

Windtunnel im Vergleich

Messung der Ammoniakemission nach Flüssigmistausbringung

Eine Umfrage zu bestehenden Windtunnelsystemen zur Messung der Ammoniakemission nach der Flüssigmistausbringung ergab, daß wesentliche bauliche Unterschiede bestehen. Es werden der Aufbau von sieben verschiedenen Windtunneln mit Probennahme und analytischer Konzentrationsbestimmung beschrieben und verglichen. Im Anschluß wird ein Anforderungsprofil an Windtunnelsysteme abgeleitet. Mit Hilfe dieses Systemvergleichs sollen in einem späteren Beitrag die Untersuchungen zur Genauigkeit sowie die unterschiedlichen Einflußfaktoren auf die Emission bewertet werden.

Die Windtunnel-Methode eignet sich zu gezielten Untersuchungen spezifischer, variierbarer Einflußfaktoren auf die Ammoniakemission. Ein Parallelbetrieb mehrerer Windtunnel ermöglicht einen relativen Vergleich einzelner Faktoren unter gleichen Umgebungsbedingungen. Ausgehend vom ersten Windtunnel von LOCKYER [1], wurden mehrere Windtunnelsysteme entwickelt. Bislang gibt es in der Literatur noch keine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Systeme. Deshalb wurde am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim eine Umfrage zur Erfassung der verschiedenen Windtunnelsysteme durchgeführt, an der sieben europäische Institutionen [1 bis 7] teilgenommen haben. Die Umfrage gliedert sich in die Abschnitte: Beschreibung der Windtunnelsysteme mit Probennahme und analytischer Konzentrationsbestimmung, Untersuchung der Genauigkeit (Wiederfindung) und verschiedener Einflußfaktoren auf die Höhe der Ammoniakemission sowie eine Bewertung der Einflußfaktoren mit Modellentwicklung. Im folgenden werden die Systeme mit Probennahme und Konzentrationsbestimmung vorgestellt.

Baugruppen der Windtunnel

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Baugruppen der Windtunnel dargestellt. Die

Frau Dipl.-Ing. agr. Petra Reitz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Grundlagen der Landtechnik (Leiter Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach) am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart. Frau cand. agr. Eva Gallmann ist Diplomandin am Lehrstuhl.

Umgebungsluft wird bei den meisten Windtunnelsystemen in einer Höhe von 0 bis 0,5 m horizontal über dem Boden angesaugt. Bei den Systemen [4] und [5] erfolgt die Ansaugung vertikal mit einer Umlenkung des Luftstromes. System [7] verwendet ein 5,5 m hohes senkrechtes Ansaugrohr. Durch die größere Entfernung zur Meßfläche wird weitgehend ammoniakfreie Zuluft in das System eingebracht. Bei den Systemen [4] und [7] dient eine Beruhigungsstrecke mit eingebauten Gleichrichtern zur gleichmäßigen Luftführung über der Meßfläche. In der Regel wird eine Meßfläche von 1 m² verwendet. LOCKYER hat zur Abdeckung der Meßfläche ein Polycarbonathalbrundprofil eingesetzt. Inzwischen werden auch andere Kunststoffe und verzinktes Blech sowie rechteckige Abdeckungen benutzt. Diese Materialien unterscheiden

Tab. 1: Kennwerte verschiedener Windtunnelsysteme

Table 1: Parameter of various wind tunnel systems

Windtunnel	Ansaughöhe	Meßfläche	Abdeckung Meßfläche	Besonderheiten
[1]	0 - 0,55 m horizontal	1,0 m ²	Polycarbonat halbrund	
[2]	0 - 0,3 m horizontal	2,4 m ²	Polycarbonat halbrund	
[3]	0 - 0,45 m horizontal	1,0 m ²	Plexiglas halbrund	
[4]	1 m vertikal	2,0 m ²	Hostafolnfolie rechteckig	Beruhigungsstrecke Mischer
[5]	2 m vertikal	0,3 m ²	verzinktes Blech rechteckig	12 m Ansaugschlauch
[6]	0 - 0,47 m horizontal	1,2 m ²	Kunststoff Glasfaser verstärkt rechteckig	
[7]	5,5 m vertikal	2,0 m ²	Plexiglas Polyethylen rechteckig	Ansaugrohr Beruhigungsstrecke Mischer

sich in ihren Transmissionskoeffizienten für Sonnenstrahlung. Bedingt durch die hohe Luftgeschwindigkeit im Tunnel erfolgt bei transparenten Abdeckungen nur eine geringe Erwärmung und dadurch kaum eine Veränderung des Mikroklimas. Bei allen Tunneln wird die Abdeckung der Meßfläche über Rohrstücke mit einem am Ende des Systems angeordneten Gebläse verbunden. Zusätzlich wird bei den Systemen [4] und [7] die ammoniakbeladene Abluft des Tunnels durchmischt, so daß über dem gesamten Querschnitt des Mixers die gleiche Ammoniakkonzentration vorliegt. Dies sichert die Übertragbarkeit der Ammoniakkonzentration des aliquoten (Teil eines Vielfachen; Anmerkung der Redaktion) Probenluftstromes auf den Hauptluftstrom.

Erfassung der Luftvolumenströme

Die Kernpunkte der Emissionsmessung sind die Bestimmung der Ammoniakkonzentration, eine kontinuierliche Erfassung der Luftvolumenströme und eine repräsentative Probennahme. Hieraus läßt sich die Emission in [mg/m²•h] als Produkt der Ammoniakkonzentration und des Luftvolumenstroms berechnen. Tabelle 2 zeigt die Erfassung der Haupt- und Probenluftströme. Zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeit werden hauptsächlich Flügelradanemometer eingesetzt. Die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit über der Meßfläche beträgt 1 m/s und ist unabhängig von der Außenwindgeschwindigkeit. Bei System [4] kann die Luftgeschwindigkeit im Tunnel über eine Regelung kontinuierlich der Außenwindgeschwindigkeit angepaßt werden. Dies erfordert eine kontinuierliche Erfassung der Luftgeschwindigkeit und eine entsprechende Anpassung des Probenluftstromes. Bei der Mehrzahl der Systeme wird der Hauptluftstrom aus der Windgeschwindigkeit über der Meßfläche und der durchströmten Querschnittsfläche berechnet. Zur Berücksichtigung des Strömungsprofils wird bei System [3] und

[7] eine Kalibrierung des Windtunnels an einer Norm-Blendenstrecke nach DIN 1952 vorgenommen. Dies ermöglicht eine exakte Bestimmung des Hauptluftstromes. System [2] verwendet die Log-Linear-Methode nach VDI 2080. Der Probenluftstrom wird zumeist über Schwebekörperdurchflußmesser eingestellt. Bei System [3] wird der Luftdruck der Umgebung mit erfaßt, so daß die Luftdichte zur Korrektur der Durchflußwerte herangezogen werden kann. System [6] und [7] verwenden kontinuierlich registrierende Massendurchflußmesser, welche den Massenstrom unabhängig von Dichteschwankungen erfassen. In Abhängigkeit von Dauer und Art der Probennahme ergeben sich Probenluftströme von 2 bis 35 l/min.

Wind-tunnel	Meßgerät Luftgeschwindigkeit	Berechnung Hauptluftstrom	Meßgerät und Probenluftstrom	[l/min]
[1]	Flügelrad-anemometer	Luftgeschwindigkeit und Querschnittsfläche	Schwebekörperdurchflußmesser	4
[2]	Flügelrad-anemometer	VDI 2080 Log-Linear-Methode	Passivsammler	3
[3]	Prandtlstaurohr	Kalibrierung DIN 1952	Schwebekörperdurchflußmesser	5
[4]	Flügelrad-anemometer	Luftgeschwindigkeit und Querschnittsfläche	Schwebekörperdurchflußmesser	5
[5]	Hitzdraht-anemometer	Luftgeschwindigkeit und Querschnittsfläche	Schwebekörperdurchflußmesser	21
[6]	Flügelrad-anemometer	Luftgeschwindigkeit und Querschnittsfläche	Massendurchflußmesser	35
[7]	Flügelrad-anemometer	Kalibrierung DIN 1952	Massendurchflußmesser	2

Tab. 2: Erfassung der Haupt- und Probenluftströme

Table 2: Ascertaining of main and of test air flow

Wind-tunnel	Entnahmepunkte/ Probennahme	Säurefalle/ Waschflaschen	Laboranalyse
[1]	18 Entnahmesonde	30 ml H ₃ PO ₄ 1	Flow-Injection-Analyser
[2]	1 Schlauch	Passivsammler 5 parallel	Flow Injection-Analyser
[3]	4 Schlauch	300 ml H ₂ SO ₄ 2 in Serie	Mikrodestillation Titration
[4]	4 Schlauch	100 ml H ₂ SO ₄ 2 parallel	Photometer Indophenolverfahren
[5]	1 Schlauch	100 ml H ₂ BO ₃ 1	Photometer Indophenolverfahren
[6]	3 Schlauch	100 ml H ₂ SO ₄ 1	Photometer Indophenolverfahren
[7]	40 Entnahmesonde	100 ml H ₂ SO ₄ 2 in Serie	Photometer Indophenolverfahren

Tab. 3: Probennahme und Konzentrationsbestimmung

Table 3: Test sampling and determination of concentration

Probennahme und Konzentrationsbestimmung

Nur eine repräsentative Probennahme und eine genaue analytische Konzentrationsbestimmung erlauben eine Emissionsberechnung. Es sollten die Ammoniakkonzentrationen der Zuluft (Hintergrundwert) und Abluft erfaßt werden, damit aus der Konzentrationsdifferenz die emittierte Ammoniakmenge berechnet werden kann. In *Tabelle 3* sind Probennahme und Konzentrationsbestimmung dargestellt. Die Systeme besitzen in der Regel zwei Probennahmestellen zur Erfassung der Ammoniakkonzentration der Zu- und Abluft. System [3] entnimmt nur eine Luftprobe nach der Meßfläche und verwendet zur Bestimmung des Hintergrundwertes einen eigenen Tunnel. Bei System [6] werden die Stickstoffverluste verschiedener Verteilverfahren relativ zwischen den drei Tunnel angegeben, so daß eine Bestimmung des Hintergrundwertes entfällt. Die Systeme weisen je Probennahme 1 bis 40 Entnahmepunkte auf. Die Probenluft wird hauptsächlich über einzelne Schläuche entnommen. Bei System [1] und [7] wird eine mehrgliedrige Entnahmesonde aus Metall verwendet. Hierdurch wird eine gleichmäßige Beprobung des gesamten Tunnelquerschnittes ge-

währleistet. Zur Vermeidung von Kondenswasserbildung sind die Entnahmesonden bei System [7] beheizt. Das Ammoniak wird bei den meisten Systemen naßchemisch in Säurefallen absorbiert, nur System [2] verwendet Passivsammler. Die Waschflaschen enthalten Säuremengen von 30 bis 300 ml. Als Absorptionslösung dienen niedermolare Bor-, Phosphor- oder Schwefelsäure. Die Verwendung von zwei in Serie geschalteten Waschflaschen vermeidet Durchbrüche der N-beladenen Absorptionslösung. System [4] verwendet zwei Waschflaschen parallel zur Doppelbestimmung. Die laboranalytische Konzentrationsbestimmung wird mit Hilfe eines Flow-Injection-Analyser, eines Photometers oder per Mikrodestillation durchgeführt.

Konsequenzen

Aus der Umfrage und den Erfahrungen der beteiligten Institutionen ergibt sich folgendes Anforderungsprofil an einen Windtunnel:

- exakte und kontinuierliche Erfassung der Luftströme
- Bestimmung des Hintergrundwertes
- gleichmäßige Luftströmung über der Meßfläche
- identische Ammoniakkonzentration in der Tunnelabluft und im Probenluft-

strom (Durchmischung und repräsentative Beprobung des Tunnelquerschnittes)

- keine Anlagerung des Ammoniaks an den Bauteilen
 - genaue Analytik zur Konzentrationsbestimmung auch im unteren Meßbereich
- Windtunnelsysteme erlauben eine reproduzierbare Emissionsmessung im Freiland auf begrenzter Fläche mit vertretbarem Aufwand. Ein standardisiertes Windtunnelsystem würde eine vergleichende Bewertung der unterschiedlichen Ergebnisse erleichtern.

Literatur

- [1] Lockyer, D.R.: A system for the measurement in the field of losses of ammonia through volatilisation. *Journal of Science Food and Agriculture*, 35 (1984), p. 837-848.
- [2] Katz, P.: Ammoniakemissionen nach der Gülleanwendung auf Grünland. Dissertation ETH Zürich, Nr. 11382, 1996.
- [3] Huber, J.: Untersuchungen zur Ammoniakverflüchtigung nach Gülledüngung im Windtunnel-Verfahren. Dissertation TU München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, 1994
- [4] Mannheim, T.: Ammoniakemissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen: Quellen und Minderungsmaßnahmen. Dissertation Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung, 1996
- [5] Pass, F.: Ammoniakemissionen nach Gülledüngung auf Grünland. Dissertation Universität Bonn, Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, 1993
- [6] Lorenz, F. und G. Steffens: Gülleinsatz auf Grünland mit unterschiedlichen Verteiltechniken. KTBL-Sonderveröffentlichung, 1996
- [7] Falk, R.: Entwicklung und Einsatz eines Windtunnels zur Messung der Ammoniakemission bei der Ausbringung von Flüssigmist. Dissertation Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Lehrstuhl für Grundlagen der Landtechnik, Forschungsbericht Agrartechnik der MEG-Nr. 248, 1994

Schlüsselwörter

Windtunnel, Ammoniakemission, Flüssigmistausbringung

Keywords

Windtunnel, ammonia emission, slurry application

NEUE BÜCHER

Boxenlaufställe

Der neue FAT-Bericht 488 enthält Angaben bezüglich Baukennzahlen (Volumen, Fläche, Hülle), Bau- und Betriebskosten, Arbeitswirtschaft und Eigenbaumöglichkeiten für Neu- und Umbauten. Bestellungen: FAT-Bibliothek, CH-8356 Tänikon, Tel.: ++(0 52) 3683131, Fax: (052) 3651190; Preis auf Anfrage

Der Trend auch kleinerer Betriebe vom Anbindestall zum Boxenlaufstall ist unverkennbar. Der Laufstall ist ethologisch und arbeitswirtschaftlich vorteilhaft. Das Baukonzept und der Ausbaustandard beeinflussen die Betriebskosten maßgeblich.