

Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder,
Institut für Biosystemtechnik

Grundl. Landtechnik Bd. 38 (1988) Nr. 1, S. 1 bis 36

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Behandlung von Transport und Ausbreitung gasförmiger luftfremder Stoffe in der Umgebung von Tierhaltungen

Von Karl-Heinz Krause, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

Professor Dr.-Ing. Wilhelm Batel zum 65. Geburtstag

DK 631.22:614.718

Durch Transport und Ausbreitung kommt es im Umfeld von Tierhaltungen zu Immissionen von Geruchsstoffen. Die einschlägigen Regelwerke zur Vermeidung von Geruchsstoffimmissionen beschränken sich auf die Angabe von Mindestabständen zwischen Tierhaltung und Wohnbebauung. Immissionsituationen im gegebenen Einzelfall lassen sich damit nicht erfassen. Dieses wird möglich durch eine Ausbreitungssimulation, die die Häufigkeit der Geruchswahrnehmungen bei Begehungen berücksichtigt. Die Ausbreitungssimulation fußt auf empirischen Ansätzen zur Beschreibung von Fluktuationen.

1. Forderung nach Immissionsprognosen im Umfeld landwirtschaftlicher Emittenten

Geruchsstoffimmissionen aus der Tierhaltung führen immer häufiger zu Konfliktfällen mit der Nachbarschaft, die sich belästigt fühlt. Es stellt sich die Aufgabe, die Immissionsituation zu erfassen, um eine objektive Beurteilung zu ermöglichen und gegebenenfalls unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit Maßnahmen zur Minderung der Immissionen einzuleiten.

Bei geruchsintensiven Luftverunreinigungen kann die Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen im Umfeld eines Emittenten prinzipiell nach denselben Methoden vorgenommen werden, wie sie bei der Verfolgung anderer gasförmiger luftfremder Stoffe Anwendung finden; denn alle Ausbreitungsvorgänge entwickeln sich nach der Kausalitätskette

Emission – Transmission – Immission ,

wobei die entscheidenden Unterschiede von Fall zu Fall in den Randbedingungen liegen. Diese drücken sich vornehmlich in der wechselnden Topographie aus.

*) Dr.-Ing. K.-H. Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Biosystemtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel), ehemals Institut für landtechnische Grundlagenforschung, der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Emissionen aus landwirtschaftlichen Quellen erfolgen im bodennahen Bereich. Die Quellen der Tierhaltung – bei Zwangsentlüftung die Abluftschächte, bei unkontrollierter Emission freie Austauschflächen zwischen Stall und Umwelt – befinden sich zwangsläufig in unmittelbarer Gebäudenähe. Gebäudeumströmungen kennzeichnen somit den Beginn des Transmissionsbereiches. Dieser endet immissionsseitig dort, wo mit der Inhalation eine mögliche Belästigung einsetzt. Auch kurzzeitige Geruchsstoffeinträge, die das turbulente Ausbreitungsgeschehen repräsentieren, werden von der menschlichen Nase registriert, so daß Angaben über zeitlich gemittelte Stoffeinträge über die Immissionsituation wenig aussagen. Das für quellferne Immissionsbereiche bei hohen Emissionsquellen entwickelte analytische Instrumentarium der Immissionsprognostik, das sich für Mittelwertuntersuchungen bewährt hat, muß für den Quellennahbereich von Tierhaltungen mit Blick auf kurzzeitige Stoffeinträge modifiziert werden.

Emitteert wird ein Geruchsstoffstrom, der sich bei kontrollierten Emissionsbedingungen durch das Produkt von Quellenkonzentration und Abluftvolumenstrom beschreiben läßt. Der Abluftvolumenstrom ist meßtechnisch direkt zu erfassen. Prinzipiell gemessen werden kann auch die chemische Zusammensetzung der Stallabluft [1] und die Konzentration der Einzelkomponenten in dem Trägermedium Luft bei definierter Luftfeuchte und -temperatur. Über eine Wichtung der zur Geruchsempfindung beitragenden Geruchsstoffkomponenten läßt sich auf den sensorisch wahrnehmbaren Geruch schließen [2].

Kurzzeitige Stoffeinträge als Immission im Quellenumfeld sind allerdings meßtechnisch noch nicht erfassbar. Wären derartige Sensoren für Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Buttersäure, um nur einige beteiligte Stoffe zu nennen, verfügbar, ergäbe sich das Problem der "Mustererkennung" als Geruch in den möglichen unterschiedlichen Mischungszusammensetzungen und damit die Frage: welche Muster bewirken welche hedonischen Wirkungen?

Eine analog zum Geruchssinn arbeitende Meßtechnik, die das sensorische System unseres Geruchsorgans nachempfunden ist, bislang nicht gegeben. Eine Differenzierung nach Geruchsintensität, Qualität und Lästigkeit [3] ist meßtechnisch nicht möglich. Möglich ist allein die Beantwortung der Frage, bei welchen Geruchsstoff-

konzentrationen Geruch überhaupt wahrgenommen wird, ohne daß die Art des Geruchs näher bestimmt werden muß. Die hierfür entwickelten olfaktometrischen Techniken benutzen den Geruchssinn des Menschen als Detektor, indem durch Verdünnen von Geruchsstoffproben der Faktor ermittelt wird, bei dem die Hälfte eines Probandenteams gerade noch Geruch wahrnimmt [4].

Mit der Olfaktometrie läßt sich aber lediglich eine hinreichend hohe Quellenkonzentration C_0 verlässlich bestimmen. Sie kann als Vielfaches Z desjenigen Konzentrationswertes C_s angegeben werden, bei dem erstmalig eine Geruchsempfindung auftritt. Diese als Geruchswahrnehmungsschwelle bezeichnete Konzentration, gekennzeichnet durch den Index "s", liegt definitionsgemäß bei 1 GE/m^3 , wobei GE für Geruchseinheit steht:

$$C_0 = Z C_s \quad \text{mit } C_s = 1 \text{ GE/m}^3 \quad (1).$$

Die Geruchsstoffkonzentration C im Quellenumfeld einer Tierhaltung ergibt sich aus der Quellenkonzentration C_0 und der Verdünnung D aufgrund von Ausbreitungsvorgängen,

$$C = C_0 D \quad (2).$$

Die Verdünnung wird bewirkt durch die Vermischung von Stallluft mit unbelasteter Luft auf dem Transmissionsweg. Geruchsstoffe werden von ihren Emissionsorten mit dem Wind in die Umwelt getragen. Im Idealfall eines senkrechten Überfirstabluftaustritts ist das Strömungsgeschehen durch einen Freistrahlfeld im Querwind zu charakterisieren. Inhomogene horizontale und vertikale Windfelder bewirken mit ihren Wirbelfeldern eine Durchmischung des Abluftstrahles mit der Umgebungsluft.

Bleibt man in dem Erklärungsmodell der Wirbelfelder [5] für das turbulente Strömungsgeschehen, so ist die Größenordnung der Wirbel in der atmosphärischen Strömung von erheblichem Einfluß auf die Ausbreitung luftfremder Stoffe, die vom Wirbelstrom durch Advektion mitgerissen und durch Diffusion verteilt werden. Wirbel können nicht im Inneren eines reibungsbehafteten Fluids von selbst entstehen, sondern nur am Rande eines Strömungsgebietes, z.B. wie angeführt an den Rändern eines Abluftstrahles oder auch bei Gebäudeumströmungen an den sog. Abrißkanten. Dieser mechanisch erzeugten Kleinturbulenz ist die atmosphärische großräumige Turbulenz überlagert, die durch Temperaturgradienten zu weiteren Auf- und Abtriebsbewegungen Anlaß gibt. Durch die Größe der dabei auftretenden Turbulenzballen kann es bisweilen zu einem "Mitschwingen - Meandern" [6] der gesamten Abluftfahne kommen, ohne daß ein intensiver Konzentrationsabbau zu beobachten ist. Andererseits vermögen kleine Turbulenzballen die Geruchsfähne sehr schnell aufzulösen. Die großräumige Turbulenz ist im Wechselspiel mit verschiedenen meteorologischen Parametern zu sehen, die sich in den turbulenten Diffusionskoeffizienten für die Ausbreitungsklassen AK und verschiedenen Windfallwinkel α dokumentieren. Die Verdünnung D läßt sich unter vereinfachenden Annahmen als Funktion der mittleren Windgeschwindigkeit U , der Windrichtung α und der Ausbreitungsklasse AK darstellen:

$$D = D(U, \alpha, AK) \quad (3).$$

Die Simulation von Geruchsstoffausbreitungen verlangt mit der Abhandlung der allgemeinen Erhaltungssätze von Masse, Impuls und Energie insbesondere eine Abschätzung der turbulenten Plausibilitätsannahmen über das Fluktuationsverhalten, also z.B. die Abweichungen c' vom Mittelwert der Geruchsstoffkonzentration C ,

$$c = C + c' \quad \text{mit } C = (1/\Delta T) \int c \, dt \quad (4);$$

entsprechendes gilt für die Geschwindigkeitskomponenten des Windfeldes während der Mittelungszeit ΔT .

Das Aufteilen der Momentanwerte in Mittelwerte und Schwankungsanteile führt dazu, für das ursprünglich exakt bestimmte Differentialgleichungssystem von Erhaltungssätzen nunmehr Schlie-

ßungshypothesen über die unbekanntenen Fluktuationsterme finden zu müssen. Als Fluktuationshypothese wird hier diejenige herangezogen, die für die Überschreitungswahrscheinlichkeit von Mittelwerten eine logarithmische Normalverteilung postuliert. Bei Begehungen im Umfeld einer Tierhaltung drückt sich diese Überschreitungswahrscheinlichkeit in der Wahrnehmungshäufigkeit H von Gerüchen aus. Die Forderung der kommunalen Aufsichtsbehörden, daß von einem Tierhaltungsbetrieb keine erheblichen Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft ausgehen, bedeutet in dieser Sicht, daß die Häufigkeit bzw. das Zeitmaß der Geruchswahrnehmung einen bestimmten Wert nicht überschreiten darf. Wie hoch dieser Wert anzusetzen ist, ergibt sich aus Grundsätzen der Verwaltungspraxis und Rechtsprechung.

2. Mindestabstände zwischen Tierhaltung und Wohnbebauung

2.1 VDI-Richtlinien

Die VDI-Richtlinien 3471 und 3472 [7, 8] sind bislang die einzigen Regelwerke, die sich dieser Problematik angenommen haben. Sie empfehlen Distanz zwischen Quelle und Immissionsort, sprich Wohnbebauung. Diese Empfehlungen basieren auf zahlreichen Einzeluntersuchungen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen und sonstiger Kompromisse sind die in den VDI-Richtlinien angegebenen Kurven für den Mindestabstand. Sie besagen, daß der Abstand zur Wohnbebauung prinzipiell mit der dritten Wurzel des Tierbesatzes m_T zunehmen soll, der in Großvieheinheiten (GV) angegeben wird, was mit $1 \text{ GV} = 500 \text{ kg}$ Lebendgewicht eine Masseangabe darstellt. Ein zusätzlicher Proportionalitätsfaktor berücksichtigt die Stallsituation im Einzelfall. Damit ist der Mindestabstand zur Wohnbebauung festgelegt.

Die VDI-Abstandskurven sind das Resultat einer mit Sicherheitszuschlägen bedachten Auswertung von ca. 600 Einzelbeurteilungen an bestehenden Stallungen [9]. Dabei sind die unterschiedlichsten Quellenkonfigurationen eingeflossen, unterschiedlichste Auslaßorte, Auslaßhöhen und Auslaßraten für die Abluft, unterschiedlichste Transmissionsbedingungen in Form von Gebäudeanordnungen und Klimazuständen. Die so ermittelten Abstandskurven sind demnach "bewährte" Muster, die auf den Einzelfall nur im Hinblick auf die betriebsspezifischen Eigenschaften der Quellen Bezug nehmen. Dies drückt sich in einem Punktesystem aus, d.h. die Ausstattung des Betriebes geht in eine Punktbewertung, hier mit B bezeichnet, ein. Bei optimaler Stallauslegung sind 100 Punkte zu vergeben. Die in der VDI-Richtlinie 3471 dargestellten Abstandskurven lassen sich für den Grenzabstand r_{Grenz} um Schweinehaltungen in Abhängigkeit vom Tierbesatz m_T wiedergeben durch die empirische Beziehung

$$r_{\text{Grenz}} = a(B) m_T^{b(B)} \quad (5)$$

mit

$$a(B) = a_0 + a_1 B + a_2 B^2 \quad (6)$$

und

$$b(B) = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 \quad (7).$$

Die Ausgleichsrechnung liefert für die vorstehenden Koeffizienten die Werte:

$$\begin{aligned} a_0 &= 103,027 & b_0 &= 0,307, \\ a_1 &= -0,6963, & b_1 &= 0,00051, \\ a_2 &= 0,00153, & b_2 &= -0,000002. \end{aligned}$$

Für den Grenzabstand r_{Grenz} um Hühnerhaltungsbetriebe gelten die Koeffizienten:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 134,3505, & b_0 &= 0,26353, \\
 a_1 &= -1,3979, & b_1 &= 0,00182115, \\
 a_2 &= 0,006847, & b_2 &= -0,000012968.
 \end{aligned}$$

Während die Diagramme in den beiden Richtlinien nur Abstandskurven für 25, 50, 75 und 100 Punkte aufweisen, ist mit Gl. (5) eine Berechnung für jede sich ergebende Punktezahl möglich. Die Fehler der hier vorgeschlagenen Algorithmen gegenüber den Kurvenverläufen in den Richtlinien sind am größten im Bereich zwischen 40 und 70 GV bei der Hühnerhaltung, wo der größte relative Fehler 3,2 % bei der 75-Punkte-Kurve beträgt. Ansonsten liegt der Fehler unter 1 %. Die durch Gl. (5) bedingten Fehler dürften für Punkte-Bewertungen, die nicht durch die Kurvenverläufe gegeben sind, insgesamt kleiner als diejenigen sein, die sich über eine graphische Interpolation aus den Abstandsdiagrammen ergeben, ganz abgesehen von der Diskussion über die Kreismittelpunktslage für r_{Grenz} .

2.2 TA-Luft [10]

In der TA-Luft werden Schweine- und Geflügelhaltungen einer gemeinsamen Mindestabstandskurve unterworfen, obschon die auf Erfahrungen basierenden Regelungen der VDI-Richtlinien etwas anderes aussagen. Hier ist eine politische Entscheidung getroffen worden:

$$r_{\text{Grenz}} = a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + a_3 p^3 \quad (8)$$

p steht in Gl. (8) für Sauenplätze. Für die Koeffizienten a_i , $i = 0, \dots, 3$, findet man:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 152,671, \\
 a_1 &= 0,31639, \\
 a_2 &= -0,000128, \\
 a_3 &= 0,000000023.
 \end{aligned}$$

Bezüglich der Äquivalenz der Tierplätze gelten folgende Beziehungen nach TA-Luft:

$$1 \text{ Sauenplatz} \hat{=} 80 \text{ Hennenplätze} \quad (9)$$

$$1 \text{ Sauenplatz} \hat{=} 3 \text{ Mastschweineplätze} \quad (10)$$

$$1 \text{ Hennenplatz} \hat{=} 2 \text{ Mastgeflügel-/Junghennenplätze} \quad (11)$$

Bei Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Geflügel gilt der Mindestabstand nicht nur zur Wohnbebauung hin, sondern auch zum Wald.

2.3 Anwendung der Richtlinien, Beispiel Schweinemast

Nach Gl. (5) ist der Mindestabstand r_{Grenz} von der Punktebewertung B der Stallverhältnisse und dem Tierbesatz m_T abhängig. Nach dem Prinzip der Fehlerüberlagerung lassen sich Fehler ΔB und Δm_T in den Einschätzungen von B und m_T über den relativen Fehler

$$\Delta r_{\text{Grenz}}/r_{\text{Grenz}} = E_B \Delta B + E_m \Delta m_T \quad (12)$$

ausdrücken; die Fehlerübertragungsfunktionen E_B und E_m sind in Bild 1 und 2 dargestellt.

Läßt sich im allgemeinen der Tierbesatz m_T noch relativ genau tazieren und gegebenenfalls über eine Waage sogar messen, so schafft die Punkteeinschätzung B genügend Spielraum für Streitigkeiten. Dieses sei an einer Situation aufgezeigt, wie sie sich des öfteren den Genehmigungsbehörden bei Nutzungsänderungs- und Bauanträgen zur Schweinemast stellt. Eine Tierhaltung weise 50 GV aus. Die Stallbewertung schwankt zwischen 50 und 60 Punkten. Ausgehend von der höheren Punktezahl beläuft sich nach Bild 1, der Tierbesatz steht als Parameter an den Kurven, der relative Fehler

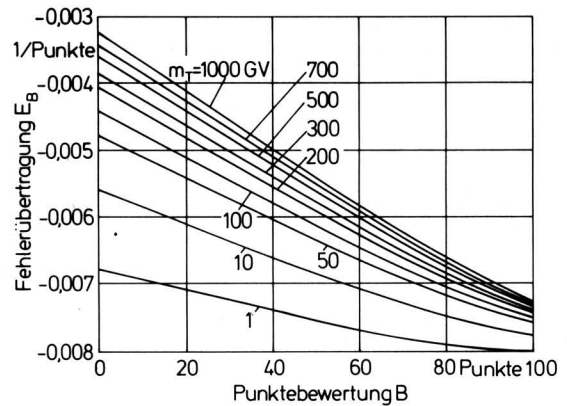


Bild 1. Übertragungskoeffizient für Fehler bei der Punktebewertung einer Tierhaltung hinsichtlich der Geruchstoffemission.

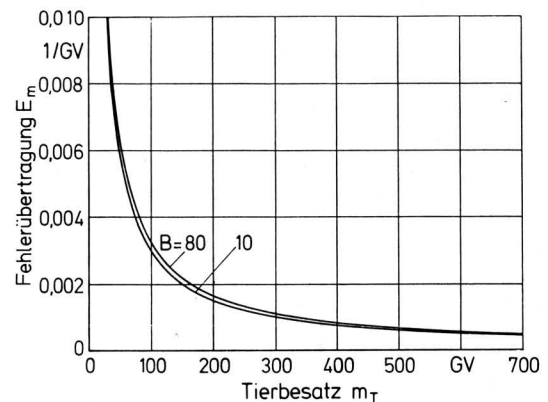


Bild 2. Übertragungskoeffizient für Fehler bei der Bestimmung des Tierbesatzes als Ursache der Geruchstoffemission.

E_B pro Punkt auf $-0,0066$. Eine Fehleinschätzung ΔB von 10 Punkten führt demnach auf einen relativen Fehler von 6,6 % in der Abstandsbemessung. Bei 243 m Mindestabstand für einen mit 60 Punkten bewerteten Stall zur Wohnbebauung macht eine Reduktion um 10 Punkte in der Bewertung ein Hinausschieben des Abstandes um 16 m aus.

Wäre der Tierbestand von 50 auf 60 GV angestiegen, so läge der relative Fehler mit der Fehlerübertragung E_m nach Bild 2 in derselben Größenordnung. Eine Fehleinschätzung Δm_T um 10 GV ist hier in der Praxis aber schon recht unwahrscheinlich. Ein Vergleich der Bilder 1 und 2 macht deutlich, daß Fehleinschätzungen in der Punktebewertung eines Stalles zu größeren Fehlern führen als die durch Umrechnungen bedingten falschen GV-Angaben. Eine Differenz von 15 Punkten tut sich nach der VDI-Richtlinie 3471 bereits auf, wenn die Abluftaustrittsgeschwindigkeit von 12 auf 7 m/s sinkt; 20 Punkte können auch für Standorteinflüsse in Rechnung gebracht werden. Es ist von daher anzunehmen, daß Differenzen in der Größenordnung von 20 Punkten und mehr häufiger auftreten können; d.h. die fehlerhafte Punktebewertung führt mindestens auf einen relativen Fehler von 15 %.

Das Problem sich überlagernder Geruchslasten ist mit diesen Abstands-konventionen nicht lösbar. In Immissionsgebieten auftretende Geruchslasten aus unterschiedlichen Quellen können nicht getrennt bewertet werden. Geruchstoffemittierende Quellen, die einen Abstand von unter 50 m voneinander aufweisen, werden durch die Bildung eines "Emissionsschwerpunktes" in eine einzige Geruchstoffquelle überführt [11]. Die Frage der Punktebewertung bleibt dabei völlig offen.

Die VDI-Richtlinien stellen nahezu einen starren Zusammenhang zwischen Emission und Immission her. Die Transmission, die angibt, wie sich die Emissionswerte bis hin zur Immissionsseite verändern, ist danach unter Berücksichtigung der Standorteinflüsse über die Punktbewertung eine Konstante. Dieses ist sicherlich eine sehr grobe Näherung für die physikalische Beschreibung des Ausbreitungsgeschehens luftfremder Stoffe. Sie berücksichtigt bevorzugt die Emissionsseite, was auch in der Rechtsprechung so gesehen wird [12].

Das Ausbreitungsmodell in der TA-Luft geht einen Schritt weiter. Es erfaßt die Transmission D nach Gl. (3) in Form des sog. Gauß-Modells. Die lokalen Gegebenheiten werden über lokale Windstatistiken eingebracht, die sich meist auf die vorhandenen Meßstationen des Deutschen Wetterdienstes beziehen müssen. Man kommt per Rechnung zu über eine halbe Stunde zeitgemittelten Stoffeinträgen im Umfeld von Emittenten. Die Ermittlung von Geruchsstoffimmissionen verlangt aber eine wesentlich höhere zeitliche Auflösung.

3. Quantifizierung von Geruchsstoffimmissionen

Immissionen von Geruchsstoffen werden als mehr oder weniger belästigend empfunden. Es ist daher zu fragen, wann von Belästigung gesprochen werden kann. Belästigung bezeichnet durch Stören bedingtes Unangenehmwerden. Bei ausreichender Konzentration bewirken Geruchsstoffe einen Reiz des Geruchssinns und verursachen somit eine als Geruch bezeichnete Empfindung [13]. Unter Geruch wird "die charakteristische Art" verstanden, "in der ein Stoff durch den Geruchssinn wahrgenommen wird" [14]. Diese Wahrnehmung ist quasi das Ergebnis eines Riechvorganges, der zwangsläufig über den Atemmechanismus ausgelöst wird, wenn Geruchsstoffe inhaliert werden. Eingeatmet wird mit der Immissionskonzentration C_i , der Einwirkungsdauer ΔT_i und dem Inhalationsvolumenstrom \dot{V}_{in} , der zwischen 10^{-3} und 10^{-4} m^3/s liegen kann, die Stoffmenge m :

$$m = C_i \dot{V}_{in} \Delta T_i \quad (13).$$

Bei sich ändernden Konzentrationseinträgen sind für die entsprechenden Zeitabschnitte die Konzentrationsmittelwerte aufzusummieren (Einsteinsche Summenkonvention). Ist der zeitliche Verlauf der Immissionskonzentration bekannt, ist die rechte Seite in Gl. (13) über der Zeit zu integrieren.

Jegliche Wahrnehmung stellt eine Abweichung vom reizfreien Zustand dar, eine Störung ist gegeben. Wann diese als unangenehm zu bezeichnen ist, dürfte subjektiv sehr unterschiedlich eingeschätzt werden. Um hier einen übertragbaren Maßstab zu setzen, wird aus der Vor- und Fürsorgepflicht des Staates auf verwaltungstechnischer Seite eine Grenzziehung vorgegeben, die besagt, daß von Belästigung nur dann gesprochen werden kann, wenn in 4 % der Jahresstunden die Wahrnehmungsschwelle der Geruchsstoffimmissionen überschritten wird [15]: so liegt danach das tolerierbare Zeitmaß ΔT_{tol} für Geruchsstoffwahrnehmungen mit $g = 0,04$ und dem Bezugszeitraum von einem Jahr, $\Delta T_{Jahr} = 8760$ h, bei

$$\Delta T_{tol} = g \Delta T_{Jahr} \approx 350 \text{ h} \quad (14).$$

Geruchsstoffe sind wahrnehmbar, wenn – bedingt durch das Atemholen – eine Einwirkungszeit ΔT_w von mindestens 2 s und eine Mindestkonzentration von C_s gegeben sind. Die kleinste wahrnehmbare Menge wäre dann

$$m_s = C_s \Delta T_w \dot{V}_{in} \quad (15).$$

Mit der angesprochenen zeitlichen Tolerierbarkeitsgrenze läßt sich eine tolerierbare inhalative Masse m_{tol}

$$m_{tol} = C_s \Delta T_{tol} \dot{V}_{in} \quad (16)$$

angeben; damit folgt

$$m_{tol}/m \geq 1 \quad (17)$$

als Grenzziehung für Belästigungen durch Geruchsstoffeinträge. Mit den Gln. (13) und (16) ergibt sich aus Gl. (17)

$$\Delta T_i C_i / C_s \leq \Delta T_{tol} \quad (18).$$

Die Einwirkungsdauer ΔT_i kann maximal die Summe aller Stunden eines Jahres sein; ansonsten ist sie durch die Häufigkeit der immissionsbestimmenden Parameter charakterisiert, die nach Gl. (3) vornehmlich durch Windgeschwindigkeit U , Windrichtung α und turbulenzbeschreibende Ausbreitungsklassen AK gegeben sind.

Will man mit Gl. (18) zu Aussagen über die Immissionsituation gelangen, müssen Informationen über die Immissionskonzentration C_i und über die jeweilige Einwirkungsdauer ΔT_i vorliegen. Jegliche Diskussion um das, was bei Geruchsstoffeinträgen als tolerabel bzw. als erheblich belästigend zu bezeichnen wäre, ist müßig, wenn diese Grundinformationen fehlen. Die Beschaffung derartiger Informationen ist geprägt durch die Methoden der Strömungsmechanik, wenn es um kausalanalytische Zusammenhänge geht.

4. Methodik zum Erfassen von Geruchsstoffimmissionen

4.1 Zur Aussagefähigkeit von Begehungen

Zeitreihenmessungen von Immissionskonzentrationen [16] spiegeln die Stochastik der turbulenten Windgeschwindigkeit wider; mit einem Flammenionisationsdetektor können On-line-Messungen für Tracergase vorgenommen werden [17], die ersatzweise für die Geruchsstoffe emittiert werden. Im gegebenen Fall entspräche eine bestimmte Konzentration des Tracergases der Wahrnehmungsschwelle der emittierten Geruchsstoffe. Auf diese Weise ist das Fluktuationsverhalten in Quellennähe objektiv meßbar.

In der Praxis werden Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen im Umfeld der Emittenten bestimmt. Aus dem Angebot von Geruchsstoffimmissionen, im Bild 3 im oberen Teil dargestellt, wird für den Geruchssinn aber nur der Zeitanteil erfaßbar, in dem die Wahrnehmungsschwelle C_s erreicht oder überschritten wird. Der Verlauf $C_i(t)$ ist deshalb bei Geruchsfeststellungen im Felde nicht zu ermitteln. Auch eine weitergehende Differenzierung überschwelliger Konzentrationen nach unterschiedlichen Intensitäten ist aufgrund der mangelhaften Reproduzierbarkeit mehr als fragwürdig. Die Beschränkung auf Ja/Nein-Entscheidungen hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit ist vor allem dadurch begründet, daß die Schnittpunkte des realen Konzentrationsverlaufes mit einer die Wahrnehmungsschwelle repräsentierenden Grenzkurve in Bild 3 mit den zeitlichen Wahrnehmungsgrenzen bei Ja/Nein-Entscheidungen zusammenfallen. Das bedeutet, daß das integrale Zeitmaß die einzige Verbindung zwischen Wahrnehmungsregistrierungen und Konzentrationsermittlungen ist, wonach der Konzentrationsmittelwert nach einer bestimmten Häufigkeitsverteilung überschritten wird. Mit Beschränkung auf Ja/Nein-Entscheidungen hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit ergeben sich während der Begehungszeit T_{Ges} i Zeiten mit Geruchswahrnehmungen. Summiert man die Zeiten T_i über das Mittelungsintervall T_{Ges} auf, dann wird durch das Verhältnis

$$H = T_i / T_{Ges} \quad (19)$$

die Überschreitungshäufigkeit der Wahrnehmungsschwelle C_s angegeben. Da die Größe der über- und unterschwelligen Konzentrationsbeiträge bei der Bildung des Konzentrationsmittelwertes C_i nicht bekannt ist, muß ein Korrekturfaktor k eingeführt werden,

$$C_i = k H C_s \quad (20).$$

Ein Begehungsergebnis C_i kann wegen der unterschiedlichen Mittelung nicht mit Konzentrationsmittelwerten C aus Simulationsrechnungen mit Hilfe des Gaußmodells nach TA-Luft direkt verglichen

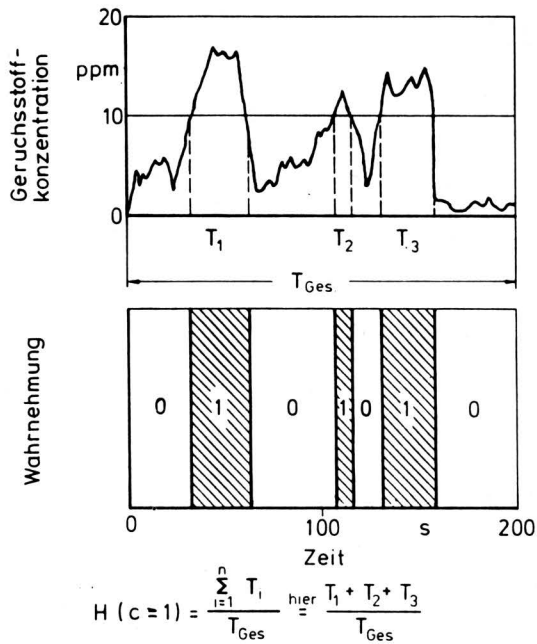


Bild 3. Zeitlicher Verlauf der Geruchsstoffkonzentration (oben) und Ableitung der Häufigkeit der Überschreitung der Wahrnehmungsschwelle während eines Zeitintervalls T_{Ges} (unten).

werden. In [18] wird eine Umrechnungsbeziehung für die Mittelwerte angegeben; bezeichnet C_t den Mittelwert im Zeitintervall Δt und C_T den Mittelwert im Zeitintervall ΔT , so gilt

$$C_t = C_T (\Delta T / \Delta t)^r \quad (21).$$

Im Falle der Geruchswahrnehmung bei Begehungen ist

$$\Delta t = T_{Ges} \text{ (in s)}, \quad C_t = k H C_s = k H \quad \text{für } C_s = 1 \text{ GE/m}^3$$

und $\Delta T = 1800 \text{ s}$,

da die in das Gaußmodell eingehenden Diffusionsparameter aus Diffusionsexperimenten mit einer Mittelbildungszeit von einer halben Stunde bestimmt worden sind. Damit ist

$$C_T = k H (T_{Ges} / 1800)^r \quad (22).$$

Da der Klammerausdruck bei den üblichen Begehungszeiten < 1 ist, wird der Faktor für $r = 0$ am größten, nämlich 1. Der Exponent r ist nach [18] von der Quellentfernung und dem vertikalen Quellenabstand abhängig. Angaben über r finden sich nur für den Bereich ab 100 m Quellentfernung, z.B.: $r(x = 100 \text{ m}) = 0,17$, $r(x = 200 \text{ m}) = 0,16$, $r(x = 500 \text{ m}) = 0,15$, vgl. hierzu auch [19]. Um aber das Gaußmodell sinnvoll einzusetzen, müßte man r und k eindeutig angeben können.

Verfahren, die an Gl. (21) anknüpfend gleich mit einem Sicherheitszuschlag arbeiten [20], sind im Rahmen olfaktometrischer Messungen nicht kalibrierfähig, d.h. eine Modellverifikation ist vom Ansatz her nicht möglich. Sie sind zur Bestimmung der Überschreitungshäufigkeit der Wahrnehmungsschwelle nicht geeignet, wenn sie auch beharrlich für die Praxis empfohlen werden [21] – wohl eher wegen ihrer leichten Handhabbarkeit.

Aus Begehungen ist lediglich die Feststellung zu treffen, daß bei bestimmten meteorologischen Ausbreitungsbedingungen an bestimmten Immissionsorten die Geruchswahrnehmungsschwelle erreicht oder überschritten wird. Was man noch verlässlich feststellen kann, ist die zeitliche Folge der Andauerzeiten von Wahrnehmungen. Das bedeutet mit Blick auf Gl. (18), daß die bestehende Ausbreitungssituation in Relation zur Häufigkeit der meteorologischen Parameter im Gesamtjahresgeschehen gebracht werden muß.

Begehungen sind Einzelepisoden. Wie kann auf das Geschehen eines Jahres geschlossen werden, wenn man sich nicht ganzjährig an einem Immissionsort aufhalten will? Unterstellt man, daß das Jahresgeschehen über die Häufigkeitsverteilungen von mittlerer Windgeschwindigkeit U , Windrichtung a und Ausbreitungsklassen AK klassiert gegeben ist, $H(U, a, AK)_{Jahr}$, dann ist der Klassenwert, für den die Begehung zutrifft, mit der festgestellten Überschreitungshäufigkeit H multiplikativ zu verknüpfen. Nun sind meistens die ermittelten Werte U und a bei Begehungen nicht die Klassenmittenwerte der Jahreshäufigkeitsverteilungen. Durch eine geschickte Auswahl der Parameter U und a über die Klassenbreite ist daher eine als Manipulation zu bezeichnende Einflußnahme auf die ganzjährige Prognose über Begehungen möglich.

Es soll hier nicht auf die Problematik der Messungen der meteorologischen Bedingungen bei den Begehungen eingegangen werden. Sie ist, wie die Intensitätsfrage, nur ein sekundäres Problem, da sich die Unzulänglichkeiten in der Feststellung der Ausbreitungsklassen vor Ort im nachhinein über eine Modellsimulation korrigieren lassen. Entscheidend ist, immer wieder mit Blick auf Gl. (18), daß man aus den Einzelepisoden bei den Begehungen, also aus den festgestellten Überschreitungshäufigkeiten H bei U , a und AK während der Begehungen, auf die erforderlichen Parameterwerte U und a in der Jahresstatistik und damit auf die Überschreitungswahrscheinlichkeit w_{Jahr} schließen kann. Dieses ist aber nur dann möglich, wenn man einen Zusammenhang w zumindest für Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Ausbreitungsklassen und indirekt über die Überschreitungshäufigkeit H mit der Immissionskonzentration C herstellen kann.

$$w_{Jahr} = w(H, U, a, AK) \quad (23).$$

Damit läßt sich die Einwirkungszeit in Gl. (18) bestimmen:

$$\Delta T_i = H_i(U, a, AK)_{Jahr} \Delta T_{iJahr} w_{Jahr} \quad (24).$$

Als Grenzziehung für Belästigungen durch Geruchsstoffimmissionen folgt dann

$$H_i(U, a, AK)_{Jahr} w_{iJahr} \leq g \quad (25).$$

Bei 7 Geschwindigkeits-, 12 Winkel- und 7 Ausbreitungsklassen (einschl. Inversion) beläuft sich i auf 588. Diese Aufteilung ist noch zu grob. Die Isoplethenverläufe der Überschreitungshäufigkeit im Umfeld von Emittenten verändern sich mit weitergehender Aufteilung. Eine Auflösung in 240 Winkelklassen sollte zumindest vorgenommen werden, d.h. $i = 11760$. Ferner ist jeder Immissionspunkt mit dem Eintrag aus jeder Emissionsquelle zu belegen. Da Tierhaltungen mit kontrollierter Abluftführung häufig 5 Punktquellen aufweisen, die im Gebäudenachlaufbereich zum Teil zu Bodenquellen werden, ist im Durchschnitt mit Immissionsbeiträgen aus 10 Quellen zu rechnen.

Es ist festzuhalten:

Begehungen im Umfeld von Tierhaltungen sind im Hinblick auf die Beurteilung der Gesamtjahressituation im Immissionsgebiet nur in Verbindung mit einem Simulationsmodell für Immissionskonzentrationen sinnvoll auszuwerten, und zwar mit einem solchen, das die Wahrnehmungszeit berücksichtigt.

4.2 Zur Kausalanalytik bei Ausbreitungsvorgängen

Für die atmosphärische Ausbreitung von Luftbeimengungen aus Punktquellen über ebenem Gelände sind Messungen aus zahlreichen Experimenten [22 bis 25] zur Bestimmung der Diffusionsparameter herangezogen worden, so daß unter vergleichbaren Transmissionsbedingungen eine Vorhersage der zeitgemittelten Immissionskonzentrationen möglich ist. Zur Frage des Überschreitens von Mittelwerten [26] sind ebenfalls zahlreiche Untersuchungen publiziert, wobei hier als Fluktuationshypothese diejenige herangezogen wird, die für die Überschreitungswahrscheinlichkeit von Mittelwerten eine logarithmische Normalverteilung postuliert [27 bis 33].

Zur Lösung der zentralen Aufgabenstellung greifen zwei unterschiedliche Modellstrukturen ineinander: die Einzelepisode Begehung wird durch ein deterministisches Modell auf der Grundlage des Gaußmodells beschrieben. Als zweites Modell zur Beschreibung der Überschreitungshäufigkeit dient dabei ein empirisches Modell [34].

Treten im Umfeld einer Tierhaltung Geruchsstoffemissionen auf, so lassen sich bei einer Begehung vor Ort nicht nur die Emissionsdaten und die Transmissionsdaten, rechts im Bild 4, erheben, sondern auch die Immissionswerte in Form der Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmungsschwelle angeben. Man kann einmal aus den Emissionsdaten und den Transmissionsdaten mit der Übertragungsfunktion gemäß dem Gaußmodell die mittlere Konzentration $C = C_i$ berechnen, der obere Pfad im Bild von rechts nach links, und daraus über das Fluktuationsmodell mit der logarithmischen Normalverteilung die Überschreitungswahrscheinlichkeit w berechnen. Vergleicht man nun diese berechnete Überschreitungswahrscheinlichkeit mit der vor Ort festgestellten, der Vergleich ist hier in der bildmittigen Raute angedeutet, so wird man Übereinstimmung registrieren oder nicht, im Normalfall natürlich nicht, so daß Parameter zu korrigieren sind. Es erfolgt die Modellanpassung. Die Übertragungsfunktion nach dem Gaußmodell ist nur Mittel zum Zweck.

Simuliert man das Ausbreitungsgeschehen um einen landwirtschaftlichen Betrieb, so ergeben sich z.B. für die Ausbreitungsklasse AK = II nach Klug, stabile Wetterlage, für die Windgeschwindigkeit $U = 1,5 \text{ m/s}$ und für die Anströmung aus dem Bereich zwischen $\alpha = 145^\circ$ und $\alpha = 135^\circ$, d.h. Südost, die in Bild 5 dargestellten Isoplethen der Wahrnehmungshäufigkeit. Emittent ist ein landwirtschaftlicher Betrieb mit den Emissionsquellen E_1, \dots, E_5 im unteren Bildteil. Der betrachtete Immissionsort I ($x = 70 \text{ m}$, $y = 100 \text{ m}$), an dem bei Begehungen eine Wahrnehmungshäufigkeit von $H = 500 \text{ ‰}$ registriert wurde, wird bei dieser Windanströmrichtung kaum mit Geruchsstoffemissionen belastet. Das geschieht erst bei einer Anströmrichtung aus $95^\circ < \alpha < 105^\circ$.

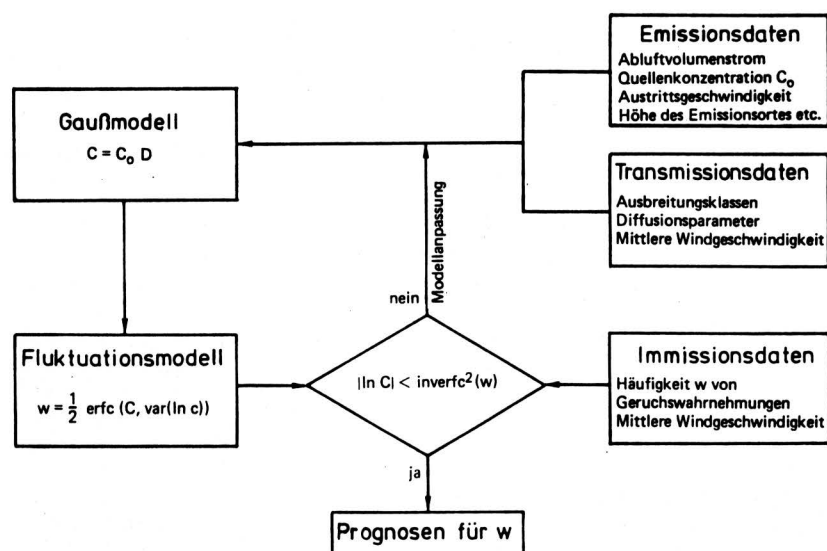
5. VDI-Richtlinien 3471, 3472 und Gaußmodell

Die VDI-Richtlinien 3471, 3472 wie auch die TA-Luft gehen davon aus, daß innerhalb der vorgeschriebenen Abstände die Emissionskonzentration durch die Ausbreitungsvorgänge bis auf einen unbedenklichen Wert verdünnt wird. Die Verdünnung D nach Gl. (3) gibt dabei an, in welchem atmosphärischen Volumenstrom \dot{V} sich der emittierte Abluftvolumenstrom \dot{V}_0 verteilt,

$$D = \dot{V}_0 / \dot{V}$$

(28). dann folgt durch Auflösen der Gl. (29) nach r

$$r = [C_0 \dot{V}_0 / (C f)]^{1/3} m_T^{1/3} \quad (31)$$



Setzt man nun $r = r_{\text{Grenz}}$ gemäß Gl. (5) und bedenkt, daß für den Exponenten $b = 1/3$ ausgewiesen ist,

$$r = r_{\text{Grenz}} = a (B) m_T^{1/3} \quad (32)$$

dann folgt durch Koeffizientenvergleich zwischen Gl. (32) und Gl. (31)

$$C \doteq \dot{q}_0 / (f a^3) \quad (33)$$

mit

$$\dot{q}_0 = C_0 \dot{V}_0 \quad (34)$$

Bild 4. Simulationsmodell zur Erfassung und Prognostik von Geruchswahrnehmungen.

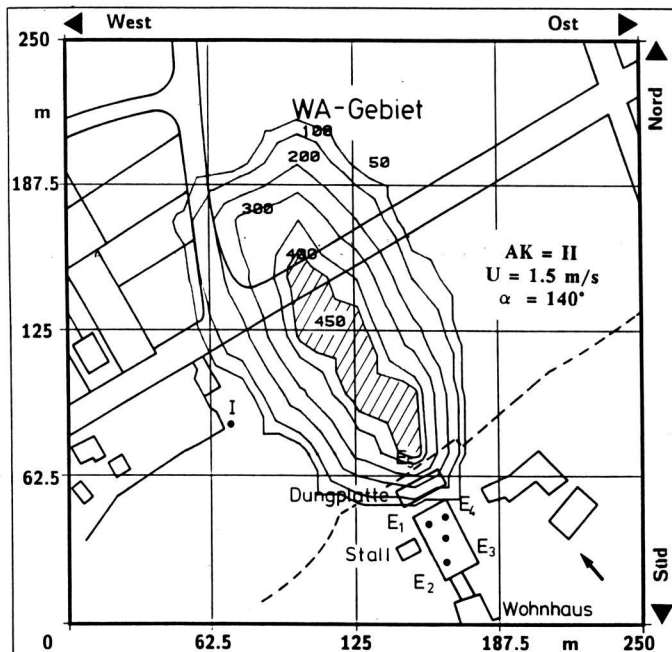


Bild 5. Simulation der Geruchstoffausbreitung von fünf Emissionsquellen $E_1 \dots E_5$ bei Windeinfallswinkel $\alpha = 140^\circ$; dargestellt sind Linien gleicher Wahrnehmungshäufigkeit des Geruches in ‰.

Dabei läßt sich \dot{V} immer über eine Längenskalierung r angeben,

$$\dot{V} = f r^3 \quad (29)$$

wobei f als Luftaustauschrate zu verstehen ist. Der beteiligte atmosphärische Volumenstrom erfüllt dabei den Luftraum, der sich halbkugelförmig über dem Boden aufspannt. Die Spitze des horizontal liegenden Halbkegels befindet sich in der punktförmig gedachten Quelle.

Drückt man den für die Stallhygiene erforderlichen Abluftvolumenstrom durch einen auf die Tiermasse bezogenen spezifischen Abluftvolumenstrom \dot{v}_0 aus,

$$\dot{V}_0 = \dot{v}_0 m_T \quad (30)$$

als spezifischem Geruchsstoffstrom. Geht man von einem Olfaktometerwert von 200 GE/m^3 für die Quellenkonzentration aus, dann folgt daraus eine Verdünnung D von $0,005$. Hieraus ergibt sich über Gl. (28) ein atmosphärischer Volumenstrom und damit mit dem Grenzdiameter nach VDI über Gl. (30) eine Abschätzung für die Luftaustauschrate: bei $m_T = 50 \text{ GV}$ wird $f = 4 \text{ h}^{-1}$. Unterstellt man einen Stall mit geringer Punktebewertung nach VDI 3471, $B = 25$ Punkte, so ergibt sich a zu 87 . Mit einem spezifischen Geruchsstoffstrom von $100 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ [35], der für einen Stall mit dieser Punktebewertung angemessen ist, folgt somit $C = 0,13 \text{ GE/m}^3$ als grobe Grenzwertabschätzung.

Die Abstandskurven nach den VDI-Richtlinien implizieren solche Betrachtung, da die VDI-Richtlinien stallinterne Vorgänge mit dem Ausbreitungsverhalten verknüpfen. Da solche Abstandskurven umgekehrt ja einen konstanten Immissionsgrenzwert C bedingen, zeigt Gl. (33) deutlich, daß diese Forderung nur zu erfüllen ist, wenn der spezifische Geruchsstoffstrom \dot{q}_0 nicht linear von der Punktebewertung a abhängt ($\dot{q}_0 \sim f a^3$), anders ausgedrückt, der Geruchsstoffstrom muß in nichtlinearer Beziehung zu den emissionsbestimmenden Vorgängen im Stall stehen [36].

6. Computersimulationen von Hausumströmungen

Die Ausbreitungsklassenbestimmung für die atmosphärische Turbulenz ist nicht gelöst von den Bodenrauigkeitselementen zu sehen, wie sie durch Gebäude gegeben sind. Um aber überhaupt den Einfluß der Gebäudestrukturen erfassen zu können, wird die mechanisch induzierte Turbulenz durch Wirbelablösungen an den Gebäudekanten für konstante Windanströmgeschwindigkeiten untersucht. **Bild 6** zeigt in der Draufsicht ein von links mit 4 m/s angeströmtes Stallgebäude. Im oberen Teil der Darstellung sind die Stromlinien wiedergegeben, im unteren Teil die Geschwindigkeitsvektoren. Es handelt sich um eine Momentaufnahme des Strömungsfeldes zur Zeit $T = 31,87 \text{ s}$ nach Anströmbeginn zum Zeitpunkt $T = 0$. Die Strömung im Nachlaufbereich ist kaum aus der sog. Anlaufphase herausgekommen, erkennbar an den noch fast symmetrischen Wirbeln [37].

Befindet sich auf der Rückseite des Gebäudes eine unkontrollierte freie Seitenwandentlüftung mit einer Quellenkonzentration von 100 GE/m^3 , so tragen die Wirbel die Geruchsstoffe in die nähere Umgebung, **Bild 7**. Hier sind die Linien gleicher Momentanwerte (Isolethen) der Konzentration dargestellt. In der Anlaufphase erfahren die Randgebiete hinter dem Gebäude höhere Immissionen als die mittig gelegenen. Um dieses zu dokumentieren, ist an den Immissionspunkten 1 bis 10 das zeitliche Eintreffen der Konzentration festgehalten worden. **Bild 8 und 9** zeigen diese Zeitreihen; der Ordinatenmaßstab beträgt für die Konzentration an den Punkten 1 bis 5 nur $1/6$ desjenigen für die Punkte 6 bis 10.

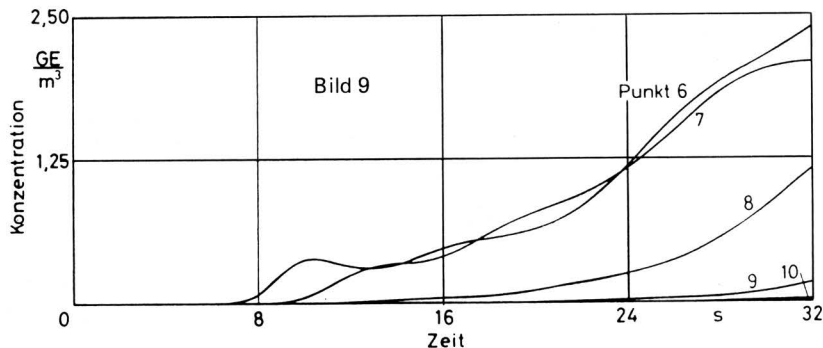
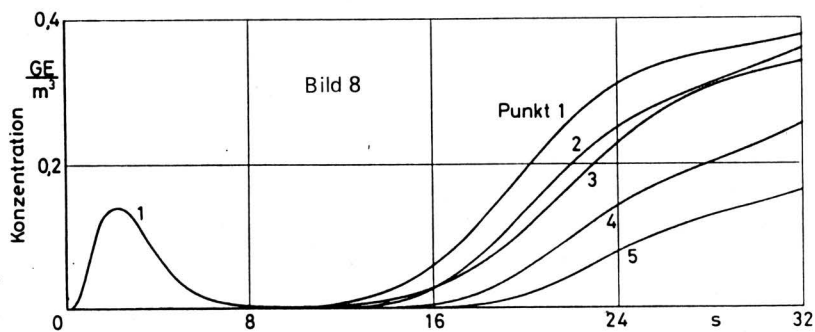
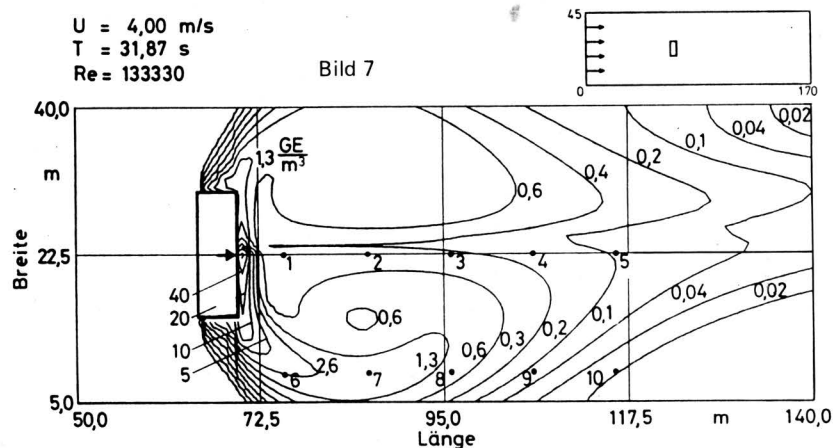
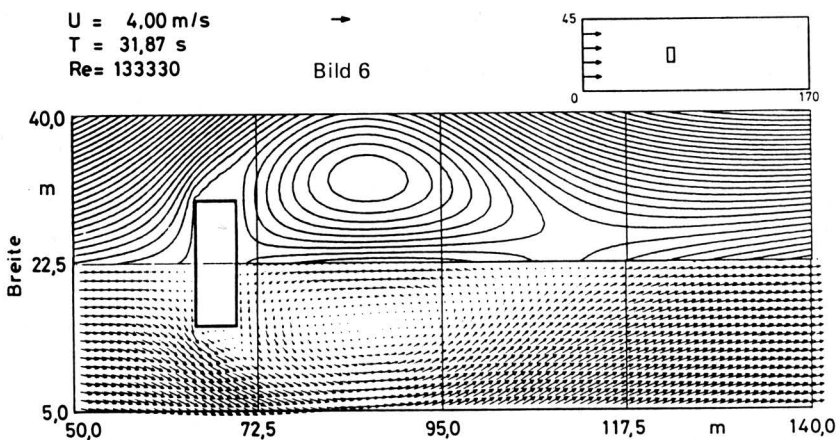


Bild 6. Stromlinienverlauf (obere Bildhälfte) und Geschwindigkeitsvektoren (untere Bildhälfte) für die Umströmung eines Gebäudes.

Bild 7. Isolethen der momentanen Konzentration bei der Umströmung eines Gebäudes, das leeseitig eine Emissionsquelle ($C_0 = 100 \text{ GE/m}^3$) aufweist.

Bild 8. Zeitreihendarstellung der Geruchsstoffkonzentration an den Orten 1 bis 5 nach Bild 7.

Bild 9. Zeitreihendarstellung der Geruchsstoffkonzentration an den Orten 6 bis 10 nach Bild 7.

Der hier festgehaltene Zeitraum ist für eine Situationsbeurteilung zu gering. Es muß wenigstens eine Ablöseperiode für die Wirbel erfaßt werden. Dann läßt sich definitiv sagen, wie häufig die Wahrnehmungsschwelle überschritten wird. Die hierfür erforderlichen Rechnungen sind aber sehr zeitaufwendig. Alle Rechnungen wurden auf der Rechenanlage der FAL durchgeführt. Für die Programmauswertung der numerischen Strömungssimulationen und der grafischen Präsentation sei Herrn *Hake* vom Institut für Biotechnik besonders gedankt.

7. Zusammenfassung

Geruchswahrnehmungen sind auf das engste mit turbulenten Strömungen verknüpft. Das Realverhalten solcher Strömungen läßt sich, auf Einzelfälle beschränkt, mit dem Computer simulieren. Die Vielfalt der meteorologischen Randbedingungen durch rechnerische Variation der Randbedingungen nachzuvollziehen, würde aber jede verfügbare Rechnerkapazität übersteigen. Computersimulationen realen Strömungsverhaltens können aber wesentlich zur Erhellung spezieller Vorgänge beitragen, wie z.B. bei der Erfassung der unkontrollierten freien Emissionen im Strömungsnachlauf eines Stallgebäudes.

Angesichts der Parametervielfalt ergibt sich der Zwang zur "Ökonomie", d.h. nur so genau wie nötig zu rechnen; damit sind natürlich Vereinfachungen in der Abbildung des physikalischen Geschehens Tor und Tür geöffnet. Beim Transport und bei der Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Umgebung von Tierhaltungen ist das Gaußmodell lediglich ein Baustein in einem übergreifenden System, das sich mit Fluktuationen auseinandersetzt. Hinzu kommt, daß landwirtschaftliche Emissionsquellen, je nach Gebäudegeometrie, durch Rezirkulationsbereiche die Simulation von Bodenquellen bedingen. In der aufgezeigten Umfelderkfassung von Tierhaltungen bezüglich der Geruchsstoffimmissionen macht die Modellkalibrierung den arbeits- und kenntnisintensivsten Part aus.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] • *Schamp, N. u. H. van Langenhove*: Comparison of olfactometric odour measurement and chemical odour measurement. In: *Nielsen, V.C., J.H. Voorburg u. P. L'Hermite* (Hrsg.): Odour prevention and control of organic sludge and livestock farming. S. 153/63. London/New York: Elsevier 1986.
- [2] *Kowalewsky, H. u. H. Vetter*: Untersuchungen über die Ausbreitung von Geruchsimmissionen aus Schweine- und Hühnerhaltungsbetrieben. Abschlußbericht des Forschungsvorhabens 77 HS 47.
- [3] *Schoedder, F.*: Messen von Geruchsstoffkonzentrationen, Erfassen von Geruch. Grndl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 3, S. 73/82.
- [4] VDI-Richtlinie 3881, Blatt 1: Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Grundlagen. Berlin/Köln: Beuth-Verlag 1986.
- [5] • *Albring, W.*: Elementarvorgänge fluider Wirbelbewegungen. Berlin: Akademie-Verlag 1981.
- [6] *Hanna, S.R.*: Spectra of concentration fluctuations: the two time scales of a meandering plume. Atmospheric Environment Bd. 20 (1986) Nr. 6, S. 1131/37.
- [7] VDI-Richtlinie 3471: Emissionsminderung Tierhaltung – Schweine. Berlin/Köln: Beuth-Verlag 1986.
- [8] VDI-Richtlinie 3472: Emissionsminderung Tierhaltung – Hühner. Berlin/Köln: Beuth-Verlag 1986.
- [9] *Schirz, S.*: Technik der Geruchsstoffminderung bei intensiver Tierhaltung und deren Einbindung in die Richtliniendruckpraxis. VDI-Berichte Nr. 146, S. 97/102. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982.
- [10] • *Dieter Jost*: Die neue TA-Luft. Kissing: WEKA-Verlag für Verwaltung und Industrie 1986.
- [11] *Hagemann, D. u. S. Schirz*: Emissionsbegrenzung der Schweinehaltung. Recht der Landwirtschaft Bd. 30 (1978) S. 141/43.
- [12] Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 1. Februar 1985 – 11 A 871/83, I K 2149/81 Minden.
- [13] • *Fodor, G.*: Zur Physiologie der Geruchswahrnehmung. Schr. Reihe Ver. Wass.-Boden-Lufthyg. Berlin-Dahlem, H. 35, Stuttgart 1971, S. 9/14.
- [14] Meyers Enzyklopädisches Lexikon: Band 10, Bibliographisches Institut, Mannheim (1974) S. 173/74.
- [15] RdErl. d. Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales vom 14.4.1975, Verwaltungsvorschriften zum Genehmigungsverfahren nach §§ 6, 15 – Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) für Mineralölraffinerien und petrochemische Anlagen zur Kohlenwasserstoffherstellung für das Land Nordrhein-Westfalen, Jahrgang 1975, Nr. 65, S. 996/1007.
- [16] • *Jones, C.D.*: Statistics on the concentration fluctuations in short range atmospheric diffusion. In: *Harris, C.J.* (Hrsg.): Mathematical modelling of turbulent diffusion in the environment; S. 277/95. London: Academic Press 1979.
- [17] *Krause, K.-H. u. G.-J. Mejer*: Ausbreitungsuntersuchungen zur Bestimmung von Immissionen geruchsstoffbelasteter Abluft aus Produktionsstätten der Tierhaltung mit Hilfe von Propan als Tracer. Institut für Biosystemtechnik (ehemals: Institut für landtechnische Grundlagenforschung) (FAL): Institutsbericht Kr-02, M-1 (1985).
- [18] *Gifford, F.A.*: Peak to average concentration ratios according to a fluctuating plume dispersion model. Int. J. Air Pollution Bd. 3 (1960) Nr. 4, S. 53/260.
- [19] *Giebel, J.*: Vergleich von wahrgenommenen und simulierten Gerüchen. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW Heft 50 (1980) S. 41/52.
- [20] *Keddie, A.W.C.*: Prediction of odour nuisance. Chem. and Ind. London (1984) Nr. 9, S. 324/26.
- [21] *Koch, E. V. Thiele, J. Giebel, H. Strauch u. P. Altenbeck*: Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren. Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW LIS-Berichte Nr. 26 (1982).
- [22] *Klug, W.*: Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 29 (1969) Nr. 4, S. 143/47.
- [23] *Turner, D.B.*: Workbook of atmospheric dispersion estimates. Public Health Service Publication No. 999-AP-26. Washington: Department of Health, Education and Welfare (1969).
- [24] *Nassar, J. u. J. Goldbach*: Ausbreitung von Kohlenwasserstoffen aus bodennahen Emissionsquellen. Teil I: Praktische Feldversuche. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 41 (1981) Nr. 6, S. 211/17. Teil II: Vergleich mit theoretischen Modellverfahren. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 41 (1981) Nr. 7, S. 242/47.
- [25] *Müller, M. u. M. Schatzmann*: Daten zur Nahfeldausbreitung von Abgasen aus hohen Quellen. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 15, Nr. 27, Düsseldorf: VDI-Verlag 1983.

- [26] Kowe, R. u. P.C. Chatwin: Exact solutions for the probability density function of turbulent scalar fields. *Journal of Engineering Mathematics* Bd. 19 (1985) S. 217/31.
- [27] Barbatic, N.: Mutual dependencies between the characteristic parameters of the lognormal mathematical model of air pollution concentration. *Atmospheric Environment* Bd. 15 (1981) Nr. 9, S. 1691/98.
- [28] Bencala, K.E. u. J.H. Seinfeld: On frequency distributions of air pollutant concentrations. *Atmospheric Environment* Bd. 10 (1976) S. 941/50.
- [29] Kot, S.C. u. K.S. Lam: Probability of concentration of gas effluent from exhaust vents on a roof-top. *Atmospheric Environment* Bd. 19 (1985) Nr. 7, S. 1041/44.
- [30] Murlis, J. u. C.D. Jones: Fine-scale structure of odour plumes in relation to insect orientation to distant pheromone and other attractant sources. *Physiological Entomology* Bd. 6 (1981) S. 71/86.
- [31] Coenen, W.: Beschreibung des zeitlichen Verhaltens von Schadstoffkonzentrationen durch einen stetigen Markow-prozeß. *Staub-Reinhalt. Luft* Bd. 36 (1976) Nr. 6, S. 240/48.
- [32] Medrow, W. u. C. Juergens: Die Simulation der Geruchsausbreitung. *Staub-Reinhalt. Luft* Bd. 44 (1984) Nr. 11, S. 475/79.
- [33] Venkatram, A.: Uncertainty in predictions from air quality models. *Boundary-Layer Meteorology* Bd. 27 (1983) S. 185/96.
- [34] Krause, K.-H. u. F. Schoedder: Meßtechnik für Prognostik und Bewertung luftgetragener Stoffeinträge aus Tierhaltungsbetrieben. In: *Mikroelektronik in der Agrartechnik für den Umweltschutz*; S. 229/44. Bericht vom Kolloquium Landtechnik Nr. 4, 1987.
- [35] Oldenburg, J. u. H. Mannebeck: Emissionsminderung bei Stallungen – Stand der Technik. *Landtechnik* Bd. 42 (1987) Nr. 11, S. 476/78.
- [36] Janssen, J. u. K.-H. Krause: Stallinterne Beeinflussung der Emissionen aus Tierhaltungen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 37 (1987) Nr. 6, S.
- [37] Krause, K.-H.: Mathematical simulation of pollutant transfer from nearly ground-level emission sources, especially from animal houses. In: *Stöber, W. u. R. Jaenicke* (Hrsg.): *Aerosole in Science, Medicine and Technology – the biomedical influence of the aerosols*. Gesellschaft für Aerosolforschung Bd. 7 (1979) S. 113/19.

Abschätzung des zeitlichen Verlaufs von Stoffgehalten in den Kompartimenten der Umwelt

Von Wolfgang Paul und Gerhard Jahns,
Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

Professor Dr.-Ing. Wilhelm Batel zum 65. Geburtstag

DK 63:614.7:574:519.876.5

Zur Abschätzung des Risikopotentials eines Stoffes in der Umwelt werden auch Angaben über dessen Mobilität und Persistenz benötigt, um daraus z.B. zu erwartende Akkumulationen oder Dosis-Wirkungs-Maße ableiten zu können. Es wird gezeigt, wie diese Fragestellungen, die im wesentlichen das dynamische Verhalten eines eingebrachten Stoffes betreffen, durch Angaben über die Struktur des Ökosystems sowie durch Angaben über spezielle Stoffeigenschaften des Austauschs und des Abbaus beantwortet werden können. Die modellmäßige Betrachtung führt so anhand überschlägiger Berechnungen relativ schnell zu ersten Abschätzungen des umweltrelevanten Verhaltens eines Stoffes im interessierenden Ökosystem.

*) Dr.-Ing. W. Paul und Dr.-Ing. G. Jahns sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Biosystemtechnik, ehemals Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Inhalt

1. Einleitung und Zielsetzung
2. Grundsätzliche Vorgehensweise
 - 2.1 Abgrenzung und Strukturierung
 - 2.2 Eigenschaften eines Kompartiments
 - 2.2.1 Der Grundsatz der Gleichverteilung
 - 2.2.2 Lineare Übertragungsmechanismen
 - 2.3 Die Gleichungen des Stoffaustauschs
3. Verhalten von Kompartimentsystemen
 - 3.1 Strukturelle Eigenschaften der Systemmatrix
 - 3.1.1 Isolierte und schwach gekoppelte Teilsysteme
 - 3.1.2 Strukturelle Persistenz
 - 3.1.3 Nahrungsketten und Bodenschichten
 - 3.1.4 Gemeinsame Austauschmedien
 - 3.1.5 Populationsmatrizen
 - 3.2 Dynamische Eigenschaften und Lösungsverfahren
 - 3.2.1 Entwicklung nach Eigenwerten
 - 3.2.2 Entwicklung in eine Potenzreihe
 - 3.2.3 Verknüpfungen zwischen den Lösungsverfahren
 - 3.2.4 Lösungsalgorithmen
4. Bewertungsmaßstäbe für das Umweltverhalten
 - 4.1 Wirkungsmaße
 - 4.1.1 Zeit-Dosis-Integral
 - 4.1.2 Wirkungszeit
 - 4.1.3 Verweilzeit
 - 4.1.4 Relaxationszeit