

# **Beurteilung der Intensität und Hedonik von Gerüchen aus der Tierhaltung**

**Kirsten Sucker**

**Email: [Sucker@iku-gmbh.de](mailto:Sucker@iku-gmbh.de)**

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Grundlagen der Geruchswahrnehmung	3
Bestimmung von Intensität und Hedonik	7
Geruchswirkungen und Geruchsbelästigung	11
Dosis-Wirkungszusammenhänge für Geruchsbelästigungen	12
Die Methode der Polaritätenprofile	14
Literatur	15

## Einleitung

Bisher wird gemäß Geruchsmissions-Richtlinie im wesentlichen aufgrund der über Rasterbegehungen und/oder Ausbreitungsrechnungen ermittelten Häufigkeit erkennbarer Geruchsmissionen über den Tatbestand der „Erheblichkeit“ der Geruchsbelästigung von Anwohnern entschieden. Im Regelfall gelten in Gebieten, in denen sich Menschen nicht nur vorübergehend aufhalten, Auftretenshäufigkeiten > 10% der Jahresstunden mit Geruch (Geruchsstundenkonzept) als „erheblich“ belästigende Geruchsmissionen und damit als „schädliche“ Umwelteinwirkungen gemäß Bundesimmissionsschutzgesetz. Das Konzept zur Bewertung von Geruchsmissionen beruht auf Dosis-Wirkungsuntersuchungen bei Anwohnern im Umfeld geruchsstoffemittierender Anlagen.

## Grundlagen der Geruchswahrnehmung

Gerüche sind in der Regel komplexe Gemische aus mehreren hundert chemischen Einzelkomponenten (z.B. Kaffeeduft: ca. 200 Einzelstoffe). Die Geruchswahrnehmung beginnt in der **Riechschleimhaut**. Auf einer Fläche von 2,5 cm<sup>2</sup> je Nasenloch befinden sich insgesamt ca. 50 Millionen Riechsinneszellen, die etwa alle 40 Tage komplett erneuert werden. Der Mensch besitzt ca. 350 unterschiedliche Riechsinneszellen, von denen jede mit nur einem bestimmten Rezeptortyp ausgestattet ist. Die Rezeptoren weisen ein molekulares Erkennungsvermögen auf, d.h. sie reagieren auf die chemischen Eigenschaften eines Geruchsmoleküls (Kettenlänge, Anzahl und Anordnung der funktionellen Gruppen, etc.). Dabei haben sie eine hohe Spezifität (bevorzugte Empfindlichkeit) für bestimmte Molekulareigenschaften, aber auch eine hohe Toleranz gegenüber anderen chemischen Merkmalen. Daraus ergibt sich, dass ein Geruchsstoff von verschiedenen Rezeptortypen registriert wird und ein Rezeptortyp auf unterschiedliche Geruchsstoffe reagiert.

Die menschliche Nase ist in der Lage so genannte Enantiomere, also Stoffe, die vom chemischen Aufbau fast völlig identisch sind und sich lediglich in ihrer dreidimensionalen Struktur zueinander verhalten wie Bild und Spiegelbild, geruchlich zu unterscheiden. Limonen, ein Naturstoff aus der Gruppe der

Terpene (monocyclisches Monoterpen) mit der chemischen Summenformel  $C_{10}H_{16}$ , ist eine solche chirale Substanz. In der (S)-Form riecht dieser Stoff nach Zitrone und in der spiegelbildlichen (R)-Form nach Orange. Ein anderes Beispiel zeigt, dass sich bei der Wahrnehmung gespiegelter Geruchsstoffe auch die wahrgenommene Geruchsstärke ändern kann. Ein Milligramm des Stoffes p-Methen-8-thiol riecht sehr intensiv nach Grapefruit, wogegen die gespiegelte Form nicht zu riechen ist. Menschen sind für diesen Stoff "geruchsblind", da sie für die Erkennung der veränderten Moleküleigenschaften keinen Rezeptor besitzen.

In Abhängigkeit von den chemischen Eigenschaften der Moleküle sowie ihrer Anzahl wird eine bestimmte Reihe von Rezeptoren jeweils unterschiedlich stark aktiviert. Dabei entsteht ein einmaliges Aktivierungsmuster, eine Art "Signatur" oder Code. Dieser Code besteht nicht nur aus an- oder ausgeschalteten Rezeptoren, sondern aus mehr oder weniger stark aktivierten Rezeptoren. Dieser Code ist vergleichbar mit einem 3D-Strichcode mit unterschiedlich dicken und unterschiedlich hohen Strichen.

Die Geruchsstärkeempfindung und die hedonische Geruchswirkung finden nicht auf der Ebene der Rezeptoren statt. *"Die Geruchswahrnehmung ist eine Interpretationsleistung des Gehirns und kein bloßer Messvorgang in der Riechschleimhaut."* [BOEKER, 2003].

Die Fortsätze (Axone) der Riechsinneszellen führen durch das Siebbein direkt in den **Riechkolben**. Hier befinden sich ca. 30.000 kugelige Schaltzentren, die sogenannten Glomeruli. In einem Glomerulus werden die Informationen aus 1000 bis 2000 Riechzellen des gleichen Typs gebündelt. Die enorme Bündelung (Redundanz) mehrerer tausend Riechzellensignale hat den Vorteil, dass die Geruchswahrnehmung weiterhin möglich ist, auch wenn größere Teile der Riechschleimhaut (z.B. bei einer Infektion) geschädigt werden. Die räumliche Anordnung der Glomeruli, die nicht wie die Riechzellen erneuert werden, ist bei allen Menschen gleich. Das bedingt, dass gleiche Geruchsstoffe von verschiedenen Menschen in gleicher Art und Weise wahrgenommen werden.

Durch die spezifische Verbindung zwischen einem Glomerulus und mehreren tausend Riechzellen wird das räumliche Verteilungsmuster aktivierter Rezeptoren auf die Ebene aktivierter Glomeruli übertragen. Dieses neuronale Aktivierungsmuster stellt die eigentliche Grundlage für die Geruchswahrnehmung dar. Mit Hilfe von hemmenden oder aktivierenden zusätzlichen Nervenzellen wird

das neuronale Aktivierungsmuster so modelliert, dass eine Verbesserung des Signal/ Rausch-Abstandes erreicht wird. Man vermutet, dass die Signale in Form einer Intensitätskompression vorverarbeitet werden, d.h. dass hohe Intensitätsunterschiede lediglich logarithmisch an die höheren Gehirnzentren weitergegeben werden. Auf diese Weise wird eine hohe Empfindlichkeitssteigerung bei gleichen Gerüchen und eine schärferes Unterscheidungsvermögen bei verschiedenen Gerüche erreicht.

Das im Riechkolben erzeugte neuronale Aktivierungsmuster wird ins **Riechhirn** weitergeleitet. Die Nervenimpulse werden zum Limbischen System, einem in der Evolution sehr alten Gehirnareal, gesendet. In einem Hirnteil namens Mandelkern wird die gefühlsmäßige Reaktion auf die eintreffenden Geruchsinformationen erzeugt. Der hedonische Geruchseindruck (angenehm/ unangenehm) wird im orbitfrontalen Kortex verarbeitet und der Intensitätseindruck in einem Hirnteil namens Amygdala. Wenn der Geruch intensiv genug ist, werden parallel zur unterbewussten Verarbeitung der Geruchsinformationen Impulse in höhere und entwicklungsgeschichtlich jüngere Gehirnzentren gesendet. Über den Thalamus gelangen sie in die sogenannte Riechrinde, wo ein bewusster Geruchseindruck entsteht und das Erkennen des Geruchsstoffs stattfindet.

### **Die olfaktorische Gestaltwahrnehmung**

Ähnlich wie in der Musik scheint das olfaktorische System eine Kombination von unterschiedlich stark aktivierten Rezeptoren (Akkorden) zu nutzen, um mit den "wenigen" 350 verschiedenartigen Rezeptortypen (Noten) die Vielzahl von ca. 10.000 verschiedenen Gerüchen identifizieren und unterscheiden zu können. Auf diese Weise ist das System auch in der Lage gänzlich neue Geruchsstoffe zu erkennen.

Das Erkennen eines Geruchsstoffs beruht jedoch auf einem Lernprozess. In der Riechrinde wird das charakteristische neuronale Aktivierungsmuster mit dem Quelle des Geruchstoffes verbunden und gespeichert. Wenn der Geruch erneut auftaucht, wird diese Verbindung in der Riechrinde abgerufen und der Geruch erkannt. Diesen Prozess kann man als olfaktorische Gestaltwahrnehmung bezeichnen und mit Hilfe von mathematischen Modellen aus der Chaos-Theorie beschreiben.

Um bei dem Vergleich mit der Musik zu bleiben: ähnlich wie bei einem Orchester, das eine Symphonie spielen soll, braucht man mehr als nur die Kenntnis aller Noten. Wichtig sind dabei auch Informationen über die einzelnen Instrumente, die bestimmte Noten zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einer bestimmten Intonation und Dauer spielen sollen.

Wie bereits erwähnt, liegt die eigentliche Grundlage für die Geruchswahrnehmung im Riechkolben. Die Informationen über Intensität und Qualität des Geruchsstoffs sind in dem neuronalen Aktivierungsmuster, das sich über den gesamten Riechkolben erstreckt, enthalten und nicht in einer Teilmenge spezifisch aktivierter Nervenzellen.

Die Qualität eines Geruchsstoffs ist repräsentiert durch die räumliche Struktur des Aktivierungsmusters. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Geruchstoffmoleküle werden bestimmte Glomeruli stark, andere schwach und wieder andere gar nicht aktiviert.

Mit steigender Geruchsstoffkonzentration (Anzahl der Moleküle) nimmt die Zahl der aktivierten Glomeruli zu. Vergleichbar mit der Lautstärkeregelung kann auf diese Weise, so wird vermutet, eine Veränderung der Intensität unabhängig von der Qualität wahrgenommen werden. Bei zunehmender Konzentration können jedoch aufgrund der unterschiedlichen Affinität der einzelnen Rezeptoren zu bestimmten Moleküleigenschaften weitere, bisher nicht angesprochene Riechzellen aktiviert werden. Dadurch kann sich die Charakteristik des Aktivierungsmusters so verändern, dass eine andere Qualität wahrgenommen wird. So wird beispielsweise der Qualität des Geruchsstoffs Indol bei einer geringen Konzentration als blumig, bei einer höheren Konzentration jedoch als faulig beschrieben. In diesem Fall würde man davon sprechen, dass Intensität und Qualität nicht unabhängig voneinander wahrgenommen werden.

Das Aktivierungsmuster, das bei der mehrmaligen Darbietung desselben Geruchsstoffs erzeugt wird, ist nicht immer genau gleich. Aufgrund der unterschiedlichen Bindungsdauer an den Rezeptoren hat die räumliche Struktur des Aktivierungsmusters auch eine zeitliche Komponente, so dass eine Wahrnehmung die nachfolgende Wahrnehmung beeinflusst. Auf diese Weise können Gewöhnungs- oder auch Sensibilisierungseffekte zustande kommen.

Die hedonische Geruchswirkung, d.h. ob wir einen Geruch als Duft oder als Gestank bezeichnen, ist nicht angeboren. Bei der Verarbeitung der Ge-

Geruchseindrücke in höheren Gehirnzentren lernen wir in Abhängigkeit von den Erfahrungen, die wir mit dem Geruch gemacht haben, ob wir einen Geruch mögen oder nicht. Das Lernen beginnt jedoch schon vor der Geburt im Mutterleib, denn der menschliche Fötus nimmt über die Nabelschnur Geschmacks- und auch Geruchsstoffe des Speiseplans der Mutter auf. Mit zunehmendem Alter gewinnt der Mensch also an Geruchserfahrung. Dabei gibt es große kulturelle Unterschiede. So ist beispielsweise der Geruch von Käse für die deutsche Durchschnittsnase eher angenehm, für die japanische Nase jedoch unangenehm. Umgekehrt verhält es sich mit dem Geruch von getrocknetem Fisch.

Die Bewertung eines Geruchsreizes hinsichtlich seiner hedonischen Wirkung ist ein Teilaspekt einer gefühlsmäßigen (emotionalen) Reaktion. Trotz der prinzipiellen Subjektivität von Gefühlen verbinden verschiedene Menschen mit bestimmten Gefühlsqualitäten sehr ähnliche Vorstellungen. Mit Hilfe von Polaritätenprofilen [BERGLER, 1975] können emotionale Erlebnisqualitäten gemessen werden. Diese ergeben bei verschiedenen Beurteilern ein sehr gleichförmiges Bild und lassen sich gut zur Geruchsbeurteilung im Hinblick auf die Bewertung der hedonischen Geruchswirkung anwenden. Dabei lassen sich sowohl konkrete Geruchsreize als auch „vorgestellte“ Geruchskonzepte (z.B. Gestank und Duft) auf einer Dimension angenehm-unangenehm abbilden. In einer Modellstudie konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der Geruchsstoff Thiophenol eine große und Pfefferminz eine geringe Ähnlichkeit mit dem Konzept „Gestank“ aufweist [WINNEKE & KASTKA, 1975].

## **Bestimmung von Intensität und Hedonik**

Aufgrund der oben beschriebenen physiologischen Grundlagen der Geruchswahrnehmung sind einer wirkungsangemessenen messtechnischen Erfassung von Geruchsstoffimmissionen mittels chemisch-analytischer Verfahren Grenzen gesetzt. Bisher konnten keine einfachen und eindeutigen Zusammenhänge von chemischen Eigenschaften zu bestimmten Geruchseindrücken gefunden werden. So können beispielsweise Geruchsempfindungen noch bei Konzentrationen auftreten, die weit unter der Nachweisgrenze analytischer Verfahren liegen und ein identischer Geruchseindruck kann von unterschiedlichen Molekülen hervorgerufen werden.

Deshalb hat man sensorische Methoden zur Geruchsmessung entwickelt. Verfahren, die die menschliche Nase und deren nachgeschaltete nervöse Strukturen als Detektor benutzen, werden als olfaktorische Verfahren bezeichnet. Wichtige Anwendungsgebiete der olfaktorischen Messverfahren im Rahmen des technischen Umweltschutzes sind zum einen die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration an Geruchsquellen (olfaktometrische Emissionsmessung) und die Erfassung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen (Immissionsmessung).

Zur vollständigen Beschreibung einer Geruchsbelastung im Hinblick auf die (belästigende) Wirkung auf den Menschen sind mehrere Parameter notwendig:

- die Wahrnehmbarkeit des Geruchs (Wahrnehmungsschwelle, Erkennungsschwelle),
- die Häufigkeit und Dauer des Auftretens und die Fluktuation (zeitliche Schwankung der Konzentration),
- die Geruchsstärkeempfindung (Intensität),
- die hedonische Wirkung (angenehm – unangenehm Qualität),
- die Art des Geruchs (es riecht nach . . .).

Wirkungsbezogene Geruchserhebungsverfahren sollten objektive und reproduzierbare Messergebnisse liefern, d.h. systematische oder zufällige Fehler müssen vermieden werden. Daher wurden Richtlinien für die Durchführung einiger olfaktorischer Verfahren entwickelt. Für die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration liegt eine europäische Norm vor (CEN – EN 13725: Air Quality – Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry).

Ein standardisiertes Messverfahren für die Ermittlung der Geruchsintensität und der hedonischen Geruchswirkung unter Feldbedingungen im Rahmen einer Raster- oder Fahnenbegehung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes "*Untersuchungen zur Auswirkung von Intensität und hedonischer Geruchsqualität auf die Ausprägung der Geruchsbelästigung*" [SUCKER ET AL., 2003] entwickelt und wird demnächst in der Richtlinie VDI 3940 (Blatt 3) zur Verfügung gestellt.

Die Bestimmung der Geruchsintensität und der hedonischen Geruchswirkung erfolgt im Anschluss an die Durchführung einer Einzelmessung, bei der die Probanden in der Regel zehn Minuten an einem Messpunkt stehen und insgesamt 60 Riechproben protokollieren. Dabei werden nur die Takte mit Geruch be-

wertet, die vom Probanden eindeutig dem Anlagengeruch zugeordnet worden sind. *Das heißt, wenn unter den 60 Riechproben 10 Takte mit Anlagengeruch wahrnehmbar waren, dann werden Intensität und Hedonik nur im Hinblick auf diese 10 Takte bewertet.* Gibt es mehr als einen anlagenspezifischen Geruch, der mit Hilfe des Qualitätsschlüssels erfasst wird, so werden Intensität und Hedonik getrennt für diese beiden Geruchsqualitäten erfasst. *Das heißt, wenn unter den 60 Riechproben 10 Takte mit Anlagengeruch der Qualität a und 5 Takte mit Anlagengeruch der Qualität b waren, dann werden Intensität und Hedonik zum einen im Hinblick auf die 10 Takte der Qualität a und zum anderen im Hinblick auf die 5 Takte der Qualität b bewertet.* Auf diese Weise erhält man pro Einzelmessung für jeden Anlagengeruchgeruch, der im Qualitätsschlüssel vorhanden ist, genau einen durchschnittlichen Intensitäts- und einen Hedonikwert. Zur Beschreibung der Geruchsimmission im Umfeld einer Anlage ist die Bestimmung der Geruchsintensität und der hedonischen Geruchswirkung getrennt für alle während des Messzeitintervalls registrierten anlagenspezifischen Gerüche erforderlich.

In Abhängigkeit von der Fragestellung können zur Beschreibung der Geruchsintensität im Beurteilungsgebiet punkt- oder flächenbezogene Intensitätsmaße berechnet werden. Dient das Intensitätsmaß jedoch lediglich zur Charakterisierung der Geruchsimmissionen der gesamten Anlage, so wird nur ein durchschnittlicher Intensitätswert getrennt für jede anlagenspezifische Geruchsqualität ermittelt.

Da bei den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen [SUCKER ET AL., 2003] keine von den Probanden erkennbare Veränderung der hedonischen Geruchswirkung in Abhängigkeit von der Ausbreitung der Gerüche (Entfernung zur Anlage bzw. Verringerung der Geruchsstoffkonzentration) im Beurteilungsgebiet gefunden wurde, wird auf die Berechnung eines punkt- oder flächenbezogene Hedonikmaßes verzichtet. Zur Charakterisierung des Anlagengeruchs bzw. der einzelnen Geruchsqualitäten wird ein durchschnittlicher Hedonikwert berechnet.

Aus der Kenntnis der Geruchsintensität bzw. der hedonischen Geruchswirkung in der Umgebung einer Anlage lassen sich folgende Aussagen ableiten:

Wenn der Geruch in der Umgebung der Anlage erkennbar ist (Intensität = 1), kann der Geruch belästigend wirken. Die Geruchsintensität liefert Anhaltspunk-

te, um die Charakteristik des Anlagengeruchs und sein Belästigungspotential näher zu beschreiben. Die Bestimmung der Geruchsintensität ermöglicht außerdem eine Bewertung geruchsmindernder Maßnahmen. Bei dem Vergleich von Vorher-/ Nachher Messungen lässt sich feststellen, ob und in welchem Ausmaß eine vom Menschen erkennbare Geruchsintensitätsminderung im Umfeld der Anlage erreicht wurde.

Wenn der Geruch in der Umgebung der Anlage als unangenehm eingestuft wird, kann der Geruch belästigend wirken. Die Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung ermöglicht ebenfalls eine Bewertung geruchsmindernder Maßnahmen. In vielen Fällen ist die anteilige Zusammensetzung von Roh- und Reingas verschieden und die hedonische Wirkung kann sich so ändern, dass das Rohgas bei gleicher Konzentration negativer bewertet wird als das Reingas. Bei der Gesamtbewertung einer Minderungsmaßnahme kann daher durch den Vergleich von Vorher-/ Nachher Messungen festgestellt werden, ob und in welchem Ausmaß eine vom Menschen erkennbare Veränderung des typischen Rohgasgeruches in Richtung auf eine Verbesserung seiner hedonischen Wirkung im Umfeld der Anlage erreicht wurde. Liefert die Ermittlung der hedonischen Geruchswirkung das Ergebnis, dass es sich um einen eindeutig hedonisch angenehmen Geruch handelt, so kann davon ausgegangen werden, dass die belästigende Wirkung dieses Geruchs geringer ausgeprägt ist als bei einem gleich häufig auftretenden (Häufigkeit) oder gleich intensiven (Geruchsstärke) aber hedonisch unangenehmen oder "neutralen" Geruch [SUCKER ET AL., 2003].

Aufgrund dieser Hedonik-Messungen kann jedoch keine abschließende Aussage dazu gemacht werden, ob es sich um einen *hedonisch eindeutig angenehmen* Geruch handelt. Dazu dient die Methode der Polaritätenprofile. Sie stellt ein Verfahren zur quantitativen Analyse der subjektiven Bedeutung von Begriffen oder Vorstellungen dar, bei dem die gelenkte Assoziation zu einem Konzept (z.B. Duft, Gestank) oder zu einem Anlagengeruch (z.B. Bäckerei, Kläranlage) und die Bewertung kombiniert sind. Mit Hilfe von Adjektivpaaren (stark-schwach, kalt-warm, anregend-entspannend, angenehm-unangenehm, etc.) wird hierbei die Ähnlichkeit des Verhaltens gegenüber einem Objekt, nicht das Objekt selbst gemessen. Auch diese Methode wird in der geplanten Richtlinie VDI 3940 Blatt 3 beschrieben. Eine abschließende Beurteilung der *tatsächlichen* Belästigungssituation ist mit olfaktometrischen Methoden allein nicht mög-

lich. Hier können zusätzliche Belästigungsbefragungen mit sozialwissenschaftlichen Methoden (Anwohnerbefragungen) hilfreich sein [Richtlinie VDI 3883].

## Geruchswirkungen und Geruchsbelästigung

Bei der umwelthygienischen Bewertung von Geruchsimmissionen steht die Wirkung auf den Menschen im Vordergrund. Von Extremfällen ekel- und übelkeitserregender Geruchsstoffe abgesehen (STEINHEIDER ET AL., 1993), wird eine krankmachende Wirkung von Geruchsstoffimmissionen durchweg verneint. Zwar klagen Anwohner industrieller / gewerblicher Geruchsstoffquellen vermehrt über somatische Beeinträchtigungen, wie etwa Schlafstörungen, Übelkeit oder Atembeschwerden (STEINHEIDER ET AL., 1998), jedoch werden diese körperlichen Symptome typischerweise der Geruchswirkung zugeschrieben (attribuiert), aber nicht von ihr hervorgerufen. Zumindest fehlen bislang hinreichende Belege für einen derartigen Kausalzusammenhang, außer in Fällen extremer Immissionsbelastung.

Die Äußerung von Befindlichkeitsstörungen und die Beeinträchtigung des Wohlbefindens wird unter dem Begriff der *Geruchsbelästigung* zusammengefasst. Dabei muss zwischen der Wahrnehmung der (unerwünschten) Gerüche und den dadurch ausgelösten psychischen Prozessen (z.B. Besorgnis wegen schädlicher Wirkungen) unterschieden werden.

Im allgemeinsten Sinne handelt es sich bei der *Geruchsbelästigung* um die *negative Bewertung einer fremdbestimmten, durch unerwünschte Geruchsempfindungen geprägten Situation, die von einem Gefühl der Verärgerung über eine Behinderung erwünschter Aktivitäten (z.B. Joggen, Lüften, im Garten sitzen) begleitet wird* (GUSKI, 1987).

Das hier vorgestellte Belästigungskonzept basiert auf Ergebnissen und Theorien aus der Stress- und Attributionsforschung. Hier wird die Belästigung als psychologischer Stress und die sie auslösenden Geruchsimmissionen als Umweltstressoren eingeordnet. Der Zusammenhang zwischen Geruchsbelästigungen und psychosomatischen Störungen ist ebenso klärungsbedürftig wie Ähnlichkeiten und/oder Unterschiede zu anderen Umweltbelästigungen (z.B. Lärm, Staub).

Der Belästigungsbegriff ist als Rechtsfigur der Alltagssprache entnommen. Im Rahmen der immissionsschutzrechtlichen Regelung werden Immissionswerte

für die höchstzulässige Geruchsimmission festgelegt, um die Bevölkerung vor einer „erheblichen“ Geruchsbelästigung zu schützen (BImSchG, § 3 Abs. 1, GIRL).

## **Dosis-Wirkungszusammenhänge für Geruchsbelästigungen**

Die Erfassung der Geruchsbelästigung erfolgt fragebogengestützt mittels ein- oder mehrdimensionaler Belästigungsskalen im Rahmen sozialwissenschaftlicher Erhebungen (Richtlinie VDI 3883 Blatt 1). Als eindimensionale Belästigungsskala hat sich das Belästigungsthermometer, eine graphische Skala mit elf Stufen, bewährt. Um die Qualität der Anwohnerbefragung zu prüfen, wird zusätzlich eine fünfstufige verbale Skala verwendet. Um den Prozentsatz an stark belästigten Personen zu bestimmen, werden mit Hilfe der folgenden Frage sog. „Unzumutbarkeitsurteile“ erhoben:

Liegt eine unzumutbare Belästigung durch Gerüche vor – Ja oder Nein?.

Das Ergebnis von Geruchsbelästigungserhebungen im Zusammenhang mit der Expositionserfassung wird in Form von Dosis-Wirkungs-Beziehungen dargestellt. Unter Verwendung von Zusatzkriterien (Symptome, Unzumutbarkeitsurteile) steht ein wissenschaftliches Instrumentarium zur Verfügung, mit dessen Hilfe hinreichend eindeutige Bewertungskriterien in Form von Immissionswerten abgeleitet werden können.

Im Fall der Geruchsbeurteilung in Deutschland wurde der Bereich zwischen 10% und 20% Jahresstunden mit Geruch als kritisch im Sinne § 3 BImSchG vorgeschlagen (STEINHEIDER & WINNEKE, 1992) und in der Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) berücksichtigt.

Das Forschungsprojekt „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Grundlagen für ein Beurteilungssystem für Geruchsimmissionen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen auf der Basis von Belastungs- und Belästigungsuntersuchungen zu entwickeln.

Das auf drei Jahre ausgelegte Verbundprojekt der Länder Niedersachsen, Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Nordrhein-Westfalen wurde vom Landesumweltamt NRW (LUA) koordiniert. Die in Baden-Württemberg im Projekt "Wissenschaftliche Untersuchungen zur GIRL-Anwendung unter den speziellen

Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion ("GIRL-Projekt BW")" erhobenen Daten wurden bei der Auswertung der Gesamtergebnisse miteinbezogen.

In insgesamt elf Untersuchungsgebieten wurde die Geruchsbelastung und die Geruchsbelästigung durch folgende Tierarten untersucht: Baden-Württemberg – 4 Untersuchungsgebiete (Schwein); Mecklenburg-Vorpommern – 1 Untersuchungsgebiet (Schwein); Niedersachsen – 2 Untersuchungsgebiete (Schwein, Geflügel); Nordrhein-Westfalen – 3 Untersuchungsgebiete (2 x Rind, Geflügel); Sachsen – 1 Untersuchungsgebiet (Rind).

Auf fast allen Beurteilungsflächen bzw. an den Einzelmesspunkten in den elf Untersuchungsgebieten wurden landwirtschaftliche Gerüche (Geflügel, Schwein, Rind, Pferd, Gülle, Mist, Silage) festgestellt. Die höchsten Geruchsbelastungen mit bis zu 70% Geruchshäufigkeit wurden für die Geruchsqualität „Schwein“ gefunden. Im Zusammenhang mit Geflügelgerüchen lagen die maximalen Geruchshäufigkeiten deutlich niedriger bei 14% und im Zusammenhang mit der Geruchsqualität "Rind" bei 21%.

Beim Vergleich der Probandenangaben zu Intensität und Hedonik mit den Angaben der Anwohner zeigt sich eine zufrieden stellende Übereinstimmung der Werte. Damit konnte gezeigt werden, dass die mit Hilfe der Probanden gewonnenen Daten hinreichend genau die Wahrnehmung der Anwohner widerspiegeln und somit ein gutes Maß für die Charakterisierung der Immissionsbelastung durch landwirtschaftliche Tierhaltungsgerüche darstellen. Die Geruchsqualitäten "Geflügel" und "Schwein" werden übereinstimmend als "schwach" bis "deutlich" wahrnehmbar bewertet. Im Vergleich dazu wird die Geruchsqualität "Rind" als weniger intensiv eingestuft. Hierbei unterscheiden sich die Anwohnerangaben von denen der Probanden. Für die Anwohner liegt die Intensität der Rindergerüche im Bereich "sehr schwach" bis "schwach", für die Probanden im Bereich "schwach" bis "deutlich".

Im Hinblick auf die Hedonikurteile zeigt sich, dass die Geruchsqualitäten "Geflügel", "Schwein" und „Rind“ übereinstimmend als "eher unangenehm" bis "unangenehm" bewertet werden. Die Geruchsqualität "Rind" wird im Vergleich dazu als weniger unangenehm eingestuft. Es gibt keinen statistisch bedeutsamen Unterschied zwischen den Probanden- und Anwohnerangaben. Alle drei Tierarten werden übereinstimmend als unangenehm bewertet.

Der Expositions-Wirkungszusammenhang ist statistisch signifikant. Mit steigender Geruchsbelastung durch landwirtschaftliche Gerüche (Geruchshäufigkeit in Prozent der Jahresstunden) nimmt auch der Belästigungsgrad der Anwohner zu (Expositions-Wirkungszusammenhang).

Die nach Tierarten (Geflügel, Schwein, Rind) differenzierte Geruchsqualität ist immissionsseitig eindeutig wirkungsrelevant und sollte bei der Beurteilung der "Erheblichkeit" der Belästigung durch Geruchsimmissionen aus der Landwirtschaft berücksichtigt werden. Es ergeben sich signifikante Wirkungsunterschiede zwischen den untersuchten Tierarten. Die Wirkungsrelevanz kann aus den in dieser Studie ermittelten Expositions-Wirkungskurven für die "sehr stark Belästigten" abgeleitet werden. Die Geruchsqualität "Rind" wirkt kaum belästigend, gefolgt von der Geruchsqualität "Schwein" mit einer deutlich größeren Belästigungswirkung und der Geruchsqualität "Geflügel" mit der stärksten Belästigungswirkung.

Aufgrund der einheitlichen hedonischen Klassifikation der Tierhaltungsgerüche (Geflügel, Schwein, Rind) als unangenehm hat sich der Parameter Hedonik im Rahmen des hier untersuchten Anlagenspektrums als nicht wirkungsrelevant erwiesen. Gleiches gilt für die Geruchsintensität.

## Die Methode der Polaritätenprofile

Bei der Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung mit der Methode der Polaritätenprofile [BERGLER, 1975] kann der von einer Anlage emittierte Geruch dann als *hedonisch eindeutig angenehm* eingestuft werden, wenn die Auswertung das Ergebnis liefert, dass der Anlagengeruch eindeutig dem Konzept „Duft“ zugeordnet werden kann. Treten an einzelnen Anlagenteilen unterschiedliche Geruchsqualitäten auf, so wird für jede Geruchsqualität eine hedonische Beurteilung durchgeführt. Im Einzelfall kann es möglich sein, dass nur von einzelnen Anlagenteilen oder bei der Herstellung bestimmter Produkte ein *hedonisch eindeutig angenehmer* Geruch emittiert wird. Besonders zu beachten sind Geruchsqualitäten, die sich mit der Entfernung zur Anlage verändern.

Die Erfassung der hedonischen Geruchswirkung mit der Methode der Polaritätenprofile erfolgt in zwei Arbeitsschritten:

- (1) Das Erstellen der Polaritätenprofile für das Konzept „Duft“ und das Konzept „Gestank“.
- (2) Das Erstellen von Polaritätenprofilen vor Ort für den jeweiligen Anlagengeruch, ggf. in unterschiedlichen Entfernungen zur Anlage.

Bei der Auswertung werden die Profilwerte auf der linken Seite als Minus- und auf der rechten Seite als Plus-Zahlen eingegeben. Anschließend werden die Zahlenwerte für die einzelnen Wortpaare jedes/jeder einzelnen Probanden/Probandin mit vorgegebenen Hedonik-Faktorscores gewichtet, d.h. multipliziert. Die gewichteten Werte für jedes Wortpaar werden dann über alle Probanden arithmetisch gemittelt. Der Vergleich mit den repräsentativen „Gestank“- und „Duft“-Profilen, die anhand von 180 Gestank- und Duft-Profilen ermittelt wurden, erfolgt mit Hilfe einer Produkt-Moment-Korrelation. Der PM-Korrelationskoeffizient ist ein häufig benutztes Ähnlichkeitsmaß in Untersuchungen mit dem Polaritätenprofil. Die gewichteten und gemittelten Daten können als Profil zusammen mit den repräsentativen „Gestank“- und „Duft“-Profilen graphisch dargestellt werden. Um als hedonisch eindeutig angenehme Anlage klassifiziert zu werden, muss die Korrelation zwischen dem Polaritätenprofil für den Anlagengeruch und dem repräsentativen „Duft“-Profil größer als 0,5 und dem repräsentativen „Gestank“-Profil kleiner als -0,5 sein.

## Literatur

- Boeker, P. Die Objektivierung des Geruchseindrucks, Messung und Modellierung. Habilitationsschrift, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2003.
- Bergler, R. (Hrsg): Das Eindrucksdifferential. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber 1975.
- CEN prEN 13725. Air Quality – Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. Draft European Standard. Brussels, Belgium, 1999.
- Guski, R. Lärm – Wirkungen unerwünschter Geräusche. Bern: Huber, 1987.
- Steinheider, B., Winneke, G. Materialienband zur Geruchsimmisions-Richtlinie in Nordrhein-Westfalen – Psychologische und epidemiologische Grund-

lagen der Wahrnehmung und Bewertung von Geruchsimmissionen. Interner Bericht im Auftrag des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 1992.

Steinheider, B., Winneke, G., Schlipköter, H. W. Somatische und psychische Wirkungen intensiver Geruchsimmissionen: Eine Fallstudie aus der Substratherstellung für die Champignonzucht. Staub – Reinhalt Luft 53, 1993, 425-431.

Steinheider, B., Both, R., Winneke, G. Field studies on environmental odours inducing annoyance as well as gastric and general health related symptoms. J Psychophysiol 12, Suppl. 1, 1998, 64-79.

Sucker, K., Bischoff, M., Krämer, U., Kühner, D., Winneke, G. Untersuchungen zur Auswirkung von Intensität und hedonischer Geruchsqualität auf die Ausprägung der Geruchsbelästigung. Forschungsbericht des MIU, Düsseldorf, und der Fa. deBAKOM, Odenthal, im Auftrag des MUNLV NRW (Herausgeber), Düsseldorf, des MUV BW, Stuttgart, und des VCI e.V., Frankfurt. Düsseldorf, Januar 2003.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Wirkung und Bewertung von Gerüchen – Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung – Fragebogentechnik. (VDI 3883). Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure; in Vorbereitung.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen - Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen, Rastermessung. (VDI 3940 / 1). Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2003

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen - Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld (VDI 3940 / 3). Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, in Vorbereitung.

Winneke, G., J. Kastka: Wirkung von Geruchsstoffen auf den Menschen. VDI-Berichte 226. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1975.