

# Landtech

## Geruchsausbreitung aus der Tierhaltung: Standorteinfluss

Ladislav Koutny, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon (FAT), CH-8356 Ettenhausen  
Auskünfte: Ladislav Koutny, e-mail: ladislav.koutny@fat.admin.ch, Fax +41 (0)52 365 11 90, Tel. +41 (0)52 368 32 83

### Zusammenfassung

**D**ie Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) in Tänikon überarbeitet zur Zeit im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) den FAT-Bericht Nr. 476 über die Mindestabstände von Tierhaltungsanlagen zu Wohnzonen (Richner und Schmidlin 1995). Mit der bestehenden Richtlinie wurden allgemein gute Erfahrungen bei den «traditionellen» geschlossenen zwangsbelüfteten Ställen gemacht. Diese wird von Gemeinden und kantonalen Umweltämtern mehrheitlich als gutes Arbeitsinstrument beurteilt und konsequent angewendet. Neue offene Stallsysteme und Ställe mit Ausläufen speziell in der Schweinehaltung sind aber nur unzureichend berücksichtigt. Mit Blick auf ihr Geruchsimmissionspotenzial sollen sie deshalb unter der Berücksichtigung des Topographieinflusses auf die Geruchsausbreitung untersucht und beurteilt werden. Im Gegensatz zu zwangsbelüfteten Ställen handelt es sich um bodennahe diffuse Geruchsquellen. Die meisten Beschwerden über Geruchsbelastungen äussern Anwohner bei Kaltluftabflüssen von Schweineställen mit Auslauf vor allem im Sommerhalbjahr, wenn sie sich häufiger im Freien aufhalten oder wenn nachts die Fenster offen sind. Im Herbst 2001 wurden an zwei verschiedenen Standorten mit Schweinehaltung Unterschiede bei den lokalen meteorologischen Parametern (Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung) in Situationen mit und ohne Kaltluftabfluss festgestellt.

### Mindestabstandsregelung

Die Berechnung des Mindestabstandes zwischen Stallgebäude und Wohnbauten ist auf eine Betriebssituation ausgerichtet. Die Ausgangsgrösse ist die Tierzahl, die mit einem Geruchsbelastungsfaktor für die entsprechende Tierart multipliziert wird. Aus der so berechneten Geruchsbelastung nach Tierart wird der Normabstand bestimmt. In einem weiteren Schritt wird der Normabstand mit Korrekturfaktoren für betriebliche, bauliche und Standortfaktoren multipliziert. Faktoren wie Geländeform, Fütterung, Aufstallungs- und Entmistungssystem, Hofdüngerproduktion und Lüftung be-

einflussen die Geruchsbildung, -ableitung und -ausbreitung.

In der heute gültigen Mindestabstandsrichtlinie sind folgende Themenbereiche nicht ausreichend enthalten:

■ Neue Stallsysteme wie Offen-, Offenfrontställe und Ställe mit Auslauf: Korrekturfaktor für diese Stallsysteme; Bestimmung des Emissionspunkts bei Flächenquellen.

■ Arbeitsteilige Ferkelproduktion: Getrennte Geruchsbelastungsfaktoren für Sauen und Ferkelaufzucht.

■ Separate Hofdüngerlagerung: Die Mindestabstandsrechnung

ist bisher an einen Tierbestand gekoppelt.

■ Topographie: Korrekturfaktor für Hang- und Tallagen mit Blick auf Kaltluftabfluss.

Daher steht eine Revision des FAT-Berichtes in Zusammenarbeit mit den kantonalen Umweltämtern an. Im Folgenden werden erste Schritte der Gesamtuntersuchung vorgestellt.

### Topographie

Die topographische Geländegliederung spielt zusammen mit den meteorologischen Verhältnissen eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von lokalen (thermisch bedingten) Windsystemen. Dazu zählen die Land- und Seewinde, die Berg- und Talwinde beziehungsweise die Talab- und Talaufwinde, die Hangauf- und Hangabwinde. Im FAT-Bericht Nr. 476 wird die Topographie mit einem Korrekturfaktor 1,0 für eine relative Ebene und mit 1,2 für eine Hanglage berücksichtigt. Auch von Standorten mit sehr schwacher Hangneigung liegen vermehrt Klagen von Anwohnern über Geruchsbelastungen vor. Die genannten Korrekturfaktoren sind daher in solchen Situationen zu überprüfen und eventuell anzupassen.

### Kaltluftabfluss

Der am Hangstandort auftretende nächtliche Hangabwind ist durch den bodennahen Kaltluftabfluss bedingt, der sich während einer wolkenarmen und windschwachen Nacht bilden kann.

Kaltluftentstehung und -abfluss hängen somit von folgenden Faktoren ab:

- meteorologische Verhältnisse,
- Flächennutzung und
- Exposition, Hangneigung und Geländeform.

Nach Sonnenuntergang beginnt sich der Boden aufgrund des Energieverlustes (negative Strahlungsbilanz) abzukühlen und es entsteht eine, je nach Standort unterschiedlich starke, bodennahe Kaltluftschicht (Abb. 1). In geneigtem Gelände setzt sie sich infolge der horizontalen Dichteunterschiede hangabwärts in Bewegung und folgt - analog zu Wasser - dem Hanggradienten oder der Talachse (Röckle und Richter 1998).

Kaltluftabfluss spielt bei der Ausbreitung von Geruchsstoffen von bodennahen Geruchsquellen eine entscheidende Rolle. Die tagsüber auftretenden Hangauf- beziehungsweise Talaufwinde sind meist sehr turbulent, sodass die Verdünnung von Geruchsstoffen hoch ist. Die in den Abend- und Nachtstunden auftretenden Kaltluftabflüsse sind jedoch mit einer stabilen thermischen Schichtung und niedrigen Windgeschwindigkeiten verbunden, sodass die bodennah freigesetzten Gerüche nur wenig verdünnt werden und sich somit schlierenförmig auch über größere Distanzen ausbreiten können. Je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Größe



der potenziell kaltluftproduzierenden Flächen (Kaltluftentstehungsgebiete), deren Neigung und Exposition können sich in Talböden, Kesseln oder auch vorgelagerten Ebenen Kaltluftseen ausbilden. In diesen unterschiedlich mächtigen Bodeninversionen ist der vertikale Luftaustausch deutlich reduziert (Van der Pütten 2001). Im Winterhalbjahr reicht die Sonneneinstrahlung am Tage oft nicht aus, um diese Inversionsschicht völlig aufzulösen, sodass höhere Geruchswahrnehmungen die Folge sein können.

### Visualisierung des Kaltluftabflusses durch Rauchproben

An zwei Untersuchungsorten wurden diverse Rauchproben durchgeführt, um das Verhalten und die Dauer eines Kaltluftabflusses beobachten zu können. An einem Standort erfolgten an zwei Abenden im August und Oktober in unmittelbarer Nähe zur Schweineanlage diverse Rauchversuche, um auch die räumliche Verteilung während

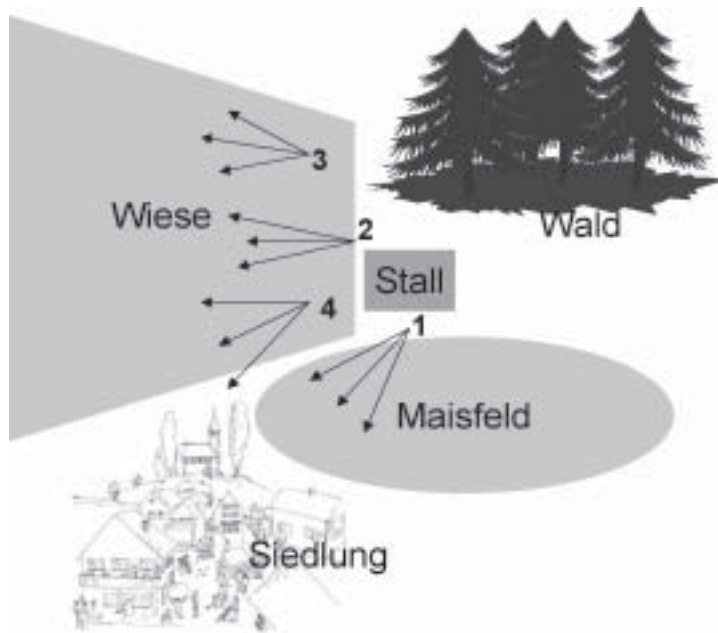
des ganzen Abends, die Kontinuität und die Geschwindigkeit der mäandrierenden Ausbreitungsfähne beobachten zu können. Dabei wurde auch die Luftbewegung in verschiedenen Höhen über dem Boden durch Luftballons sichtbar gemacht.

Der Schweinestall befindet sich auf einer Höhe von zirka 440 m ü. M. nordöstlich einer 50 m höher gelegenen bewaldeten Hügelkuppe. Die Exposition des Hanges erstreckt sich von Nordwest bis Ost, die Neigung macht zirka 3-5 % aus. Auf der nördlichen Seite war am Abhang Mais angepflanzt. Weiter in dieser Richtung gibt es in einer Entfernung von 150 m ein Siedlungsgebiet. Auf der östlichen und südlichen Seite des Stalles befindet sich eine Wiese, auf der westlichen Seite ein Maisfeld, das an einen Nadelwald angrenzt.

Die vier Positionen der durchgeführten Rauchversuche in der Umgebung des Stalles sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Der Beginn des Kaltluft-

Abb. 1. Kaltluftabfluss visualisiert durch eine Rauchprobe.

Abb. 2. Schematische Darstellung der vier verschiedenen Positionen (1-4) für die durchgeführten Rauchversuche am Standort B.



abflusses setzte an den beiden Untersuchungsabenden jeweils noch kurz vor Sonnenuntergang auf dem östlich exponierten Hang (Position Nr. 4) ein. Kurzzeitig wurde er auch auf der Nordseite des Stalles festgestellt (Position 1). Je nach Oberfläche variierte die vertikale Mächtigkeit und - je nach Rauigkeit - die Geschwindigkeit. Durch die kleinere Hangneigung und grössere Rauigkeit der Maisoberfläche wurde die Geschwindigkeit nördlich deutlich reduziert. Es wurde auch beobachtet, dass die Rauchwolken teilweise über dem Mais angehalten wurden.

Die Rauchwolke der Position 1 strömte in Richtung Siedlung, was mit Geruchswahrnehmungen bei den Anwohnern verbunden sein könnte.

An diesem Standort handelte es sich um schwache und geringmächtige Hangabwinde von kurzer Dauer. Auch an den weiteren zwei Abenden konnte zirka zwei Stunden nach dem Auftreten kein Kaltluftabfluss mehr beobachtet werden. Ab diesem Zeitpunkt wurde auch keine Luftbewegung mehr registriert und die Verteilung der Rauchwolken erfolgte nur vertikal und ganz langsam.

Die Visualisierung von Kaltluftabflüssen in Felduntersuchungen mittels Rauchproben ist eine Methode, die leicht und kostengünstig durchzuführen ist und verlässliche Ergebnisse liefert.

Sie hilft direkt vor Ort, das Auftreten, das Verhalten und die räumliche Verteilung des Kaltluftabflusses festzustellen und damit auch die Auswirkungen auf mögliche Geruchsimmissionen frühzeitig prognostizieren zu können (zum Beispiel in der Planungsphase eines Bauvorhabens). Mit Direktbeobachtungen oder durch eine Videoaufnahme können durch mehrere Experimente die Strömungsbahnen der Kaltluftflüsse und die Kaltluftseen kartiert werden.

#### Klimatische Parameter

An beiden Standorten wurden die meteorologischen Parameter Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Lufttemperatur und relative Luftfeuchte gemessen. Für die Ausbreitungsklassifikation wurde neben den Winddaten auch der Bedeckungsgrad bestimmt.

#### Winddaten

Die Messung der Windgeschwindigkeit erfolgte mit einem Hitzdrahtanemometer und die Wind-

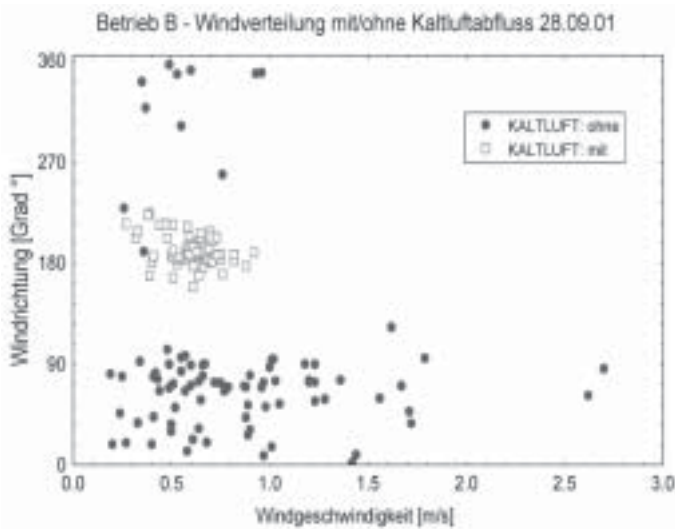
richtung mit einer Windfahne, in einer Entfernung von 25 m zum jeweiligen Stall und in einer Höhe von 2 m über dem Boden. Eine Beeinflussung der Windgeschwindigkeit und -richtung durch Gebäudeeffekte konnte bei bestimmten Windrichtungen nicht ausgeschlossen werden. Als Zeitauflösung für die erhobenen meteorologischen Parameter wurde eine Minute gewählt.

Das Hitzdrahtanemometer wird zur Messung sehr kleiner Windgeschwindigkeiten (grösser als 0,1 m/s) verwendet. Das Messprinzip beruht auf einer Abkühlung von beheizten Platindrähten durch die Windströmung, was zu einer Änderung der Widerstände der Platindrähte führt. Das Ausmass der Widerstandsänderungen entspricht dann der Windgeschwindigkeit.

Die Windrichtungsmessung wurde mit einer Windfahne durchgeführt, deren Ansprechgeschwindigkeit grösser als 0,5 m/s war.

An den beiden Untersuchungsstandorten lagen die Windgeschwindigkeiten ohne Kaltluftabfluss unter 1,5 m/s. Die Windverhältnisse von einem Untersuchungstag (28. 9.) am Standort B sind in Abbildung 3 dargestellt. Aus dieser Abbildung sind auch die Windverhältnisse während der Begehung mit Kaltluftabfluss abzulesen. Die Windgeschwindigkeiten waren tiefer, da Kaltluftabflüsse jeweils (je nach Standort) mit Geschwindigkeiten meistens unter 1 m/s verbunden sind. Die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten wurden an den beiden Standorten zwischen 0,4 m/s und 0,6 m/s gemessen. Aus Abbildung 3 ist die Umkehrung der Windrichtung um 180° beim Wechsel zur Situation mit Kaltluftabfluss ersichtlich.

Ohne Kaltluftabfluss ist für die Geruchsausbreitung neben der



Geruchsquelle vor allem die grosse Variabilität der meteorologischen Einflussgrössen verantwortlich, die die Ausbreitung von Geruchsstoffen bestimmt und zu deren Verdünnung am Immissionsort führt. Dies lässt sich mit der höheren Fluktuation der Gerüche innerhalb der Fahne begründen, die aufgrund der höheren Turbulenzen in der bodennahen Schicht an diesem Standort vorhanden waren. Die wegen der Luftturbulenzen stärker mäandrierende Richtung der Fahne ist für eine bessere Verdünnung der Gerüche auf dem Ausbreitungsweg verantwortlich. Für die Ausbreitung ist also nicht nur die Windgeschwindigkeit von Bedeutung, sondern auch das Turbulenzmass der Atmosphäre.

**Lufttemperaturen an verschiedenen Standorten**

Die Intensität der Kaltluftentstehung und des Kaltluftabflusses hängt nicht nur von den meteorologischen Verhältnissen und der Geländeform ab, sondern auch von der Landnutzung (zum Beispiel Art der Vegetation) und deren thermischen Verhältnissen. Beginnend bei Sonnenuntergang, wenn die Ausstrahlung gegenüber der Einstrahlung überwiegt (negative Strahlungsbilanz), beginnt sich die Erdoberfläche abzukühlen. Das Abkühlungsverhalten unterschiedlicher Oberflächen hängt von de-

ren physikalischen Eigenschaften ab. Die Kaltluftproduktion ist hauptsächlich auf nicht bewachsenem Boden und auf Flächen mit geringer Vegetationsdecke (zum Beispiel Wiesen und Felder) zu erwarten.

In der Umgebung von drei Untersuchungsorten wurden je drei Datenlogger mit externen Sensoren (Hotdog DH1) für Temperatur- und Luftfeuchteaufzeichnung in Abständen von bis zu 200 m voneinander an verschiedenen Standorten positioniert. Damit konnten die Temperatur-

verläufe und deren Unterschiede bei verschiedenen Wetterverhältnissen im Zeitraum vom 11.09.-19.10.2001 beobachtet werden. Dies ermöglicht, den potenziellen Beitrag als effektive Kaltluftbildungsfläche zur Kaltluftproduktion aufzuzeigen.

In Abbildung 4 ist der Temperaturverlauf am Beispiel von Standort B bei unterschiedlicher Landnutzung mit Mais bei einer Bestandeshöhe über 2 m und Wald je an drei wärmeren und kälteren Tagen dargestellt. Die Temperatur wurde im Mais und

Abb. 3. Verteilung der Windgeschwindigkeit und -richtung am Standort B in der Situation mit und ohne Kaltluftabfluss (links) sowie zeitlicher Verlauf der Windrichtung beim Wechsel zur Situation mit Kaltluftabfluss.

Abb. 4. Temperaturverlauf an drei Standorten im Mais, über dem Mais und im Wald während drei Tagen am Ort B bei höheren Tagestemperaturen (oben) und bei niedrigeren Tagestemperaturen (unten).

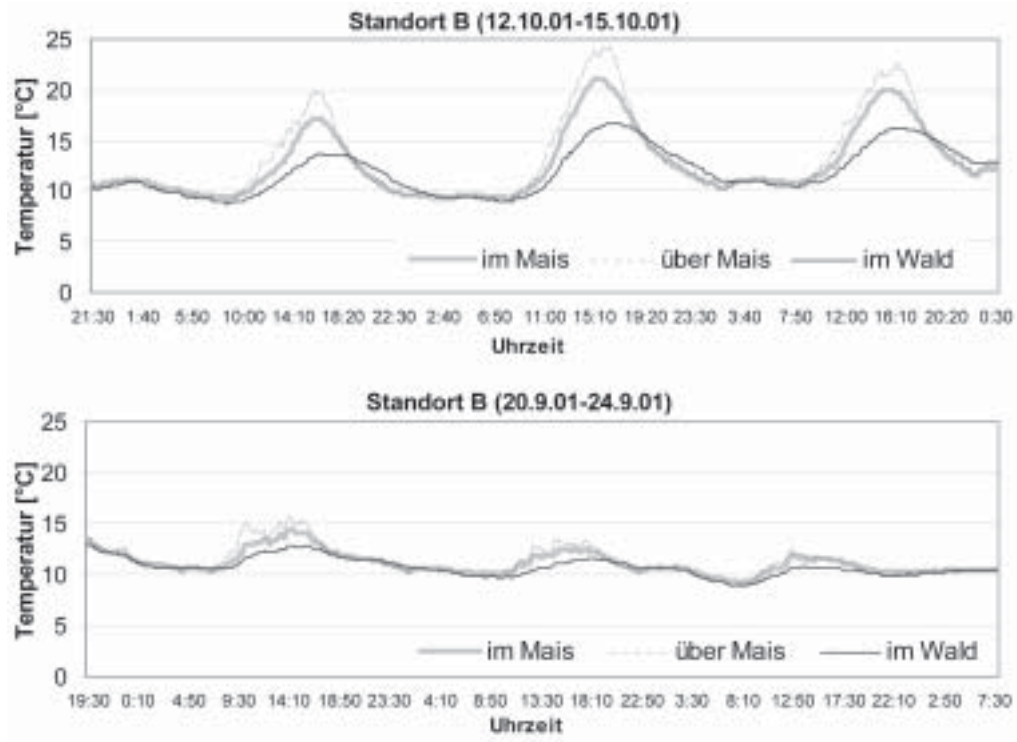
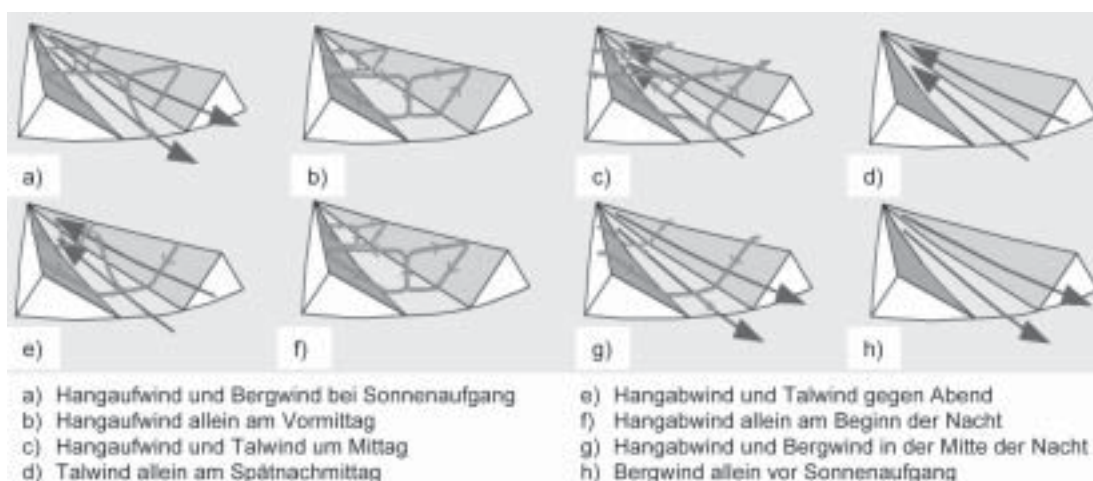


Abb. 5. Berg-Tal-Windsystem in unterschiedlichen Stadien über den Tag (Liljequist 1992).



Wald in einer Höhe von 1 m über dem Boden und in 3,5 m über dem Mais gemessen. Bei wolkenarmem, windschwachem Wetter bilden sich die Unterschiede im Temperaturverlauf vom Tagesgang am klarsten aus, bei Regen und Wind sind sie verwischt. Die Differenz zwischen der höchsten und tiefsten Temperatur im Tagesverlauf ist bei hoher Einstrahlung und geringer Luftbewegung am grössten. Umgekehrt erfolgen bei nächtlicher Windstille und ungehinderter Ausstrahlung, das heisst eine geringe Gegenstrahlung von Wolken und Hindernissen, eine stärkere Abkühlung und grössere Geländeklimaunterschiede. Unterscheiden sich zwei Standorte in der Beschattung, so wird der stärker abgeschirmte tagsüber kühler und nachts wärmer bleiben als der Standort, der der Sonneneinstrahlung ausgesetzt wird. Während die Freiflächen nachts besonders stark abkühlten, verlief die Abkühlung im Wald (Stammraum) langsamer und erreichte auch nicht die Tiefstwerte der Freiflächen. Vormittags, mit einsetzender Strahlung, kam es zu einem raschen Temperaturanstieg auf den Freiflächen. Im beschatteten Wald wurde der Anstieg verzögert, die Höchstwerte blieben zirka 5 °C unter den vergleichbaren Werten von Wiese und Mais. Betrug die Dif-

ferenz zwischen der Maximal- und der Minimaltemperatur innerhalb eines Tages mehr als 10 °C, so war die Auftrittswahrscheinlichkeit von Hangabwinden überdurchschnittlich hoch.

Im Wald findet eine Kaltluftproduktion ausschliesslich im Kronenbereich statt; dies wegen der hohen Rauigkeit jedoch in abgeschwächter Form und verteilt auf ein grösseres Luftvolumen (Van der Pütten 2001). Beim lichterem Bestand der Baumkronen kann die Kaltluft zwischen den Stämmen zu Boden sinken und gegebenenfalls auch dort abfließen.

### Ausblick

In den Sommermonaten 2002 erfolgen immissionsseitig Untersuchungen zur Geruchswahrnehmung. Ziel ist die Beurteilung neuer, tiergerechter Systeme der Schweinehaltung (Offenställe, Ställe mit Auslauf) mit Blick auf deren Geruchsmissionspotenzial. Die bekannte Methodik der Fahnenbegehungen nach der VDI-Richtlinie 3940 mit Testpersonen wird auf die vorliegende Fragestellung angepasst. Hierzu werden etwa 40 Schweinehaltungsbetriebe auf ihr Immissionspotenzial untersucht. Drei Testpersonen befinden sich gleichzeitig in drei verschiedenen Abständen zum Stall. Dabei handelt es sich um

geschlossene Ställe mit und ohne Auslauf sowie um Offenställe mit und ohne Auslauf.

In Zusammenhang mit dem Kaltluftabfluss ist das Mass der Belästigung und die Häufigkeit des Vorkommens von Interesse. Die Häufigkeit und Dauer des Auftretens von Kaltluftabfluss ist standort- und wetterabhängig. Eine detailliertere standortspezifische und zeitliche Differenzierung wäre dringend erforderlich.

Die Beurteilung, ab wann Geruch zu Belästigungen führt, bereitet noch besondere Schwierigkeiten. Da Geruchsbelästigungen meist schon bei sehr niedrigen Stoffkonzentrationen und durch das Zusammenwirken verschiedener Substanzen hervorgerufen werden, ist ein Nachweis mittels physikalisch-chemischer Messverfahren äusserst aufwendig oder überhaupt nicht möglich. Hinzu kommt, dass die belästigende Wirkung von Geruchsmissionen sehr stark von der Sensibilität und der subjektiven Einstellung der Betroffenen abhängt. Dies erfordert, daß bei der Erfassung, Bewertung und Beurteilung von Geruchsmissionen eine Vielzahl von Kriterien in Betracht zu ziehen ist. So stellt sich die Frage, ab wann solche Immissionen als übermässig und damit als schädliche Umwelteinwirkungen anzusehen sind.

## Literatur

- Halbig G., 2000. Modellsimulationen zur Berechnung von Geruchsstoff-Immissionen - Ein Hilfsmittel zur optimalen Planung von geruchsstoffemittierenden Anlagen. Deutscher Wetterdienst, Geschäft Klima- und Umweltberatung, Deutscher Wetterdienst 01/2000.
- Kumm H., 2001. Pflichtenheft einer realistischen Immissionsprognose. KGV-Rundbrief 1, 9-10.
- Lohmeyer A. und Rühling A., 1998. FuE-Vorhaben «Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von luftfremden Schadstoffen/Gerüchen bei niedrigen Quellen im Nahbereich», Projekt 2043, Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Richner B. und Schmidlin A., 1995. Mindestabstände von Tierhaltungsanlagen – Empfehlungen für neue und bestehende Betriebe. FAT-Bericht Nr. 476, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).
- Röckle R. und Richter C.J., 1998. Ausbreitung von Geruchsstoffen in Kaltluftabflüssen - Messungen und Modellrechnungen. Gerüche in der Umwelt, VDI Berichte 1373, 249-259.
- TA Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27.02.1986.
- Van der Pütten N., 2001. Glossar - Ausbreitungsrechnung, Luftreinhaltung in Hessen, Heft 1, Ergebnisse, Planung und Projekte. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Eigendruck HLUG, Wiesbaden.
- VDI-Richtlinie 3940, 1993. Bestimmung der Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen. Berlin, Beuth-Verlag.

## RÉSUMÉ

### Influence du site sur la diffusion des odeurs provenant des systèmes de détention d'animaux

La Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT) de Tänikon a été mandatée par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP) pour réviser le Rapport FAT n° 476 sur les distances minimales à observer pour les installations d'élevage d'animaux (Richner, Schmidlin, 1995). Dans l'ensemble, l'application de la directive a été positive pour les étables ouvertes équipées d'une aération forcée. Les communes et les instances cantonales chargées de la protection de l'environnement apprécient ces directives comme instrument de travail utile. Or, la directive ne tient pas suffisamment compte des nouveaux systèmes de stabulation ouverts et des étables avec aires d'exercice extérieures, notamment dans la production porcine. Les systèmes de stabulation qui présentent un certain potentiel de nuisance olfactive sont examinés et évalués tout en tenant compte des influences de la topographie sur la diffusion des odeurs. Par opposition aux étables équipées d'une aération forcée, les nouveaux systèmes de stabulation présentent des sources d'odeurs diffuses qui se trouvent près du sol. La plupart des plaintes de la part des résidents en matière de nuisances olfactives sont liées à des mouvements d'air froid descendants dans les environs des porcheries avec aire d'exercice extérieure. Les plaintes sont plus nombreuses en été quand les gens passent leur temps à l'extérieur ou s'ils laissent leurs fenêtres ouvertes pendant la nuit. En automne 2001, des mesures ont été effectuées sur deux sites différents avec exploitations porcines. Les paramètres météorologiques locaux (température, vitesse et direction du vent) varient fortement entre les situations avec et celles sans mouvements d'air descendants.

## SUMMARY

### Site-specific influences on diffusion of odours released by animal housing systems

The Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL) commissioned the Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering (FAT) in Tänikon to revise the FAT report no. 476 on minimal distances of animal housing systems (Richner, Schmidlin, 1995). In general, the existing guideline proved to be useful for closed houses with forced ventilation. Municipalities and cantonal environmental agencies consider it to be a good working tool and apply it consistently. However, the guideline does not sufficiently take into account open housing systems and houses with an exercise yard, particularly in pig keeping. Therefore, housing systems which present a certain potential for odour nuisance are examined and assessed, with special emphasis on topographic influences on odour diffusion. As opposed to systems with forced ventilation, the new housing systems present diffuse odour sources near the ground. People living near pig houses with an exercise yard mainly complain about odour nuisances when cold air flows off. Complaints are more often made in summer, when people spend more time outside or leave the windows open at night. In autumn 2001, measurements were carried out near pig houses at two different sites. The local meteorological parameters (temperature, wind speed and wind direction) presented significant differences in situations with and without cold air flowing off.

**Key words:** odour, annoyance, cold air flow, minimal distance, animal housing system