

Sinkgeschwindigkeiten von Tierstäuben

Rückschlüsse auf die Partikeleigenschaften

In Genehmigungsverfahren gewinnt die Prognose der Staubbelastung durch Ausbreitungssimulationen an Bedeutung. Die in den meisten Ausbreitungsmodellen vorgesehene Einbeziehung der Sinkgeschwindigkeit von Stäuben bezieht sich nur auf den Partikeldurchmesser und berücksichtigt nicht unterschiedliche Stoffeigenschaften der Stäube. Zur Schaffung einer Datenbasis wurde eine Anlage zur Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit von Stäuben konstruiert. Die Daten dienen der Präzisierung von Ausbreitungssimulationen und lassen Rückschlüsse auf die Dichte der Staubpartikel und auf mögliche Quellen zu.

Dipl.-Phys. Gregor Schmitt-Pauksztat ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, 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: gregor.schmitt@uni-bonn.de
Eberhard Rosenthal ist Diplomat, Dr. Bernd Diekmann ist Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn, Nussallee 12, 53115 Bonn.
Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.

Schlüsselwörter

Staub, Sedimentation, Partikeldichte, Stallluftqualität

Keywords

Dust, sedimentation, particle density, air quality in livestock buildings

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05516 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die Ermittlung der Immissionskonzentration luftfremder Stoffe wird in der aktuellen Tagesdiskussion um die Feinstaubemissionen von Fahrzeugen immer bedeutender. Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft [1] bezieht in der gültigen Fassung aus dem Jahr 2002 erstmals auch Tierställe als Emittenten luftfremder Stoffe als „genehmigungspflichtige Anlagen“ ein.

In Genehmigungsverfahren kommen immer häufiger mathematische Modelle zur Simulation von Luftströmungen zum Einsatz, welche die Transmission und Immission luftfremder Stoffe an stallfernen Positionen prognostizieren sollen. Damit können mögliche Belästigungen von Anwohnern durch Geruch oder Partikel und damit eventuell verbundene Infektionsrisiken [2] bereits in der Stallplanungsphase ausgeschlossen werden. So wird eine grundlegende Standortssicherheit gewährleistet.

In den meisten Ausbreitungsmodellen [3, 4] werden Partikel als sphärische Kugel mit einer über alle Größenfraktionen konstanten Dichte von 1 g/cm^3 (Einheitsdichte) angenommen. Stoffliche Eigenschaften wie Unterschiede in der Partikeldichte in Abhängigkeit der Größe sowie Form der Partikel gehen nicht in die Berechnungen ein. Diese Parameter wirken sich jedoch entscheidend auf das Verhalten der Partikel aus.

Im Folgenden wird ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit von Partikeln vorgestellt, welches die Bestimmung dieser physikalischen Parameter ermöglicht.

Theoretische Betrachtung

Ein Partikel erreicht auch unter Einfluss einer konstanten Beschleunigungskraft nach

kurzer Zeit eine maximale Geschwindigkeit - ähnlich wie ein Fallschirmspringer, der im freien Fall nicht schneller als etwa 200 km/h wird.

Diese Sedimentationsgeschwindigkeit v_s eines Partikels ist gegeben durch [5]

$$v_s = \frac{1}{18} \frac{C_C}{\eta} \frac{\rho_p}{\kappa} g d^2.$$

Dabei ist C_C der Cunningham-Korrekturfaktor, η ist die Viskosität der Luft, ρ_p ist die Partikeldichte, κ ist der dynamische Formfaktor des Partikels, g die Erdbeschleunigung und d der Partikeldurchmesser. Der dynamische Formfaktor berücksichtigt die Abweichung der Partikelform von einer Kugel.

Stoffspezifisch sind dabei nur die Parameter Dichte ρ_p und der Formfaktor κ . Diese sind in den verschiedenen Partikelgrößenfraktionen nicht notwendigerweise identisch und somit abhängig von der Partikelgröße. Bei Kenntnis des Quotienten ρ_p/κ in Abhängigkeit der Größenfraktion ist eine theoretische Berechnung der Partikelgeschwindigkeit möglich.

Die partikelspezifischen Parameter und Stoffeigenschaften sind durch Messung der Partikelsinkgeschwindigkeit zu ermitteln.

Messmethode

Zur Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit von Partikeln wurde am Institut für Landtechnik der Universität Bonn in Zusammenarbeit mit dem Physikalischen Institut eine Sedimentationskammer konstruiert. *Bild 1* zeigt den Versuchsaufbau.

Hauptteil der Anlage ist ein senkrecht stehender Sedimentationszylinder. Am obersten Punkt des Zylinders können nahezu beliebige Staubproben freigesetzt werden.

Tab. 1: Quotient ρ_p/κ für verschiedene Stäube, Angaben in g/cm^3

Partikelgröße [µm]	Dolomit	Schweinstallstaub	Hühnerstall-B	Hühnerstall-V
2,0 bis 3,0	5,00	3,87	2,56	3,73
3,0 bis 4,0	3,25	2,22	1,96	2,76
4,0 bis 5,0	3,13	1,75	1,91	2,22
5,0 bis 7,5	3,18	1,64	1,34	1,77
7,5 bis 10,0	2,77	1,76	1,37	1,64
10,0 bis 15,0	2,56	1,41	0,94	1,25
15,0 bis 20,0	2,72	1,22	0,68	0,89
> 20,0	2,97	1,89	0,54	0,86

Tab. 1: Ratio ρ_p/κ for dust types, given in g/cm^3



Bild 1: Sedimentationszylinder (links) mit Datenerfassung (rechts oben) und Aerosolspektrometer (rechts unten)

Fig. 1: Sedimentation cylinder (left), data acquisition (upper right) and aerosol spectrometer (lower right)

Am Boden des Zylinders wird die Partikelkonzentration mit einem Aerosolspektrometer der Firma GrimmAerosolTechnik, Ainring, in Abhängigkeit der Partikelgröße gemessen und in Fraktionen eingeteilt.

Nach der Freisetzung im oberen Zylinderbereich sinken die Partikel in Abhängigkeit ihrer Größe, Dichte und Form. Am Boden werden zunächst die größeren Partikel aufzutreffen, danach die kleineren. Aus der Sedimentationszeit und der zurückgelegten -strecke kann die mittlere Sinkgeschwindigkeit errechnet werden.

Untersuchte Stäube

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf Untersuchungen von Dolomitstaub (als Kalibrierstaub), sedimentiertem Staub aus einem Mastschweinstall mit Spaltenbodenhaltung und Flüssigfütterung - im Folgenden als „Schweinstallstaub“ bezeichnet -, Staub aus einem Legehennenstall mit Bodenhaltung (Einstreu: Stroh) und manueller Fütterung, der im Folgenden als „Hühnerstallstaub-B“ bezeichnet wird, sowie sedimentiertem Staub aus einem Legehennenstall mit Volierenhaltung (Einstreu: Stroh) und automatischer Fütterung, im Folgenden als „Hühnerstallstaub-V“ bezeichnet. Diese Stäube sind nicht notwendigerweise repräsentativ für die Tierart oder das Halteungsverfahren.

Messergebnisse

In Bild 2 sind die Kurvenverläufe für kugelförmige Staubpartikel mit einer Dichte von 1 g/cm^3 sowie für einen Teil der untersuchten Stäube dargestellt.

Wenn die Messwerte einer Staubart auf einer Parabel liegen, deutet dies auf eine für alle Fraktionen einheitliche Dichte des Staubes hin. Für Dolomitstaub ist ein charakteristisches Parabelprofil zu erkennen (Bild 2), welches die homogene Dichte des Kalibrierstaubs bestätigt.

Bei den Tierstäuben liegt kein Parabelprofil vor. Für die kleineren Partikel liegen die Werte beider Tierstäube nahe an den Werten für Dolomitstaub, bei größeren Fraktionen nähern sich die Werte dem Einheitsstaubprofil. Damit kann auf unterschiedliche Dichten der verschiedenen Größenfraktionen einer Sammelprobe geschlossen werden.

Allerdings ist das Fehlen eines Parabelprofils keine hinreichende Bedingung für verschiedene Dichten. Maßgeblich für die Sinkgeschwindigkeit ist der Quotient ρ_p/κ , der in Tabelle 1 für alle untersuchten Stäube dargestellt ist.

Unter der Prämisse, dass der dynamische Formfaktor κ bei allen Fraktionen nahezu gleich ist, sind bei den Tierstäuben bei kleineren Partikelgrößen höhere Dichten festzustellen als bei große-

ren Partikeln. Eine mögliche Erklärung ist, dass bei den kleineren Partikeln vornehmlich mineralische Staubpartikel dominieren, bei den größeren Partikeln eher organische Bestandteile wie Einstreu, Hautschuppen oder Federbruchstücke.

Die Unterschiede zwischen Hühnerstallstaub-B und Hühnerstallstaub-V sind durch die Fütterung in der Bodenhaltung zu erklären. Durch die Handfütterung gelangen mehr Partikel in die Stallluft als bei einem automatischen Fütterungssystem. Dadurch können in den größeren Fraktionen die leichten Futterpartikel dominieren.

Die Bestimmung des dynamischen Formfaktors κ durch ergänzende Messmethoden (Mikroskopie) würde eindeutige Ergebnisse für die Partikeldichte garantieren. Dazu sind jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig.

Fazit und Ausblick

Mit dem vorgestellten Messverfahren können Sinkgeschwindigkeiten nahezu beliebiger Stäube bestimmt werden. Aus dem Kurvenverlauf der Sedimentationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Partikelgröße können Rückschlüsse auf das Verhältnis von Partikeldichte zur Partikelform getroffen werden. Die Messergebnisse geben Hinweise auf inhomogene Dichteverteilungen bei den Tierstäuben. Damit sind auch Rückschlüsse auf die Staubquellen möglich.

Zur Präzisierung von Ausbreitungsmodellen wurde das ρ_p/κ -Verhältnis für die untersuchten Stäube in Abhängigkeit der Größenfraktion angegeben. Nach den vorgestellten Ergebnissen ist die Annahme einer Dichte von 1 g/cm^3 für Tierstäube nicht gerechtfertigt, vielmehr ist eine fraktionsspezifische Betrachtung notwendig.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Ergebnisse besteht in der gezielten Selektion von Partikelfraktionen bei Abscheidesystemen wie etwa Zyklon-Abscheidern. Minderungsmaßnahmen können so auf den jeweiligen Tierstaub optimiert werden.

Bild 2: Sinkgeschwindigkeiten verschiedener Stäube in Abhängigkeit des Partikeldurchmessers

Fig. 2: Sedimentation velocity of different dust types depending on particle diameter

