

Karl-Heinz Krause und Stefan Linke

Messung der Ammoniakemission und Bestimmung des Emissionsfaktors in der Tierproduktion

Teil 3: Anwendung des Emissionsmodells DEMAP bei Ausbreitungsrechnungen in freigelüfteten Ställen

Die Administrative verlangt im Rahmen von Immissionsprognosen die Anwendung des Programms AUSTAL2000G. Damit ist der Anwender verpflichtet, an den Schnittstellen zur Dateneingabe auf die Anwendbarkeit der Daten zu achten. Diese Sorgfaltspflicht wird ihm durch staatliche Vorgaben und Regelwerke teils abgenommen. Eine Übertragbarkeit der Daten auf den zu untersuchenden Einzelfall wird hierbei nicht angezweifelt. Damit wird die Landwirtschaft dem Immissionsschutz zugänglich gemacht. Die Emissionserfassung ist im Hinblick auf die Messtechnik sehr komplex. Die Situation verschärft sich im Planungsfall. Wie unterschiedlich Ergebnisse von Ausbreitungsrechnungen sein können, zeigt sich am Beispiel von Boxenlaufställen. Es wird dabei von der regelkonformen Datenübernahme auf der Emissionsseite ausgegangen und anschließend das Emissionsmodell DEMAP eingesetzt.

Schlüsselwörter

Offenstall, Emissionsfaktor, Emissionsdaten, Ausbreitungsrechnung

Keywords

Open stable, emission factor, emission data, dispersion calculation

Abstract

Krause, Karl-Heinz and Linke, Stefan

Measurement of ammonia emission and determination of the emission factor in animal production

Part 3: Comparable use of regulation based emission factors with causal analytical approach of free ventilated stables

Landtechnik 67 (2012), no. 1, pp. 73–76, 7 figures, 5 references

The administration demands in line with immission projection the use of the program AUSTAL2000G. Therewith the user is bound to look for adaptability of the data input at the

data transfer interface. This duty is taken from him by federal demands and similar guidelines, respectively. The portability of data onto the individual case, which has to be analysed, is not questioned. So the users are able to integrate problems of agriculture into immission protection. However, the theme of emission acquisition with regard to the measuring technique turns out to be complex. The situation gets worse in a planning case. How the results of expansion calculation can diverge is shown by the example of box stables with free ventilation. It starts with emission data conform to guidelines, and then the emission model DEMAP is used.

■ Im Teil 1 [1] werden Zeitreihenmessungen von Volumenstrom und Ammoniakkonzentration dazu genutzt, eine allgemeine Übertragungsfunktion für den emittierten Massenstrom an Ammoniak für den zu untersuchenden Stall herzuleiten. Die dabei aufgezeigte Vorgehensweise gilt auch für Geruch und andere Luftinhaltsstoffe aus einem Stall. Die Zeitreihenmessungen erfolgen zunächst in einem zwangsgelüfteten Stall, um die Einflussgrößen zu begrenzen. Die Datenauswertung führt auf ein allgemeines Emissionsmodell DEMAP, aus dem sich ein Emissionsfaktor als mittlerer tiermasse- oder tierplatzbezogener Emissionsmassenstrom für den jeweils interessierenden Luftinhaltsstoff bestimmen lässt.

Bei frei gelüfteten Ställen ist bei der messtechnischen Erfassung der genannten Größen bezüglich Positionierung und Gleichzeitigkeit eine große Unsicherheit. Um die grundsätzlichen Zusammenhänge zu berücksichtigen, wird die Simulationstechnik eingesetzt (siehe Teil 2 [2]), um physikalische Zusammenhänge aufzugreifen. Einen der wichtigsten Zusammenhänge kann man nur über die Simulation erfassen: das Strömungsfeld im Ganzen. Punktuelle Messungen können stützend wirken, vermitteln aber keinen Gesamteindruck. Darüber hinaus muss insbesondere die Dynamik beachtet werden, da mit dem Strömungsfeld auch die Raumzustände fortgeschrieben und entwickelt werden. Wenn gefordert wird, bestimmte Ammoniakkonzentrationen im Stall nicht zu überschreiten, dann bedarf es der räumlichen Sichtweise.

Nachfolgend werden Boxenlaufställe mit einer einfachen Öffnungsstruktur betrachtet. Dabei ist zu konstatieren: Die langgezogenen Öffnungen dienen sowohl als Emissionsquellen als auch als Frischluftsenken; je nach den Druckverhältnissen finden Austauschbewegungen zwischen kontaminierter Stallluft und frischer Außenluft statt. Kennzeichnet α den meteorologischen Windeinfallswinkel ($\alpha = 0^\circ$: Nord, $\alpha = 90^\circ$: Ost usw.) und β den Winkel der Firstachse gegen die Nord-Süd-Richtung (hier $\beta = 355^\circ$) im Uhrzeigersinn, dann kann man mit

$$\gamma = \alpha - \beta \quad (\text{Gl. 1})$$

näherungsweise für den Volumenstrom, der in das Stallsystem eindringt und dieses auch wieder verlässt, über folgende Gleichung ansetzen:

$$\dot{V}_0 = \frac{1}{2} A_F U_H (1 + |\sin \gamma|) \quad (\text{Gl. 2})$$

A_F gibt die wirksame mittlere Öffnungsfläche an. Diese kann, je nach den meteorologischen Verhältnissen, ebenfalls als variabel angenommen werden. Dies wird hier jedoch nicht angenommen. U_H steht für den Horizontalwind in 10 m Höhe über Boden. Gleichung 2 gewährleistet, dass es keinen Nullwert gibt. Als wirksame stallinterne Emissionsfläche A_E wird das Produkt aus Stalllänge und Stallbreite im Innenraum definiert.

Umfeldbelastung durch die Rinderställe

Zwei Boxenlaufställe mit den Emissionsdaten aus **Abbildung 1** sollen errichtet werden. Dazu ist die Ammoniakbelastung in ihrem Umfeld zu berechnen. Nach der Richtlinie VDI 3894 [3] beträgt der Ammoniakemissionsfaktor $f_{e,\text{NH}_3} = 14,6$ kg je Jahr und Tierplatz (T_p). Die Richtlinie (RL) macht zwischen Zwangslüftung und freier Lüftung keinen Unterschied. Daraus ergeben sich Emissionsmassenströme von 0,47 g/s und 0,094 g/s.

Weitere Randbedingungen

In der Kausalitätskette von der Emission über die Transmission zur Immission gehören die meteorologischen und topografischen Randbedingungen zu denjenigen, die nach der Stofffreisetzung den größten Einfluss auf die Ausbreitung haben. In

Abb. 1

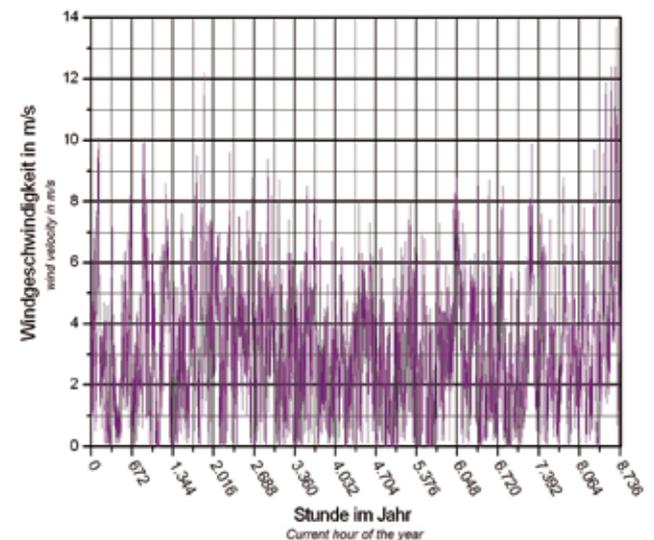
| Stall 2 - Stable 2 | Quelle 1 - source 1 |
|--|-------------------------------------|
| Quelle 2 - source 2 | Quelle 1 - source 1 |
| 240 GV - 200 Tp | 1.200 GV - 1.000 Tp |
| Länge (length) = 110 m | 1.200 GV - 1.000 Tp |
| Breite (width) = 35 m | Länge (length) = 225 m |
| Firsthöhe (ceiling height) = 10,8 | Breite (width) = 35 m |
| NH3-Faktor (NH3-factor) 14,57 kg/(Jahr Tp) | Firsthöhe (ceiling height) = 10,8 m |
| NH3-Massenstrom = 0,094 g/s | NH3-Massenstrom = 0,47 g/s |
| NH3-mass flow = 0,094 g/s | NH3-mass flow = 0,47 g/s |



Das quadratische Untersuchungsareal hat eine Kantenlänge von 1.200 m. Zwei Boxenlaufställe sind geplant. Sie weichen um 5° nach Westen aus der Nord-Süd-Richtung ab, d. h. $\beta = 355^\circ$. Sie werden als Volumenquellen in ihrem Emissionsverhalten mit dem Programm AUSTAL2000G simuliert. Massenströme gemäß VDI 3884, 1

Fig. 1 The quadratic area shows an edge length of 1,200 m. Two box stables are planned. They differ by 5° to west from the north-south direction, that means $\beta = 355^\circ$. The emission of these stables are simulated as volume sources by the program AUSTAL2000G. Mass flow according to VDI 3894, 1

Abb. 2



Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der laufenden Stunde in dem Jahr, das für den gewählten Standort repräsentativ ist. Dateien solcher Art werden vom Deutschen Wetterdienst erstellt

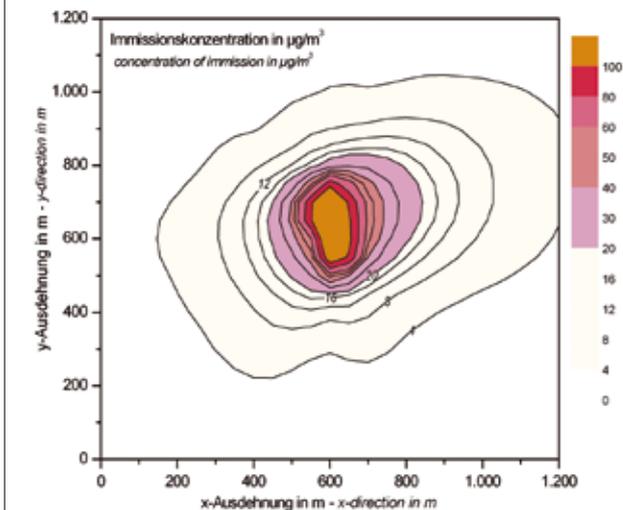
Fig. 2: Wind velocity as a function of the current hour of that year that is representative for the selected site. Such data files are produced by Deutscher Wetterdienst (German Weather Service)

Abbildung 2 und **3** ist die Windgeschwindigkeit und -richtung am gewählten Standort für den Stallneubau im stündlichen Auftreten für ein repräsentatives Jahr dargestellt. Auf die Zeitreihendarstellung der Windrichtungs- und der Ausbreitungsklassen wurde verzichtet. Die Topografie ist irrelevant für die Rechenbeispiele, die ausschließlich auf die unterschiedlichen Emissionen abheben.

Ergebnis mit dem Emissionsfaktor gemäß RL

Mit der Anwendung der Richtlinie VDI 3894,1 ist unterstellt, dass der Emissionsfaktor bei den Boxenlaufställen unabhängig von den meteorologischen Einflüssen ist (**Abbildung 3**).

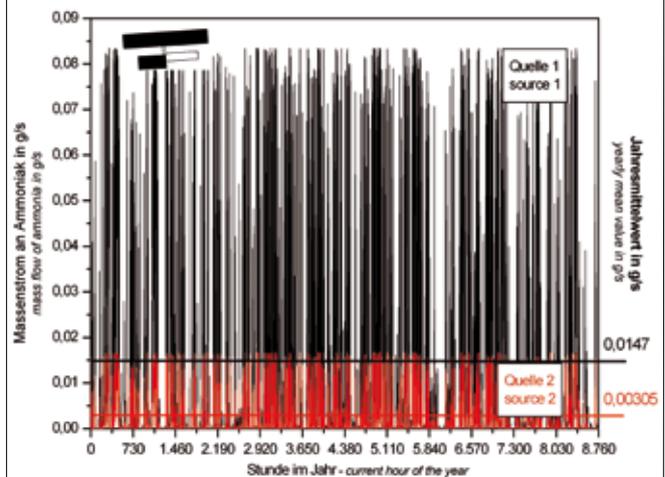
Abb. 3



Isolinien-Darstellung der Ammoniakkonzentration. Entsprechend der Windhäufigkeit reicht die Ausdehnung nach Nordosten weiter als nach Südwesten.

Fig. 3: Isolines presentation of ammonia concentration. According to the wind frequency the expansion expand further to north-east than to south-west.

Abb. 4



Emissionsmassenstrom als Funktion der Zeit. Angegeben sind die stündlichen Werte im Verlaufe eines Jahres für die beiden Boxenlaufställe nach Abbildung 1 bei $\beta = 355^\circ$

Fig. 4: Emission mass flow as function of time. Specified are the hourly values during one year of the two box stables of figure 1 at $\beta = 355^\circ$

Anwendung des Emissionsmodells DEMAP

Das Modell DEMAP geht von einem anderen Ansatz aus. Der Emissionsmassenstrom folgt aus der Beziehung [2]

$$\dot{M}_0 = M_T N \exp(A + B X) \quad (\text{Gl. 3})$$

mit M_T als Tiermasse und

$$X = \frac{N}{K} \quad (\text{Gl.4})$$

als Verhältnis aus der Luftwechsel- und Produktionsrate. Für den Rinderstall gilt pauschal für NH_3 $A = -14,30961$ und $B = -0,13444$ [2]. Die meteorologischen Daten liefern für jede Kombination der klassierten Geschwindigkeiten und Windeinfallrichtungen die dazugehörige Häufigkeit ihres Auftretens. **Abbildung 4** und **5** zeigen die Emissionsmassenströme für NH_3 als Zeitreihe im Jahresverlauf bei unterschiedlicher Ausrichtung der Firstachse.

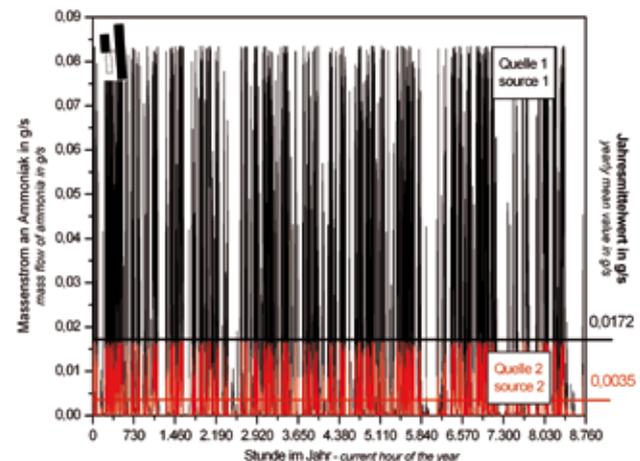
Ergebnisse mit Emissionsfaktoren nach DEMAP

Mit den genannten Daten ergeben sich auch unterschiedliche Verläufe der Isolinien (**Abbildung 6** und **7**). Hier wird die Abhängigkeit von der Firstausrichtung deutlich. Ein konstanter Emissionsfaktor wird einer solchen Ausrichtungskonfiguration nicht gerecht.

Schlussfolgerungen

Das Modell DEMAP bestätigt die Abhängigkeit der Emission von der Windgeschwindigkeit und der -richtung. Dies führt dazu, dass die Emissionen und damit auch Immissionen bei

Abb. 5

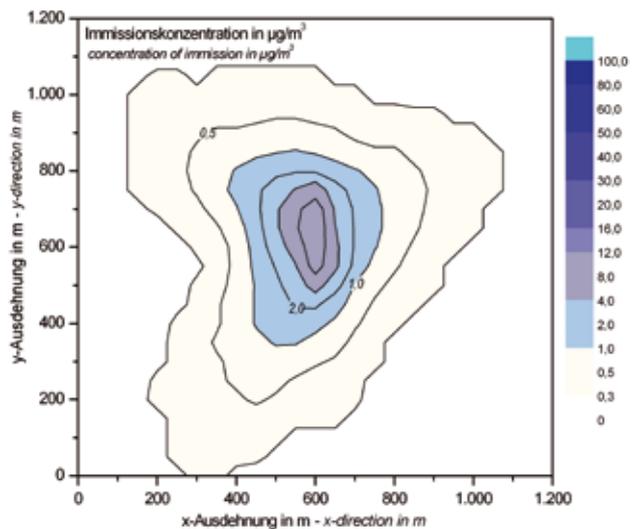


Emissionsmassenstrom als Funktion der Zeit. Angegeben sind die stündlichen Werte im Verlaufe eines Jahres für die beiden Boxenlaufställe nach Abbildung 1 bei $\beta = 265^\circ$

Fig. 5: Emission mass flow as function of time. Specified are the hourly values during one year of the two box stables of figure 1 at $\beta = 265^\circ$

Berücksichtigung der meteorologischen Daten von der Stalllage abhängen. Wenn konkurrierende Nutzungen von Arealen auftreten, sind solche Auswirkungen entscheidend für weitere Maßnahmen der Emissionsgestaltung. Mit dem Modell DEMAP werden die Emissionen aus einem Stall summarisch angegeben. Emissionsangaben, die jede einzelne Öffnungen charakterisieren, sind nur mithilfe der dreidimensionalen Simulationstechnik möglich.

Abb. 6



Isolinien-Darstellung der Ammoniakkonzentration bei $\beta = 355^\circ$

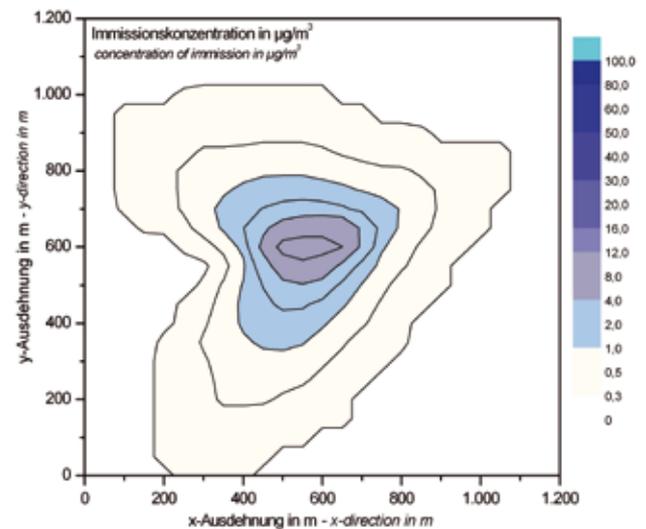
Fig. 6: Display of contour lines of ammonia concentration at $\beta = 355^\circ$

Nach der RL VDI 3894, 1 beträgt der Emissionsmassenstrom für den langen Stall 1 für NH_3 0,47 g/s, nach DEMAP bei Nord-Süd-Ausrichtung 0,0172 g/s und bei Ost-West-Ausrichtung 0,0147 g/s. Die Unterschiede sind sehr groß. Unterstellt man zur Plausibilitätsbetrachtung, dass Stall 1 bei einer Länge von 225 m und einer Breite von 35 m eine Bodenkonzentration von 10 mg/m³ aufweist und NH_3 sich mit einer Geschwindigkeit von 0,001 m/s vom Boden nach oben bewegt, dann kommt man auf einen Emissionsmassenstrom von 78,75 mg/s bzw. 0,0079 g/s. Dies liegt in der Größenordnung der Berechnungen mit dem Modell DEMAP. Nimmt man eine Bodenkonzentration von 500 mg/m³ an, erreicht man einen Emissionsmassenstrom von 0,4 g/s. Wird dagegen eine Bodenkonzentration von 10 mg/m³ angenommen, müsste die Austrittsgeschwindigkeit (turbulente Diffusionsgeschwindigkeit) etwa 0,05 m/s betragen. Das aber würde Ammoniak in einen messbaren Geschwindigkeitsbereich bringen. Daher erscheinen beide Begründungen für den Richtlinienansatz aus physikalischer Sicht nicht plausibel.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Detailkenntnisse (z. B. Stoffübergangsverhalten) unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Simulation sind. Allein mithilfe der Messtechnik ist es nicht möglich, komplexe Strömungsabläufe in Stallbauten mit großen Emissionsflächen zu erfassen. Dies gilt erst recht für den Transport von Stoffen, die aus dem Stall in die Umwelt gelangen.

Da das Programm AUSTAL2000G rechnerisch die Emissionsseite über die Transmission mit der Immissionsseite verknüpft, aber keine Emissionsmassenströme ermittelt, sondern diese nur von Hand eingeben werden, müssen geeignete Ersatzmodellen für die Emissionen aus der Landwirtschaft geschaffen werden. Sollte das nur bedingt möglich sein, da diese zu trivial sind, dann sollte auf das probate Mittel der Simulation

Abb. 7



Isolinien-Darstellung der Ammoniakkonzentration bei $\beta = 265^\circ$

Fig. 7: Display of contour lines of ammonia concentration at $\beta = 265^\circ$

zurückgegriffen werden. Damit können sogar komplexe Stallsysteme unter dem Aspekt der Tiergesundheit, des Umweltschutzes und der Energieeinsparung [5] entwickelt werden.

Wie der Vergleich der Ammoniakimmissionen zeigt, besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den Ergebnissen berechnet nach VDI-Richtlinie und solchen über Modelle. Dies muss jedoch sicherlich nicht immer der Fall sein. Jedoch sollten Regelwerke eine Kausalität in ihrer Datenpräsentation aufweisen.

Literatur

- [1] K.-H. Krause, T. Hinz, S. Linke (2011): Messung der Ammoniakemission und Bestimmung des Emissionsfaktors in der Tierproduktion Teil 1: Legehennenstall als Beispiel eines zwangsgelüfteten Systems. Landtechnik (66)5, S. 337-341
- [2] K.-H. Krause, T. Hinz, S. Linke, S. Retz (2011): Messung der Ammoniakemission und Bestimmung des Emissionsfaktors in der Tierproduktion Teil 2: Geplanter Boxenlaufstall als Beispiel eines frei gelüfteten Systems. Landtechnik 66(6), S. 473-476
- [3] VDI 3894, Blatt 1 (2009): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Haltungsverfahren und Emissionen. Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Beuth Verlag, Berlin
- [4] Ing.-Büro Janicke: AUSTAL2000, Programmbeschreibung zu Version 2.4, Stand 2009-01-31. Stoffe nach TA Luft im Auftrag von: Umweltbundesamt Berlin, Geruchsausbreitung im Auftrag von Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim, Landesumweltamt NRW, Essen
- [5] K.-H. Krause, S. Linke, H.-J. Müller, M. Mußlick (2010): Mit intelligenter Lüftung gehen Tiergesundheit, Umweltschutz und Energieeinsparung zusammen. Landtechnik (65)1, S. 15-19

Autoren

Dr.-Ing. Karl-Heinz Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik im von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: karlheinz.krause@vti.bund.de,

Stefan Linke ist technischer Mitarbeiter am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik im von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: stefan.linke@vti.bund.de.