

Eberhard Rosenthal, Philipp Lodomez, Wolfgang Büscher und Bernd Diekmann, Bonn

# Einfluss der Abluftgeschwindigkeit auf die Ausbreitung von Aerosolen aus der Tierhaltung

*Um detaillierte und standortspezifische Aussagen über die Aerosolzusatzbelastung des Umfeldes von geplanten Tierhaltungsanlagen treffen zu können, ist eine Immissionsprognostik unumgänglich. Gerade im Bereich von Stallanlagen führt eine hohe Bebauungsdichte und ein häufig stark strukturiertes Gelände zu Problemen. Kann die VDI-Richtlinie 3782 zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung nicht angewendet werden, müssen neue Wege gefunden werden, um eine belastbare Aussage über die zu erwartenden Immissionen im Umfeld der Emissionsquellen zu treffen. Eine dynamische Ausbreitungssimulation, wie sie im Folgenden vorgestellt wird, kann hier offensichtlich einen Beitrag leisten.*

Dipl.-Phys. Eberhard Rosenthal (e-mail: [rosenthal@uni-bonn.de](mailto:rosenthal@uni-bonn.de)) und Dipl.-Phys. Philipp Lodomez sind wissenschaftliche Mitarbeiter, Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn. Dr. Bernd Diekmann ist als Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn, Nussallee 12, 53115 Bonn, im Bereich der Energie und Umweltphysik verantwortlich tätig.

## Schlüsselwörter

Ausbreitungssimulation, Aerosol, Transmission, Immission, Abluftgeschwindigkeit

## Keywords

Dispersion modeling, dust, transmission, immission, exhaust air velocity

## Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08211 über Internet <http://www.landtechnik-net.de/literatur.htm>.

Der Kenntnisstand über die in der Abluft von Tierställen befindlichen Partikel und Gase hat sich in den letzten Jahren stetig verbessert. Neuere Arbeiten beziehen sich nicht mehr ausschließlich auf Jahresmittelwerte, sondern zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahreszeiten auf [1]. Dabei werden nicht nur die eigentlichen Emissionen (Abgase und Aerosole) untersucht, sondern auch stallspezifische Parameter wie Temperatur, Luftfeuchte und Luftvolumenstrom gemessen. Nun gilt es, diese gewonnenen Daten sinnvoll in die Immissionsprognostik zu integrieren, um detaillierte und standortspezifische Vorhersagen treffen zu können.

## Winter / Sommerrate

Der Unterschied zwischen der Sommer- und Winterlufrate tritt besonders bei zwangsgelüfteten Systemen auf, da dort gezielt die Abluftmenge gesteuert werden kann. Entsprechend den Planungswerten für Mast Schweine liegt der Luftvolumenstrom je Tier im Sommer bei 119 m<sup>3</sup>/h. Die korrespondierende Winterlufrate ist mit 14,1 m<sup>3</sup>/h angegeben [2]. Die Lüftungsrate schwankt folglich je nach Witterungssituation um bis zu 88%.

Unter Annahme eines konstanten Kamin-durchmessers ändert sich die Abluftgeschwindigkeit, und damit auch die Geschwindigkeit der in der Abluft befindlichen Aerosolpartikel, je nach Jahreszeit. Des Weiteren sind die im Winter zu erwartenden Abluftgeschwindigkeiten deutlich geringer als die vergleichbaren Geschwindigkeiten in den Sommermonaten.

Allgemein lässt sich sagen, dass eine höhere Abluftgeschwindigkeit eine Überhöhung der Abluffahne zur Folge hat.

Da jedoch das Stallklima einen bedeutenden Einfluss auf Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere hat und somit ein wichtiger Parameter für die Tiergerechtigkeit eines Haltungssystems ist, ist die Abluftgeschwindigkeit als ein durch das Haltungssystem festgelegter Parameter anzusehen.

## Partikel im Abluftstrom

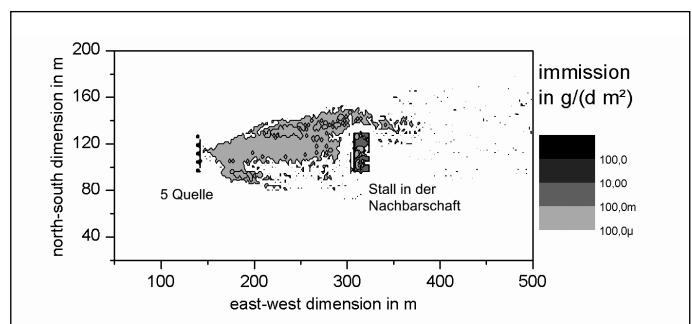
Betrachten werden im Folgenden die Auswirkungen einer mit der Jahreszeit schwankenden Abluftgeschwindigkeit. Es wird zunächst von der vereinfachten Annahme ausgegangen, dass sich die Aerosolpartikel des Abluftstromes mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen wie die Abluft. Ferner sei die Abluftströmung vertikal gerichtet und trifft am Ende des Kamins auf die, durch Windrichtung und Windgeschwindigkeit vorgegebene äußere, horizontal gerichtete Luftströmung. Außerdem vernachlässigen wir den Einfluss des Abluftstromes außerhalb des Kamins. Unter diesen sehr vereinfachten Annahmen kann die Überhöhung, verursacht durch die Trägheit der Partikel, gleich der Stopping-Distance [3] der Partikel gesetzt werden.

$$S = \frac{\rho_p C_c d_p^2 v_0}{18\eta} \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet  $\rho_p$  die Dichte,  $d_p$  den Durchmesser,  $C_c$  die Cunningham-Slip-Korrektur und  $v_0$  die Anfangsgeschwindigkeit des Partikels,  $\eta$  berücksichtigt die Viskosität der Luft.

Bild 1: Simulierte Immission in g/(d m<sup>2</sup>) bei einer vernachlässigbaren Abluftgeschwindigkeit

Fig. 1: Simulated immission in g/(d m<sup>2</sup>) for a negligible exhaust air velocity



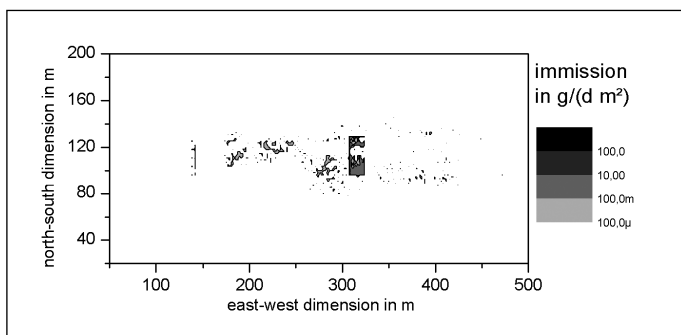


Bild 2: Simulierte Immission in  $g/(d m^2)$  bei einer Abluftgeschwindigkeit von 5 m/s

Fig. 2: Simulated immission in  $g/(d m^2)$  for an exhaust air velocity of 5 m/s

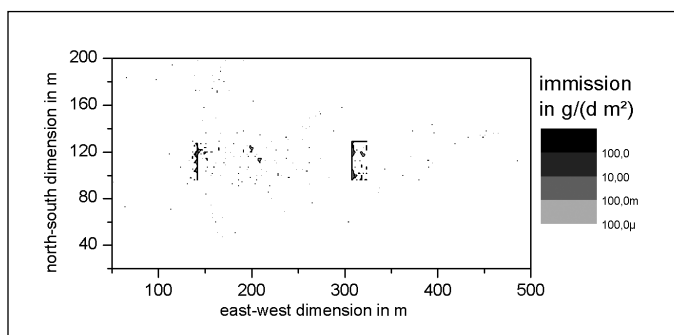


Bild 3: Simulierte Immission in  $g/(d m^2)$  bei einer Abluftgeschwindigkeit im Bereich der maximalen Sommerlufrate

Fig. 3: Simulated immission in  $g/(d m^2)$  for an exhaust air velocity in the range of the maximum summer air rate

Unter Standardannahmen beträgt die Stopping-Distance für einen  $10\mu m$  großen Partikel mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 10 m/s in etwa einen Millimeter. Selbst bei einer exorbitant hohen Abluftgeschwindigkeit von 100 m/s würde sich lediglich eine Überhöhung von 1 cm ergeben. Dieses einfache Beispiel zeigt, dass die Abluftfahnenüberhöhung vor allem durch die Mischung der unterschiedlichen Luftmassen verursacht wird. Die Geschwindigkeit und Trägheit der Aerosolpartikel können nahezu vernachlässigt werden.

Um das Mischungsverhalten der Abluft und somit die Fahnenüberhöhung zu berücksichtigen, existieren zwei gebräuchliche Verfahren.

### Berücksichtigung der Abluftgeschwindigkeit

In dem Ausbreitungsprognoseprogramm Austal2000 findet die Abluftgeschwindigkeit bei der Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung gemäß VDI 3782 Blatt 3 Berücksichtigung [4]. Jedoch muss der Einfluss von höheren Objekten und Geländeunebenheiten auf das Anstiegsverhalten der Abluftfahne vernachlässigt werden können [4]. Besonders im landwirtschaftlichen Bereich, bedingt durch die stark gegliederte Bebauungssituation und geringe Abluftkaminhöhen, wird diese Voraussetzung häufig nicht erfüllt.

Eine alternative Methode zur Beschreibung der Abluftfahne von Stallanlagen stellt die numerische Simulation von strömungsdynamischen Gleichungen dar.

STAR3D (Simulated transmission of aerosols in 3 dimensions) ermöglicht eine solche dynamische Betrachtung des Ausbreitungsverhaltens von Aerosolen. Das Programm basiert auf der am Bonner Institut für angewandte Mathematik entwickelten Software Nast3DGP [5]. Diese löst die inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen in einem frei konfigurierbaren Volumen durch numerische Approximation.

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = \frac{\vec{g}}{Fr} - \nabla p + \frac{1}{Re} \Delta \vec{u} \quad (2)$$

mit  $\vec{u}$  = Windgeschwindigkeit,  $\vec{g}$  = äußere Kräfte,  $p$  = Druck,  $Re$  = Reynoldszahl und  $Fr$  = Froudezahl.

Hierdurch ist es insbesondere möglich, das Windfeld in einem Testvolumen unter Berücksichtigung von Hindernissen (Gebäude, Bäume oder ähnliches) zu berechnen. Ebenso ist es möglich, das Einströmen der Abluft aus den Kaminen des Stalls zu berücksichtigen. Das auf diese Weise simulierte Windgeschwindigkeitsfeld kann dann in STAR3D zur Berechnung der Partikelbahnen gemäß der Gleichung

$$\frac{\partial \vec{x}_p}{\partial t} = \alpha_w \cdot \vec{u} + \lambda \cdot \vec{e} + \vec{v}_{sed} \quad (3)$$

verwendet werden. Hierbei bezeichnen  $\vec{x}_p$  die Partikelposition,  $\alpha_w$  die Kopplung des Partikels an das äußere Windgeschwindigkeitsfeld,  $\vec{u}$  die Windgeschwindigkeit an der Position des Partikels,  $\lambda$  die Diffusionskonstante,  $\vec{e}$  einen Einheitsvektor, der die Richtung der Diffusion angibt und  $\vec{v}_{sed}$  die Sedimentationsgeschwindigkeit des Partikels [6]. Aus der so berechneten Verteilung der Partikel für jeden Zeitschritt kann durch Integration über die gesamte Simulationszeit die Gesamtimmision bestimmt werden.

### Erste Ergebnisse

Für einen ersten Test der Software wurde ein  $500 m \cdot 200 m$  großes Gelände definiert (100 m hoch), auf dem sich quer zur Längsrichtung ein Stall mit fünf Kaminen als Emissionsquelle befindet. Im Abstand von 250 m in Richtung Westen steht ein weiteres Gebäude als Hindernis. Als Windverteilung wurde eine Westwindsituation gewählt, wobei die Windrichtung in einem Fächer von  $15^\circ$  Breite zufällig mäanderte. Die Windgeschwindigkeit betrug 3 m/s und schwankte in einem Intervall von  $\pm 1 m/s$  ebenfalls zufällig. Die emittierte Stoffmenge der Größe  $PM_{10}$  betrug  $0,1 g/s$  pro Kamin, die Größenverteilung der Partikel entsprach der in [1] ermittelten Verteilung. Insgesamt wurden drei vergleichende Simulationen durchgeführt.

Bild 1 zeigt die Partikelimmisionsverteilung bei einer vernachlässigbaren Abluftge-

schwindigkeit. Deutlich ist die in Windrichtung (Westwind) ausgeprägte Immissionsfahne zu erkennen. Besonders im Bereich des als Hindernis benutzten rechten Gebäudes werden die Vorteile einer dynamischen Ausbreitungssimulation (STAR3D) sichtbar, da die Auswirkungen von Turbulenzen detailliert berücksichtigt werden können.

Wird die Abluftgeschwindigkeit erhöht, so wird das Aerosol in höhere Bereiche der äußeren Luftströmung eingetragen. Zum einen werden die Partikel weiter von den Emissionsquellen fort getragen, zum anderen führen Verdünnungsprozesse dazu, dass die Immissionen im direkten Stallumfeld herabgesetzt werden. Bild 2 zeigt die Ergebnisse der Immissionssimulation für eine Abluftgeschwindigkeit von 5 m/s. Im Vergleich zu Bild 1 ist deutlich die Reduzierung der Partikelimmision im Umfeld der Stallanlage zu erkennen.

Wird die Abluftgeschwindigkeit weiter erhöht, steigert sich der Rechenaufwand erheblich, da sich das Simulationsvolumen über den Emissionsquellen, wo die Verwirbelung der Abluft mit der äußeren Luftströmung stattfindet, stark vergrößert. Darüber hinaus kommt es zu einer weiteren Verringerung der Immissionen zwischen den beiden Gebäuden (Bild 3). Ein weiterer Effekt, der bei einer Abluftgeschwindigkeit im Bereich der maximalen Sommerlufrate auftritt, ist der, dass die Partikel die obere Begrenzung des Simulationsvolumens in 100 m Höhe zu erreichen beginnen und damit aus der Simulation entfernt werden.

### Fazit

Die ersten Ergebnisse der Ausbreitungssimulation STAR3D zeigen die Relevanz der Abluftgeschwindigkeit auf das Immissionsgeschehen im direkten Umfeld der Emissionsquelle. Es ist zu erkennen, dass mit steigender Abluftgeschwindigkeit auch eine Verringerung der betrachteten Immissionen einhergeht. Die Ausbreitungssimulation STAR3D hat nach Überprüfung im Praxisversuch das Potenzial die Lücke zu schließen, die durch die Einschränkungen in der VDI-Richtlinie 3782 Blatt3 [4] besteht.