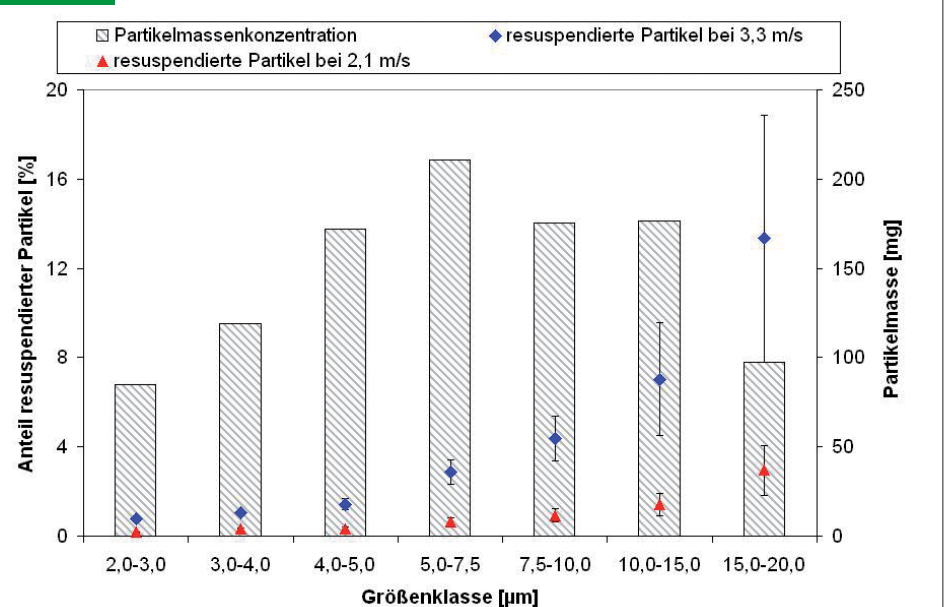
gierte Partikelanzahlkonzentration vorgenommen.

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass es zu keiner kontinuierlichen Aufwirbelung der Partikel und keiner vollständigen Abtragung der Partikelschicht über die gesamte Messdauer von 15 Minuten kommt. Vielmehr gehen zu unbestimmten Zeiten einzelne Partikel aus der ausgebrachten Staubschicht in den Luftstrom über [1], wodurch es zu vereinzelt Resuspensionsspitzen kommt. Weiterhin ist zu beobachten, dass in der Anfangsphase mehr Partikel resuspendieren und die Anzahl der sich ablösenden Partikel gegen Ende der Messung auf ein sehr geringes Niveau sinkt.

Der berechnete prozentuale Anteil der resuspendierten Partikel an der Partikelverteilung kann **Abbildung 3** entnommen werden. Die Partikelmas-

senverteilung bezieht sich auf die ausgebrachte Rinderstallstaubmenge von 1 g für die jeweiligen Größenklassen in Micrometer (μm). Der größte Anteil der Partikelmasse ist in den Größen von $4,0 - 15 \mu\text{m}$ zu finden. Der Anteil der resuspendierten Partikel in Abhängigkeit der unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten bezieht sich auf die resuspendierten Partikel, die von den Aerosolspektrometern gemessen wurden. Dabei wurde die Hintergrundkonzentration

Abb. 3



Prozentualer Anteil der resuspendierten Partikel an der theoretischen Partikelmassenverteilung bei einer ausgebrachten Rinderstallstaubmenge von 1 g bezogen auf unterschiedliche Windgeschwindigkeiten

Fig. 3: Procentual fraction of resuspended particles to theoretical particle mass distribution for a sample of 1 g dairy cattle barn dust and taking different wind velocities into consideration

berücksichtigt. Wie erwartet wird deutlich, dass mit steigender Windgeschwindigkeit mehr Partikel in den Luftstrom aufgenommen werden.

Bei den geringen Windgeschwindigkeiten, die am Boden um landwirtschaftliche Stallanlagen vorherrschen, dürfte der Anteil von resuspendierten Partikeln sehr gering sein. Allerdings liegen Unterschiede in der Resuspension von Stäuben verschiedener Tierarten vor, die wahrscheinlich auf die inneren Bindungskräfte und andere Stoffeigenschaften zurückzuführen sind.

Schlussfolgerungen

In den letzten Jahren ist die Anzahl der Staubemissionsmessungen an Tierställen angestiegen. Die Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Haltungformen der jeweiligen Nutztierarten konnten präzisiert werden, wodurch die Prognosen für Ausbreitungssimulationen verbessert werden konnten [6]. Die Systeme zur Staubminderung in den Stallungen, wie auch die Abluftreinigungssysteme wurden für Schweine- und Geflügelställe optimiert [2], sodass die emittierten Staubfrachten aus den Tierställen unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen [5]. In weiteren Forschungsarbeiten sind die Einflussfaktoren auf die Transmission der Feinstäube zu untersuchen, wodurch die Prognosen weiter präzisiert werden können. Bezogen auf das Resuspensionsverhalten ist es allerdings sehr schwierig, geeignete Modelle zu entwickeln, um die Vorgänge realitätsnah zu simulieren [3]. Durch die vorliegenden ersten Untersuchungen konnte ein Beitrag zur Transmissionsmodellierung im Umfeld von landwirtschaftlichen Stallanlagen geleistet werden. Allerdings bedarf es in diesem Bereich noch großer Forschungsarbeit,

bis zuverlässige Immissionsprognosen aus Ausbreitungsmodellen abgeleitet werden können.

Literatur

- [1] Bendiab, M. (2007): Erweiterung des Containment Codes COCOSYS zur Quelltermbewertung der trockenen Resuspension infolge transientser Strömungen. Dissertation. Universität Bochum, November 2007
- [2] Hölscher, R. (2006): Nachrüstlösungen zur Emissionsminderung dezentral entlüfteter Stallungen zur Schweinemast. Dissertation, VDI-MEG 446, ISSN 0931-6264
- [3] Schmidt, E., Nitschke, D. (2006): Aufwirbelung von auf Oberflächen abgelagerten Partikelschichten. Chem.-Ing.-Tech. 78, no. 5, 525-533
- [4] Schmitt-Pauksztat, G. (2006): Verfahren zur Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit von Stäuben und Festlegung partikelspezifischer Parameter für deren Ausbreitungssimulation, Dissertation, VDI-MEG 440, ISSN 0931-6264
- [5] TA-Luft (2001): technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
- [6] Van der Hoek, K. W. (2007): Particulate matter emissions from animal production in the netherlands. Dust Conference 2007, Maastricht
- [7] VDI 3783 (2000): Umweltmeteorologie. Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht. Windkanalanwendungen. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 12

Autoren

Dipl.-Ing agr. Jessica Henseler ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Landtechnik der Universität Bonn.

Dr. Christoph Nannen war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn.

Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; E-Mail: buescher@uni-bonn.de

Dipl.-Phys. Eberhard Rosenthal ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Physikalischen Institut der Universität Bonn.

Dipl.-Phys. Philipp Lodomez ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Physikalischen Institut der Universität Bonn.

Dr. Bernd Diekmann ist Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn, Nussallee 12, 53115 Bonn. Er leitet dort verantwortlich die Arbeitsgruppe Energie und Umweltphysik, E-Mail: Diekmann@physik.uni-bonn.de