

Jörg Driemer und Herman Van den Weghe, Vechta

Messung der Schwebstaubkonzentration in Stallungen

Die gravimetrische kontinuierliche Schwebstaubmessung wurde für eine erste Analyse der Staubsituation in verschiedenen Ställen eingesetzt. Bei der Aufzeichnung von Tagesverläufen der Schwebstaubkonzentration mit dem TEOM 1400a konnten kurzfristig auftretende Konzentrationsmaxima zuverlässig nachgewiesen werden. Der charakteristische Tagesverlauf der Staubkonzentration im Broiler-Stall wird wesentlich durch Fütterung, Kontrollgänge und Lichteinwirkung geprägt. In zwei Versuchsställen für Mastschweine war die Abhängigkeit von externen Einzelereignissen geringer; spezifische Aktivitäten einzelner Tiere überlagerten andere Einflußfaktoren.

Staub in Tierställen ist seit nunmehr über 30 Jahren als Forschungsobjekt von vielfältigem Interesse. Während in Europa Staub in Tierställen zunächst vorwiegend wegen seiner Trägerfunktion für Mikroorganismen untersucht wurde, rüstete man in den USA bereits den ersten Geflügelstall mit einem Wäscher aus [1]. In neuerer Zeit haben Untersuchungen vermehrt die Ursachen der Staubeinstaubung zum Gegenstand und zielen auf die Vermeidung von Staubquellen (produktionsintegrierter Umweltschutz). Die Schwebstaubmessung kann je nach Meßmethodik einen wichtigen Beitrag zum Auffinden potentieller Staubquellen leisten; gegebenenfalls wird sie durch eine Analyse des Staubs ergänzt. Zur Quantifizierung der Staubbelastung, bei der die Massenkonzentration an Schwebstaub im Stall kontinuierlich bestimmt wird, muß zunächst eine geeignete Meßtechnik ausgewählt werden. Der Anwendung der

konventionellen Filterwägung steht ein hoher personeller Aufwand entgegen, zudem können bei diesem integralen Meßverfahren zeitweilige Konzentrationsmaxima nicht erkannt werden. Bei optischen Meßverfahren bereitet die Kalibrierung Probleme. Die optische Meßgröße unterliegt neben der Massenkonzentration auch anderen Einflußgrößen, wie verschiedenen Partikeleigenschaften und der Meßanordnung [2, 3].

In den Untersuchungen der Tagesverläufe der Schwebstaubkonzentration in einem Broiler-Stall und zwei Versuchsställen für Mastschweine wurde das TEOM-Schwebstaubmeßgerät 1400a eingesetzt. Das Gerät entspricht den Anfor-

messer sowie weiterer Steuer- und Kontrollelektronik. Die schwebstaubbeladene Probenluft wird während des Meßvorgangs durch eine Vakuumpumpe über das Probennahmesystem mit konstantem Volumenstrom angesaugt und zum Massenumformer (Bild 1) weitergeleitet [4]. Der Massenumformer basiert auf einem konischen röhrenförmigen Schwingstab, der als Kernelement des Massenumformers an einem Ende befestigt ist, während das andere Ende frei schwingt. Das konische Rohr wird elektronisch in Schwingung gehalten. An der Spitze der frei schwingenden Stabseite ist ein Meßfilter angebracht, dessen Beaufschlagung mit Staub die Frequenz des Schwingensystems ändert. Diese Schwingungsfrequenz wird alle zwei Sekunden mit einem Frequenzzähler bestimmt und durch einen nachgeschalteten Rechner ausgewertet. Die gemessene Frequenzänderung wird über eine gerätespezifische Kalibrierkonstante in Beziehung gesetzt zur Massenänderung auf dem Filter. Die Massenänderung wird wie folgt berechnet [4]:

$$\Delta m = K_0 \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_0^2} \right)$$

wobei Δm die Massenänderung in einem Zeitintervall ($t_1 - t_0$), f_0 und f_1 die Frequenzen zur Zeit t_0 und t_1 sowie K_0 die Kalibrierkonstante bezeichnen. Der Durchfluß durch das Meßfilter wird mit einem Massenstromregler auf einem einstellbaren Niveau konstant gehalten, so daß aus der Massenänderung auf dem Filter die Massenkonzentration berechnet werden kann, deren Ausgabe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erfolgt. Die

Nachweisgrenze des TEOM-Staubmeßgerätes beträgt nach Herstellerangaben bei der Berechnung von 3-min-Mittelwerten weniger als $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Meßbereich wird mit $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $50 \text{mg}/\text{m}^3$ angegeben.

Kalibrierung

Unter normalen Umständen ändert sich die Kalibrierkonstante K_0 über die Lebensdauer des Meßgerätes grundsätzlich

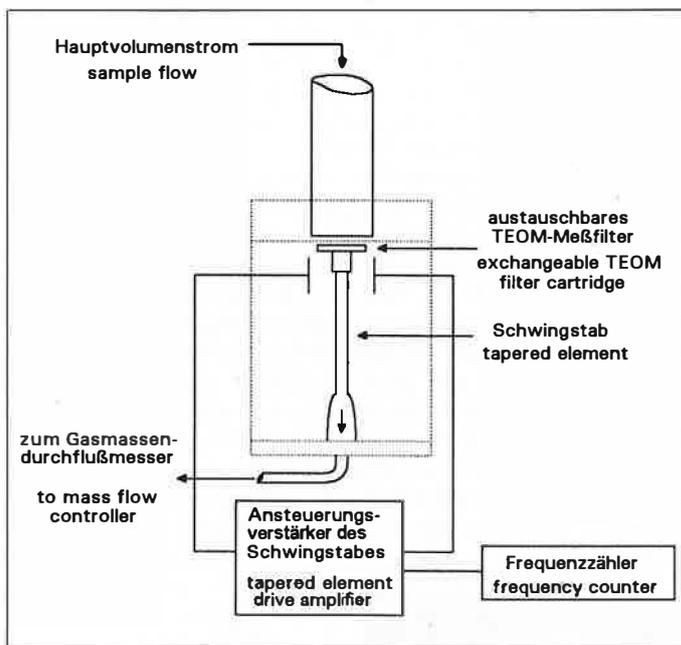


Bild 1: Schematische Darstellung der TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance)-Mikrowägetechnik [4]

Fig. 1: Schematic diagram of the TEOM (tapered element oscillating microbalance)-microbalance technology [4]

derungen der U.S. EPA in Immissionsmeßnetzen.

Meßtechnik

Das TEOM-Schwebstaubmeßgerät besteht aus zwei Hauptkomponenten: der Meßeinheit, die sich aus dem Probennahmesystem und dem Massenumformer zusammensetzt, und der Steuer- und Kontrolleinheit, bestehend aus einem Bedienterminal, einem Massendurchfluß-

Dipl.-Ing. Jörg Driemer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Prof. Dr. Ir. Herman Van den Weghe ist Leiter des Fachgebietes Verfahrenstechnik am Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser/Ems der Fakultät Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, Driverstraße 22, 49377 Vechta.

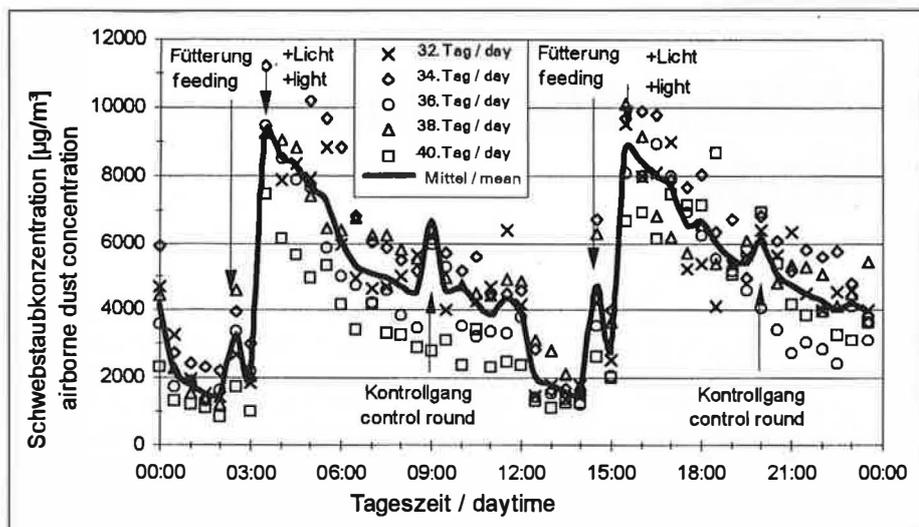


Bild 2: Verschiedene Einflußfaktoren auf den Tagesverlauf der Schwebstaubkonzentration in einem Masthähnchenstall

Fig. 2: Various factors influencing the daily course of airborne dust concentration in a broiler house

nicht. Abweichungen der gemessenen Konstante vom original eingestellten Wert von weniger als 2,5 % sind hinnehmbar [4]. Verfeinerte Methoden der Kalibrierung des TEOM-Sensors ergeben eine größere Kalibrierengenauigkeit und bestätigen die Anwendbarkeit der einfachen Kalibrieremethode [5]. Zur Überprüfung der Kalibrierkonstanten des verwendeten TEOM-Sensors wurden zehn TEOM-Meßfilter mit einer Mikrogrammwage gewogen. Aus den gemessenen Schwingfrequenzen des TEOM-Sensors vor und nach der Beaufschlagung mit den Meßfiltern erfolgte die Berechnung der Kalibrierkonstanten gemäß Gleichung 1. K_0 wurde zu $10124 \pm 85 \text{ g/s}^2$ bestimmt und weicht damit durchschnittlich um -0,64 % von dem vom Hersteller angegebenen Wert 10189 g/s^2 ab.

Schwebstaub im Broiler-Stall

Das TEOM-Meßgerät wurde in der Stallmitte aufgestellt. Die Probenahme erfolgte mit einem TSP-Meßkopf in einer Höhe von 1,75 m. Zu Beginn der Messungen war der Stall mit 28671 Tieren besetzt; am 36. Tag wurden 7176 Tiere ausgestallt. Die festen Zeiten bei der Futtervorlage und Lichtschaltung sowie bei Durchführung der Kontrollgänge durch den Stall bewirken, daß sich trotz der Individualität von Ereignissen an jedem Tag nach Mittelung der Schwebstaubkonzentration über fünf Tage ein typischer Verlauf ergibt, der im wesentlichen durch die wiederkehrenden Hauptereignisse gekennzeichnet ist (Bild 2). Ein Anstieg auf das Zehnfache des unteren Konzentrationsniveaus wird durch die Fütterung in Verbindung mit Lichteinwirkung hervorgerufen. Ursächlich dafür ist offensichtlich ein Anstieg der Tieraktivität. Anschlie-

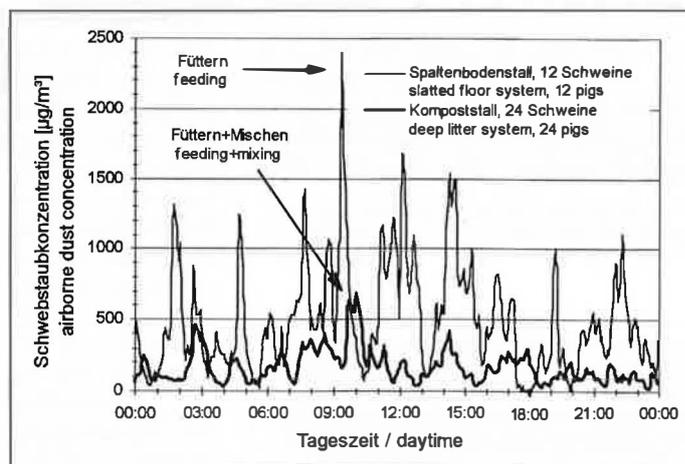
bend klingt die Staubkonzentration mit etwa $800 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ ab.

Schwebstaub in Mastschweineställen

Im Vergleich zum Broiler-Stall wurde in Versuchsställen für Mastschweine ein grundsätzlich anderer Verlauf der tageszeitlichen Schwebstaubkonzentration gefunden. Die typischen Verläufe in einem Vollspaltenstall mit zwölf Tieren und einem Kompoststall mit 24 Tieren sind in Bild 3 dargestellt. Die Konzentrationsverläufe in beiden Ställen sind durch eine Vielzahl an Peaks gekennzeichnet, von denen einer jeweils der Fütterungszeit sowie dem Zeitraum der Kompostdurchmischung zugeordnet werden kann. Andere Peaks haben kein bestimmtes externes Ereignis als Ursache, sondern ergeben sich in beiden Systemen als Folge individueller Tieraktivität. Eine abschließende Bewertung der beiden Stallsysteme hinsichtlich der unterschiedlichen Konzentrationsniveaus kann aufgrund versuchsbedingter Einflußfaktoren wie Stallgeometrie und Aufstellungsort des Meßgerätes noch nicht erfolgen.

Bild 3: Typischer Tagesverlauf der Schwebstaubkonzentration in zwei Versuchsställen für Mastschweine

Fig. 3: Typical daily course of airborne dust concentration in two experimental houses for fattening pigs



Schlußfolgerungen

Die kontinuierliche gravimetrische Schwebstaubmessung mit dem TEOM 1400a ermöglicht eine erste Analyse der Staubsituation im Stall. Eine Kalibrierung des Gerätes ist bei diesem Meßverfahren nicht erforderlich.

Der tageszeitliche Verlauf der Staubkonzentration im Broiler-Stall ist sehr viel stärker vom Hauptereignis der Fütterung geprägt als in den Versuchsställen für Mastschweine. Das Beispiel der Kontrollgänge im Broiler-Stall zeigt, daß auch untergeordnete Einflußfaktoren auf die Schwebstaubkonzentration trotz Überlagerung erkannt werden können. Ob Einflußfaktoren, wie etwa die Fütterung-(technik) direkt oder indirekt über die induzierte Tieraktivität beim Fressen wirken, kann letztlich nur mit Hilfe einer Staubanalyse herausgearbeitet werden. Auch Stalltemperatur, relative Luftfeuchte, Futtermenge, Art der Fütterung, Tiergewicht und Luftvolumenstrom können die Staubkonzentration beeinflussen [6]. Der Zusammenhang zwischen Tieraktivität und Staubkonzentration wurde auch bereits mit statistischen Methoden aufgezeigt [7].

Literaturhinweise sind vom Verlag erhältlich unter LT 97 507.

Schlüsselwörter

Meßtechnik, Schwebstaub, Gravimetrie, Tieraktivität

Keywords

Measuring technique, airborne dust, gravimetry, animal activity