

# Messen von Geruchsstoffkonzentrationen, Erfassen von Geruch

Von Frithjof Schoedder, Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode\*\*)

DK 614.71:613.157:53.08

Das Messen von Geruchsstoffen hat zum Ziel, die Menge der in einem bestimmten Luftvolumen enthaltenen Geruchsstoffe zu ermitteln. Mit solchen Meßwerten lassen sich Belastungen am Ort des Einwirkens erfassen oder die Wirksamkeit von Abscheideverfahren für Geruchsstoffe bestimmen.

Wegen der großen Zahl verschiedener Geruchsstoffe, die fast immer im Gemisch und in kleinen Konzentrationen auftreten, stehen chemisch analytische Verfahren für das Messen derzeit allgemein noch nicht zur Verfügung. Der derzeit am besten praktikable Weg ist eine Messung in Verbindung mit der menschlichen Nase.

## 1. Einleitung

Im Rahmen der steigenden Anforderungen an den Zustand der Umwelt werden auch die bei der Tierhaltung entstehenden und emittierten Geruchsstoffe vielfach als Belästigung empfunden, so daß u.a. Nachbarschaftsklagen in größerer Zahl die Gerichte beschäftigen [1]. Das verstärkte Interesse der Öffentlichkeit an Fragen des Umwelt- und Arbeitsschutzes führt zu gesetzlichen Regelungen, mit denen Grenzwerte für die Belastung der Umwelt – auch hinsichtlich von Geruchsstoffen – eingeführt werden [2 bis 4].

Dementsprechend gewinnen Fragen des Umweltschutzes bei der technischen Weiterentwicklung von Produktionsverfahren an Bedeutung. Dies bedeutet für die Landwirtschaft, die Verfahren der Tierproduktion so weiterzuentwickeln, daß das Auftreten von Geruchsstoffen eingeschränkt wird.

Für die Arbeiten zur Verbesserung der Produktionsverfahren im vorgenannten Sinne sowie für die Erfassung auftretender Belastungen in der Umwelt wie am Arbeitsplatz sind Meßverfahren notwendig, mit denen man die verschiedenen Belastungen messen kann. Während für Belastungen durch Staub oder Lärm in längerer Zeit schon geeignete Meßverfahren entwickelt wurden, stehen für Belastungen durch Geruchsstoffe entsprechende Meßverfahren bisher noch nicht zur Verfügung.

\*\*) Die Messungen mit dem Olfaktometer wurden von einem Meßteam des Instituts unter der Leitung von Dr.-Ing. Gerhard Wächter ausgeführt und von Herrn Rolf Bruer betreut und ausgewertet. Allen Beteiligten sei für ihre intensive Mitwirkung an dieser Arbeit herzlich gedankt.

\*) Dr. F. Schoedder ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Es wird daher im folgenden eine Übersicht über die verschiedenen Verfahren zur Messung von Geruchsstoffen gegeben und das Verfahren der Messung mit dem Olfaktometer eingehend dargestellt.

## 2. Definitionen

Im Sinne einer eindeutigen Verständigung werden zunächst die wichtigsten Begriffe vorgestellt, zumal sie zum Teil in der Fachsprache mit einer vom Sprachgebrauch des täglichen Lebens abweichenden Bedeutung benutzt werden.

In Bild 1 ist vereinfacht als Schema gezeigt, wie Erscheinungen in der Umwelt als Reize von den Sinnesorganen aufgenommen werden und sich durch Verarbeitung der Reize im Sinnesorgan und Gehirn eine Empfindung bildet.

Für den Geruch ergibt sich die Wirkungskette:

Geruchsstoff – Nase – Gehirn – Geruchsempfindung.

In dieser Kette ist nur das erste Glied objektiv meßbar – soweit genügend empfindliche Meßverfahren vorliegen – bei den weiteren Gliedern der Kette wirken sich individuelle Eigenschaften aus, die zu einer subjektiven Bewertung führen.

Es gilt:

Geruchsstoffe sind Stoffe, die bei ausreichender Konzentration als Reiz auf den Geruchssinn einwirken und so die Empfindung Geruch verursachen. Als Geruchsstoffe können chemisch reine Stoffe oder Stoffgemische auftreten. Hier wird als Geruchsstoff in der Luft, soweit nicht auf Abweichungen hingewiesen wird, die Gesamtheit der jeweils enthaltenen geruchswirksamen Stoffe verstanden.

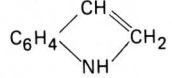
Als Geruch wird die Empfindung bezeichnet, die sich als Ergebnis eines Riechvorgangs einstellt.

Geruchsschwelle wird die kleinste Konzentration des Geruchsstoffes in der Atemluft genannt, die noch die Empfindung Geruch hervorruft. Es werden hier vielfach zwei Schwellen unterschieden: die Wahrnehmungsschwelle, das ist die Konzentration eines Geruchsstoffes in der Atemluft, bei der gerade die Empfindung Geruch auftritt, ohne daß jedoch die Art des Geruchs angegeben werden könnte, und die Identifikationsschwelle, eine etwas höhere Konzentration des Geruchsstoffes in der Atemluft, bei der auch das Erkennen der Art des Geruches möglich ist.



Bild 1. Wirkungskette beim Entstehen einer Empfindung als Folge eines Umweltreizes.

Die Werte für die Geruchsschwelle sind für verschiedene Geruchsstoffe sehr unterschiedlich. Als Beispiel sind Werte für einige in der Tierhaltung als Komponenten des Geruchsstoffgemisches auftretende Stoffe in **Tafel 1** aufgeführt. Die Geruchsschwelle ist die wichtigste Größe, um die Wirkung eines Geruchsstoffes auf den Geruchssinn zu kennzeichnen. Da die Werte für die Wahrnehmungsschwelle relativ unsicher und schlecht reproduzierbar sind, schlagen *Leonardos* u. Mitarbeiter [5] vor, bevorzugt mit der Identifikationsschwelle zu arbeiten.

		Molekulargewicht	Geruchsschwellenwert [ppm]
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	17,03	5
Monomethylamin	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31,06	0,021 (+)
Trimethylamin	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	59,11	0,00021 (+)
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	34,08	0,00047 (+)
Methylmerkaptan	CH <sub>3</sub> SH	48,10	0,0021 (+)
Essigsäure	CH <sub>3</sub> COOH	60,05	0,19
Buttersäure	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	88,10	0,005
Diacetyl	CH <sub>3</sub> COCOCH <sub>3</sub>	86,09	0,00065
Indol		117,14	0,00012
Skatol	—	131,17	0,00010
p-Kresol	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	108,13	0,0021

**Tafel 1.** Eigenschaften einiger bei der Tierhaltung auftretender Geruchsstoffe, (+) Werte nach *Leonardos u.a.* [5] sonst nach *Weurmann* [6].

Der Geruchssinn ist individuell sehr unterschiedlich ausgebildet, die individuellen Geruchsschwellenwerte überdecken einen Bereich von 1 : 10<sup>4</sup> [7] bei einer größeren Population, so daß der für einen Geruchsstoff angegebene Geruchsschwellenwert als der 50 %-Wert für eine hinreichend große Population definiert wird. Liegt dieser Geruchsschwellenwert für einen Geruchsstoff vor, so ist der individuelle Geruchsschwellenwert ein Maß für das Riechvermögen des Individuums im Vergleich zu anderen.

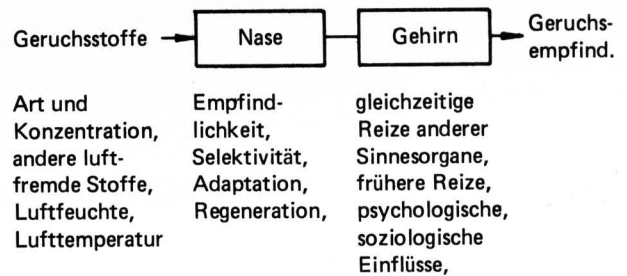
### 3. Geruchsstoff und Geruch

Entsprechend der genannten Wirkungskette ist deutlich zu unterscheiden zwischen dem Geruchsstoff, der Ursache, und dem Geruch als der hervorgerufenen Wirkung.

Die Ursache Geruchsstoff in der Umgebungsluft ist prinzipiell, d.h. bei Vorliegen genügend empfindlicher Bestimmungsverfahren, objektiv zu messen und eindeutig zu beschreiben durch Angabe der chemischen Zusammensetzung und der Konzentration der einzelnen Geruchsstoffe in der Luft.

Beim Entstehen der Wirkung, des Geruchs, wirkt sich, wie **Bild 2** zeigt, eine große Zahl individueller physischer Einflüsse (an der Nase) und auch psychischer Einflüsse (im Gehirn) aus, so daß der Geruch eine individuell sehr unterschiedliche Größe ist. Aus diesem Grund und weil dem Geruchssinn analog arbeitende technische Meßsysteme nicht verfügbar sind, kann der Geruch nicht gemessen werden.

Die Empfindung Geruch ist nur verbal zu beschreiben. Dabei sind vor allem drei Beurteilungskriterien, **Tafel 2**, von Bedeutung: die Intensität, die Qualität und die Lästigkeit des Geruchs. Diese Größen beeinflussen sich auch gegenseitig, so ist vielfach die Qualität auch von der Intensität abhängig, und die Lästigkeit wird sowohl von der Qualität wie von der Intensität bestimmt.



**Bild 2.** Einflußgrößen bei der Entstehung einer Geruchsempfindung.

Begriff	Erläuterung	Aussage	Bestimmende Eigenschaft des Geruchstoffes
Intensität	Stärke der Geruchswahrnehmung	z.B.: geruchlos, deutlich, äußerst stark	Konzentration, Löslichkeit, Flüchtigkeit
Qualität	Eigenschaft, durch die sich ein Geruch von anderen unterscheidet	z.B.: riecht nach Rosen	Molekülaufbau
Lästigkeit	Grad der Erträglichkeit	z.B.: angenehm, unerträglich	Konzentration, Molekülaufbau

**Tafel 2.** Kriterien bei der Beurteilung von Geruchsproben.

Die Intensität beschreibt die Stärke der Geruchswahrnehmung. Die Skala reicht von der Geruchsschwelle (geruchlos) bis zu einem Höchstmaß, das etwa mit "äußerst stark" bezeichnet werden kann. Zwischen diesen Grenzen sind ohne Hilfsmittel nur 5 bis 7 Stufen zu unterscheiden [8, 9]. Die Intensität hängt ab von der Art des Geruchsstoffs und seinen Eigenschaften, wie z.B. Löslichkeit und Flüchtigkeit, vor allem aber von seiner Konzentration.

Für den Zusammenhang zwischen Konzentration des Geruchsstoffs und Intensität, der als Dosis-Wirkung-Beziehung bezeichnet werden kann, wird allgemein die als Weber-Fechnersches Gesetz bekannte Beziehung angegeben [u.a. 10, 11]:

$$E = k \log c$$

mit E für die Intensität der Geruchsempfindung, einer Konstante k und c für die Stärke des Geruchsreizes, im allgemeinen die Konzentration des Geruchsstoffes. Bei Gültigkeit dieser Gesetzmäßigkeit, die sich in analoger Form in weiten Bereichen von Optik und Akustik bewährt hat, stellt sich der Zusammenhang im einfach logarithmischen Netz als Gerade dar.

Aufgrund seiner Ergebnisse bei Messungen mit verschiedenen Reizen (elektrische und mechanische Reize, Geschmacks- und Geruchsstoffe) hat *Stevens* [12] die allgemeinere Formulierung mit einer Potenzfunktion vorgeschlagen, die auch dem Einfluß des wechselnden Schwellenwertes Rechnung trägt:

$$E = k (c - c_0)^n \quad \text{oder}$$

$$\log E = \text{const} + n \log (c - c_0),$$

worin  $c_0$  der Schwellenwert des Reizes ist. Bei der Darstellung im doppeltlogarithmischen Netz, wie es in **Bild 3** rein qualitativ gezeigt wird, ergeben sich für verschiedene Geruchsstoffe Geraden mit unterschiedlicher Lage und Steigung. Auch individuell sind die Dosis-Wirkung-Beziehungen unterschiedlich.

Unter der Qualität wird die spezifische Eigenart des Geruchs verstanden. Eine Beschreibung geschieht hier durch Vergleich mit allgemein bekannten Gerüchen, die ihrerseits nach ihrer Herkunft benannt werden (z.B. Rosenduft).

Hinsichtlich der Geruchs-Qualität ist das Unterscheidungsvermögen des Menschen sehr gut entwickelt. Es läßt sich eine große Zahl verschiedener Gerüche unterscheiden und, um diese überschaubar zu machen wird versucht, ein System von wenigen Grundgerüchen zu entwickeln.

Die Qualität des Geruchs ändert sich zum Teil in Abhängigkeit von der Konzentration des Geruchsstoffes, wird aber im wesentlichen bestimmt von der Art des Geruchsstoffes, seinem Molekülaufbau. So ergeben Verbindungen mit charakteristischen chemischen Gruppen bestimmte ähnliche Geruchs-Qualitäten, doch läßt sich allgemein ein Zusammenhang von Molekülaufbau und Geruchs-Qualität noch nicht angeben.

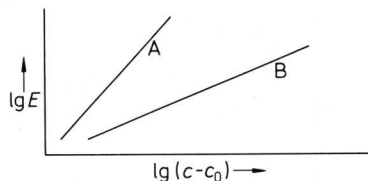


Bild 3. Dosis-Wirkungs-Beziehungen für zwei Geruchsstoffe A und B.

Mit dem Kriterium Lästigkeit des Geruchs wird eine Aussage gemacht über die Erträglichkeit einer Geruchsempfindung. Die Skala der Werte für die Lästigkeit läßt sich mit den Wertungen angenehm und unerträglich umreißen. Auch auf dieser Skala sind mit dem uns eigenen Unterscheidungsvermögen nur etwa 5 bis 7 verschiedene Stufen anzugeben. Das Urteil über die Lästigkeit ist stark subjektiv bestimmt, es wird oft spontan gefällt [13] und überdeckt die Urteile bezüglich der Intensität und Qualität, und es ist von Alter, Geschlecht und sozialen Einflüssen abhängig [9]. Als bestimmende Größen des Geruchsstoffes für die Lästigkeit des Geruchs sind die Konzentration und die Art des Geruchsstoffes anzusehen. Zwar läßt sich in einigen Fällen eine Verbindung herstellen zwischen dem Molekülaufbau (bestimmte chemische Gruppen) und der Lästigkeit, doch ist auch hier eine allgemeine Ableitung der Lästigkeit aus dem chemischen Aufbau der Geruchsstoffe nicht möglich.

Die aufgezeigten Zusammenhänge zwischen Geruchsstoff und Geruch lassen erkennen, daß es mit dem bisherigen Kenntnisstand nicht möglich ist, generell über eine Bestimmung von Art und Konzentration des Geruchsstoffes eine Aussage über den vom Menschen wahrgenommenen Geruch zu gewinnen.

Für einzelne definierte Geruchsstoffe sind die Gegebenheiten günstiger. Sind die Beziehungen zwischen Geruchsstoff und Geruch einmal geklärt, dann läßt sich allein durch eine Messung der Konzentration des Geruchsstoffes mit einer nachfolgenden Bewertung auch die Wirkung auf den Menschen angeben. In diesem Rahmen ist die Ermittlung der Dosis-Wirkungs-Beziehungen von Bedeutung. Wegen der aufwendigen und schwierigen Ermittlung dieser Zusammenhänge liegen bisher nur für wenige Geruchsstoffe die Werte vor [14].

Ähnliches gilt bei Messungen in der Praxis, wenn die Art des Geruchsstoffes unverändert bleibt. Es genügt dann vielfach die Messung der Konzentration der Geruchsstoffe, um Belastungen in einer Produktionsanlage oder die Wirksamkeit von Behandlungsverfahren für die Abluft zu beurteilen.

#### 4. Übersicht über Verfahren

Ausgehend von den verschiedenen Bereichen bei der Entstehung einer Geruchsempfindung (Bild 1 und 2), lassen sich die Verfahren zur Ermittlung von Geruchsstoffen in der Luft drei Gruppen zuordnen:

- 4.1 Messen der Geruchsstoffkonzentration
  - 4.1.1 Messen der Geruchsstoffkonzentration mit chemischen und physikalischen Verfahren
  - 4.1.2 Messen der relativen Geruchsstoffkonzentration durch Verdünnen bis zur Wahrnehmungsschwelle in Verbindung mit der menschlichen Nase als Detektor
- 4.2 Erfassen von Intensität und Lästigkeit eines Geruchs durch Befragen

#### 4.1 Messen der Geruchsstoffkonzentration

Eine Konzentrationsmessung beinhaltet, daß eine repräsentative Probe der zu bewertenden Luft entnommen wird und die enthaltenen Geruchsstoffe nach Art und Menge bestimmt werden. Das bedeutet für das Bestimmen der Probenmenge im allgemeinen eine Volumenbestimmung und je nach der gewünschten Konzentrationsangabe ( $\text{mg}/\text{m}^3$  oder ppm) eine Bestimmung der Masse (mg) oder Menge (mol) des Geruchsstoffes.

##### 4.1.1 Messen der Geruchsstoffkonzentration mit chemischen oder physikalischen Verfahren

Für das Bestimmen gasförmiger luftfremder Stoffe liegt eine breite Palette von chemischen und physikalischen Verfahren der Gasanalyse vor [15, 16], die in **Tafel 3** zusammengestellt sind.

Messen von Einzelstoffen	chemisch	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. über den Verbrauch an Reagentien</li> <li>2. fotometrisch, Intensität der Farbreaktion</li> <li>3. Volumenänderung</li> <li>4. Gasspürröhrchen</li> </ol>
	physikalisch	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wärmeleitfähigkeit</li> <li>2. Wärmetönung</li> <li>3. Ultrarotabsorption</li> <li>4. Flammenionisation</li> <li>5. Elektroneneinfang</li> <li>6. Coulometrisch</li> </ol>
Messen von Stoffgemischen mit gleichen reaktiven Gruppen	chemisch	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. über den Verbrauch an Reagentien</li> <li>2. fotometrisch</li> </ol>
Analyse von Vielstoffgemischen	physikalisch-chemisch	<p>Trennen</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gaschromatographie</li> <li>2. Dünnschichtchromatographie</li> <li>3. Massenspektrometer</li> </ol> <p>Nachweis</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Farbreaktion</li> <li>2. physikalisch wie bei Einzelstoffen 1 ... 6</li> </ol>

Tafel 3. Übersicht über Verfahren der Gasanalyse zum Nachweis luftfremder Gase [15, 16].

Die zum Messen von Einzelstoffen aufgeführten Verfahren sind aus verschiedenen Gründen nur in Sonderfällen für den quantitativen Nachweis von Geruchsstoffen brauchbar, weil u.a. die Empfindlichkeit des Geruchssinnes sehr viel größer ist als die der angegebenen Meßverfahren, zum anderen weil es sich meist um Gemische zahlreicher Geruchsstoffe mit unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften handelt, so daß nur nach Anreicherung und Trennung eine Analyse möglich ist.

Größere Bedeutung kommt daher den Verfahren zu, mit denen in Stoffgemischen alle Stoffe erfaßt werden, die gleiche reaktive Gruppen aufweisen und die als chemische Gruppe auch dann meßbar sind, wenn die Konzentration der Einzelkomponente zur Analyse nicht mehr ausreicht [16]. Diese Verfahren können ebenso wie die Bestimmung der Gesamtmenge der verbrennbaren organischen Substanz [17] zwar nur einen groben Anhalt über die Konzentration und Wirkung der in der Luft enthaltenen Geruchsstoffe geben, doch reicht das vielfach aus, um beispielsweise den Wirkungsgrad von Luftreinigungsverfahren zu bestimmen.

Die derzeit empfindlichste Analyse der mit Geruchsstoffen beladenen Luft ist mit den Verfahren der Chromatographie in Verbindung mit Infrarotspektroskopie und Massenspektroskopie möglich [18]. Auch diese Verfahren sind meist an eine Anreicherung während der Probenahme gebunden, so daß die Gefahr von Stoffveränderungen gegeben ist. Mit der Gaschromatographie wird in Luftproben aus Ställen und Güllebehältern [6, 18] eine Vielzahl von Stoffen nachgewiesen. Nur durch gleichzeitiges Riechen an einer Öffnung am Ende der Trennsäule parallel mit dem Nachweis der Verbindungen im Detektor [6, 19, 20] ist es möglich festzustellen, welche der Stoffe als Geruchsstoffe anzusehen sind. Für diese Stoffe ist der Geruchsschwellenwert festzustellen, damit aus der Konzentrationsangabe auf die Geruchswirksamkeit geschlossen werden kann.

In vielen Versuchen hat der Einsatz von Gaschromatographen zum Messen von Geruchsstoffen in der Luft schon gute Ergebnisse erbracht. Da für die Zukunft mit einer weiteren Verbesserung der Verfahren gerechnet werden kann, ist anzunehmen, daß sie in Zukunft bei der Erforschung von grundlegenden Kenntnissen über Geruchsstoffmischungen eine wichtige Rolle spielen werden. In naher Zukunft werden für die schnelle Beurteilung von Emissionen und Immissionen von Geruchsstoffen andere Verfahren die größere Bedeutung haben.

#### 4.1.2 Messen der relativen Geruchsstoffkonzentration durch Verdünnen bis zur Wahrnehmungsschwelle

Die im Vergleich mit den physikalisch-chemischen Analysenverfahren große Empfindlichkeit des menschlichen Geruchssinnes legt es nahe, ihn bei der Ermittlung von Geruchsstoffkonzentrationen in das Meßverfahren einzubeziehen. Dabei muß es darauf ankommen, die guten Eigenschaften des Geruchssinnes, wie große Empfindlichkeit und gutes Unterscheidungsvermögen zwischen verschiedenen Geruchsstoffen, auszunutzen und die nachteiligen Einflüsse, wie Ermüdung des Geruchssinnes, Einflüsse aus der Umgebung, psychologische Einflüsse, in ihrer Auswirkung auf das Meßergebnis klein zu halten. Der apparative Teil der Meßeinrichtung dient dazu, dem Geruchssinn den Geruchsstoff in unterschiedlicher Konzentration anzubieten. Die Aufgabe der Testperson ist es, mit Hilfe der Nase die Verdünnungsstufe zu ermitteln, die der Wahrnehmungsschwelle entspricht.

Es wird auf diese Weise erreicht, daß die Beurteilung der Geruchsstoffkonzentration, bei der ein Mensch oberhalb der Geruchsschwelle nur grob etwa 5 bis 7 Stufen unterscheiden kann, zurückgeführt wird auf die sicherer zu entscheidende Frage: Geruch, ja oder nein. Die Apparate bzw. Einrichtungen, die zum Herstellen und Darbieten der Geruchssproben in bestimmten Verdünnungsstufen dienen, werden allgemein als Olfaktometer bezeichnet.

Wird die Konzentration des Geruchsstoffes an der Wahrnehmungsschwelle mit  $c_0$  bezeichnet, das der Konzentration  $c_0$  entsprechende Volumen mit  $V_0$ , das Volumen der Probe bei der zu bewertenden Ausgangskonzentration  $c$  mit  $V$ , dann ergibt eine Massenbilanz des Geruchsstoffes:

$$c \cdot V = c_0 \cdot V_0$$

$$c_{\text{rel}} = \frac{c}{c_0} = \frac{V_0}{V}$$

Dieses Verhältnis wird als relative Geruchsstoffkonzentration bezeichnet. Es gibt die Konzentration des Geruchsstoffes als Vielfa-

ches der Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle an und ist über die entsprechenden Volumina direkt zu ermitteln.

Bei dynamisch arbeitenden Olfaktometern, in denen mit einstellbarem Verhältnis fortlaufend ein Strom der geruchsstoffbeladenen Probenluft ( $V_{Lg}$ ) mit einem Strom von geruchsfreier reiner Luft ( $V_{Lr}$ ) gemischt wird, werden diese Volumenströme vor der Vermischung gemessen und das Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle  $M_0 = (V_{Lr}/V_{Lg})_{WS}$  als Maß für die Geruchsstoffkonzentration angegeben.

Da  $V_0 = V_{Lr} + V_{Lg}$ , ergibt sich für die Beziehung zwischen der relativen Geruchsstoffkonzentration und dem Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle:

$$c_{\text{rel}} = \frac{c}{c_0} = M_0 + 1 = \left( \frac{V_{Lr}}{V_{Lg}} \right)_{WS} + 1$$

Mit Hilfe von Olfaktometern ist eine Angabe von Geruchsstoffkonzentrationen in relativ feiner Abstufung möglich. Daß die Angabe nicht als reine Konzentrationsangabe ( $\text{mg}/\text{m}^3$  oder ppm) gemacht wird, sondern als relative Konzentration, ist nicht nur als Nachteil zu sehen. Bei der großen Bedeutung des Geruchsschwellenwertes ist mit dem Bezug auf diesen Wert eine erwünschte Wertung gemäß der Geruchswirksamkeit des Geruchsstoffes verbunden. Die Abhängigkeit der Größe  $c_{\text{rel}}$  vom Geruchsschwellenwert  $c_0$  macht es allerdings notwendig, diese Bezugsgröße für den gemessenen Geruchsstoff selbst oder einen geeigneten Standard anzugeben, wenn Meßwerte verschiedener Personen oder Meßteams vergleichbar sein sollen (s. unter 5.4). Erst wenn diese Vergleichbarkeit gegeben ist, liegt ein wirklicher Meßvorgang vor.

Bei Berücksichtigen dieser Zusammenhänge gibt die mit dem Olfaktometer ermittelte Konzentration des Geruchsstoffes zusammen mit einer Angabe über die Art des Geruchsstoffes eine vollständige Beschreibung einer Geruchsstoffemission oder -immission. Auf die Durchführung von Olfaktometermessungen wird im Abschnitt 5. eingegangen.

#### 4.2 Erfassen von Intensität und Lästigkeit eines Geruchs durch Befragen

Versuche, über ein Elektroencephalogramm eine objektive Beurteilung von Geruchsempfindungen beim Menschen zu erhalten, stehen noch im Anfangsstadium; das Verfahren ist für die Lösung praktischer Probleme bisher nicht geeignet [21]. Will man den Geruch als Folge einer Immission von unbekanntem Geruchsstoffen erfassen oder für gegebene Geruchsstoffe die Dosis-Wirkungs-Beziehung ermitteln, so ist man auf das subjektive Urteil von Testpersonen angewiesen. Solche Urteile kann man gewinnen, indem ein Team von geschulten Testpersonen die Wirkung der Geruchsstoffe selbst prüft. Es werden dann, schon um die Zahl der Testpersonen klein halten zu können, an den Geruchssinn und das Beurteilungsvermögen der Testpersonen hohe Anforderungen gestellt [22, 23].

Als Testpersonen können aber auch, wenn ein Überblick über die Immission von Geruchsstoffen in einem größeren Gebiet z.B. in Abhängigkeit von der Zeit gewonnen werden soll, mit Erfolg größere Gruppen relativ wenig geübter junger Leute eingesetzt werden (Studenten und ältere Schüler), die die im Wohnbezirk wahrgenommenen Gerüche hinsichtlich der Herkunft, der Qualität und der Intensität beschreiben [24].

Das gleiche Ziel, die Erfassung und Bewertung von Geruchsstoffimmissionen, kann auch durch eine Befragung der Wohnbevölkerung erreicht werden. Eine solche Befragung soll mindestens 5 % der betroffenen Haushalte einbeziehen [25], bei deren Auswahl alle sozialen Schichten zu berücksichtigen sind.

Daß soziale und psychologische Aspekte einen großen Einfluß auf das Ergebnis einer Befragung haben, ist oft dargelegt worden. Für die Geruchsbeurteilung wird daher versucht, durch eine richtige Gestaltung des Fragebogens, solche Einflüsse zu objektivieren oder durch Anwendung neuer Befragungstechniken — Erstellen von

Urteilsprofilen über ausgewählte Gegensatzpaare – zu sicheren Ergebnissen zu kommen [9, 10].

Ein weiteres Verfahren, zu einer Bewertung der von Geruchsstoffen hervorgerufenen Wirkungen auf den Menschen zu kommen, ist das Registrieren und quantitative Auswerten von Beschwerden aus der Bevölkerung, wie es *Clarenburg* [26] für das Gebiet der Rheinmündung durchgeführt hat. Zwar ist die Häufigkeit von Beschwerden neben der Konzentration der Geruchsstoffe auch sehr stark von anderen Einflüssen abhängig, z.B. vom Zeitpunkt der Immission (am Wochenende sind Beschwerden besonders häufig [27]), doch zeigte die Auswertung, daß die Beschwerdebhäufigkeit sich gut einer Kurve zuordnen läßt, die – aus einer Ausbreitungsrechnung gewonnen – die Konzentration der Geruchsstoffe über der Entfernung vom Geruchsemittenten darstellt.

Es ist hier noch einmal darauf hinzuweisen, daß es für die Bewertung der Wirkung von Geruchsstoffen auf den Menschen bisher keine andere Möglichkeit gibt als die Auswertung der subjektiven Urteile. Hierin liegt die Bedeutung der hier unter 4.2 genannten Verfahren.

Es ist daher auch falsch, die einzelnen hier geschilderten Verfahren als Konkurrenten aufzufassen. Vielmehr besitzen die verschiedenen Verfahren Nachteile wie Vorzüge, die sie jeweils für bestimmte Einsatzbereiche besonders geeignet machen.

## 5. Messen mit dem Olfaktometer

Nach dem vorstehenden Überblick ist das Messen mit dem Olfaktometer das beste Verfahren, wenn die Aufgabe gestellt ist, wechselnde Geruchsstoffbelastungen in der Luft einfach und schnell zu messen. Im Rahmen der Institutsarbeiten zum Arbeits- und Umweltschutz [u.a. 28, 29] setzen wir daher dieses Verfahren ein, um bei Versuchen zur Abscheidung von Geruchsstoffen aus der Abluft von Ställen [30, 31] den Wirkungsgrad der Abscheideverfahren zu bestimmen.

### 5.1 Überblick über Bauarten – Wirkungsweise

Das Prinzip der Messung mit dem Olfaktometer ist es, Gemische mit unterschiedlicher Geruchsstoffkonzentration herzustellen und durch Riechen das Gemisch zu bestimmen, das der Wahrnehmungsschwelle entspricht. Olfaktometer wurden zunächst verwendet, um die Empfindlichkeit des Geruchssinnes zu prüfen, wozu Gemische mit bekannter Geruchsstoffkonzentration vorgegeben werden. Hier ist die Fragestellung umgekehrt: es werden, ausgehend von einer Probe mit unbekannter Geruchsstoffkonzentration, verschiedene definierte Mischungen vorgegeben und durch Personen bewertet, deren Geruchssinn in seiner Empfindlichkeit durch Messungen mit Geruchsstoffmischungen bekannter Konzentration bestimmt wurde.

Der unterschiedlichen Aufgabenstellung entsprechend sind sehr verschiedene Ausführungen von Olfaktometern vorgeschlagen worden. Sie reichen von einfachen mit Duftstoffen gefüllten Flaschen, aus denen definierte Mengen geruchsstoffbeladener Luft in die Nase gedrückt werden [32] bis zu komplizierten mehrstufigen Verdünnungsapparaten, die das Mischen einer größeren Zahl von Geruchsstoffproben erlauben. Eine schematische Darstellung verschiedener Olfaktometer findet man bei *Kettner* [12], *Mannebeck* [33] sowie *Hofmann* und *Smidt* [34].

Bei der Konzeption von Olfaktometern sind in mehrfacher Hinsicht Kompromisse zwischen verschiedenen Forderungen zu schließen. So wird einerseits verlangt, daß die Atmung durch die Apparatur möglichst wenig behindert wird. Es werden dieser Forderung entsprechend Olfaktometer für den stationären Betrieb gebaut, wie die Olfaktometer von *Wenzel* oder *Eyffert* und *Krüger* [12], bei denen wie auch im Kreuznacher Atemprüfstand [35] die Geruchssprobe in einer geschlossenen Kabine angeboten wird; oder es wird eine den Kopf umschließende Teflonhaube benutzt [25]. Solche Konstruktionen können aber die Forderungen nach einem

schnellen Wechsel der angebotenen Konzentration ebenso wenig erfüllen wie die nach einer geringen Probemenge. Es empfiehlt sich daher, für viele Fälle eher eine leicht behinderte Atmung in Kauf zu nehmen.

Weiterhin ist ein Kompromiß zu schließen zwischen den Forderungen nach guter Reinigungsmöglichkeit einerseits und einem möglichst großen Verdünnungsverhältnis andererseits, das ja im allgemeinen nur durch mehrstufige Mischung, wie im Haake-Olfaktometer [35, 36], erreicht werden kann.

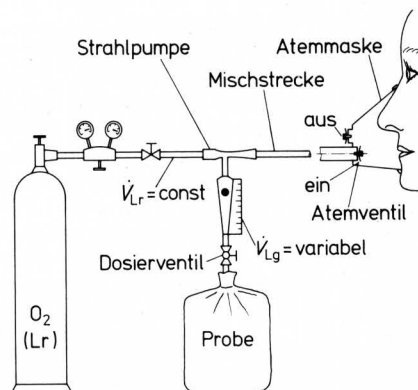
Sehr einfache, gut zu reinigende Geräte sind die vom ASTM (American Society for Testing and Materials) vorgeschlagenen Ganzglas-spritzen, mit denen unterschiedlich stark verdünnte Proben des Geruchsstoffes direkt in die Nase gespritzt werden [37] und das von *Huey* u.a. [27] entwickelte "Scentometer". Das Scentometer ist ein tragbares Gerät, in dem einem durch Aktivkohle gereinigten Luftstrom über 4 Bohrungen mit abgestuften Durchmessern verschieden große Ströme geruchsstoffbeladener Luft zugemischt werden, wobei die Verdünnungsverhältnisse 1 : 2, 1 : 7, 1 : 31 und 1 : 170 erzielt werden.

Beim Test werden die Nasenlöcher des Gerätes direkt in die Nasenlöcher eingeführt, die Bohrungen zunächst sämtlich geschlossen und dann mit der feinsten Bohrung beginnend geöffnet bis Geruch wahrzunehmen ist. Als Nachteile des Verfahrens sind zu nennen, die ungewohnte Atmung und die vorgegebene grobe Stufung.

### 5.2 Aufbau und Wirkungsweise des verwendeten Olfaktometers

In unseren Versuchen benutzten wir das am Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel entwickelte Olfaktometer T04 [38].

Es ist dies, Schema in **Bild 4**, ein mit reiner Luft oder Sauerstoff betriebenes Atemgerät, in dem einem konstanten Strom des reinen Atemgases über eine Strahlpumpe und Dosierventile für zwei verschiedene Meßbereiche ein einstellbarer Strom der mit Geruchsstoffen beladenen Luft beigemischt wird. Mit dem Gerät können Mischungsverhältnisse von Atemgas und Probenluft von 0,3 : 1 bis zu 800 : 1 eingestellt werden. Als Meßwert wird das Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle ( $V_{Lr}/V_{Lg}$ )<sub>WS</sub> festgehalten.



**Bild 4.** Schema eines tragbaren Olfaktometers (TO4 nach Dr. Mannebeck).

Die für verschiedene Personen ermittelten Werte der Wahrnehmungsschwelle sind sehr unterschiedlich. Versuche von *Brown* et.al. [7] haben ergeben, daß die Werte in einem Bereich bis zu 4 Dekaden schwanken und logarithmisch normal verteilt sind. Daraus folgt, daß man, um mittlere Werte zu erhalten, ein Meßteam einsetzen und die Meßwerte in bestimmter Weise auswerten muß. Zur Auswertung [28] werden die mit dem Olfaktometer ermittelten Meßwerte in einem Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmisch

geteilter Abszissenachse aufgetragen. Die Ordinate gibt die Summenhäufigkeit in Prozent, die Abszisse das gemessene Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle an. Die den einzelnen Beobachtungswerten zuzuordnenden Summenhäufigkeiten  $s_i$  werden nach der Näherungsformel von Rossow  $s_i = 100(3i - 1)/(3n + 1)$  berechnet, mit  $n$  als Anzahl der Beobachtungswerte und  $i$  als Nummer der nach der Größe geordneten Beobachtungen, Bild 5. Als Maß für die Geruchsstoffkonzentration der Probe wird der 50 %-Wert des Mischungsverhältnisses an der Wahrnehmungsschwelle für das Meßteam angegeben.

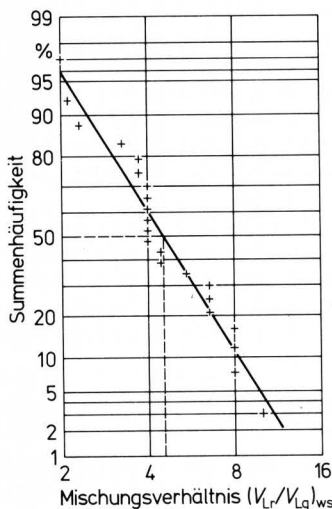


Bild 5. Beispiel für die Auswertung einer Geruchsmessung.

### 5.3 Einflußgrößen bei der Olfaktometermessung

Mit Bild 2 wurde darauf hingewiesen, daß sich zahlreiche Einflüsse bei der Entstehung einer Geruchswahrnehmung und damit auch bei Messungen mit dem Olfaktometer auswirken. Sie sind hier vor allem den Bereichen:

- 5.3.1 Eigenschaften des Meßteams
- 5.3.2 Einflüsse aus der Umgebung und der Apparatur
- 5.3.3 Einflüsse bei der Probenahme und Probenlagerung

zuzuordnen. Um die von diesen Einflüssen verursachten Schwankungen der Meßwerte in Grenzen zu halten, ist es notwendig, ihre Auswirkungen zu kennen und die Messungen mit dem Olfaktometer so durchzuführen, daß störende Einflüsse sich möglichst wenig auswirken können.

#### 5.3.1 Eigenschaften des Meßteams

Aus den von Brown [7] gefundenen Ergebnissen ist abzuleiten, daß die naturgegebenen großen individuellen Unterschiede in der Empfindlichkeit des Geruchssinnes einen sehr großen Einfluß auf den Meßwert des Olfaktometers ausüben. Als Mitglieder für das Meßteam sind daher Personen auszuwählen, die eine mittlere Empfindlichkeit des Geruchssinnes besitzen, was von besonderer Bedeutung ist, wenn bei einer kleinen Zahl von Testpersonen im Meßteam eine geringe Streuung der Einzelwerte erzielt werden soll.

Die Gesichtspunkte, die bei der Auswahl und bei der späteren Tätigkeit der Personen im Meßteam besonderes Gewicht haben, sind im Schrifttum wiederholt behandelt worden [u.a. 22, 23]; die wichtigsten von ihnen sind, daß die Mitglieder aus allen sozialen Schichten und zwischen 20 und 50 Jahre alt sein sollen. Die Empfindlichkeit des Geruchssinnes der Testpersonen soll aus Messungen mit Mischungen bekannter Konzentration (Standard-Geruchsprobe) bekannt sein.

Für die Durchführung der Tests muß gesichert sein, daß die normale Empfindlichkeit des Geruchssinnes erhalten bleibt, das heißt, daß bis zu 2 Stunden nach einem Essen kein Test durchgeführt werden sollte, daß scharfe Gewürze, Alkohol und Parfüms zu meiden sind und daß täglich nur ein beschränktes Programm durchzuführen ist.

Daß bei Beachten dieser wichtigsten Hinweise, die Streuung der Meßwerte stark eingeschränkt werden kann, zeigt auch Bild 5, das Ergebnis einer Meßreihe, in der 22 Institutsangehörige ein Ammoniak-Luft-Gemisch mit dem Olfaktometer bewerteten. Die Streuung ist mit einem Faktor 5 zwischen dem unempfindlichsten und dem empfindlichsten Probanden nicht groß. Aus dieser Personen-Gruppe wurden in weiteren Versuchen die geeignetsten Personen für ein kleineres Meßteam ausgewählt. Welch geringe Streuung der Meßwerte für ein Team bei einer standardisierten Bewertung einer Geruchsprobe von Stallluft zu erreichen ist, zeigt Bild 6, in dem die Werte nur in einem Bereich 1 : 2 streuen.

Im Rahmen weiterer Versuche wurde geprüft, wie sich die Empfindlichkeit des Meßteams über den Tagesablauf verhält. Bild 7 zeigt, daß die Empfindlichkeit im Tagesablauf leicht schwankt und am Vormittag zwischen etwa 9 und 11 Uhr am höchsten liegt.

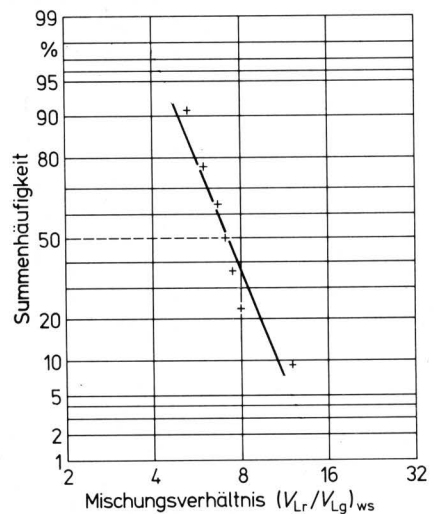


Bild 6. Meßwerte für die Geruchsprobe aus einem Jungviehstall.

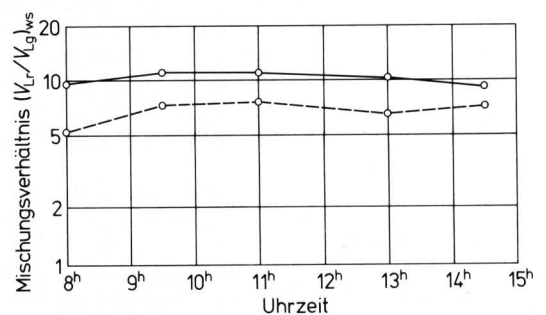
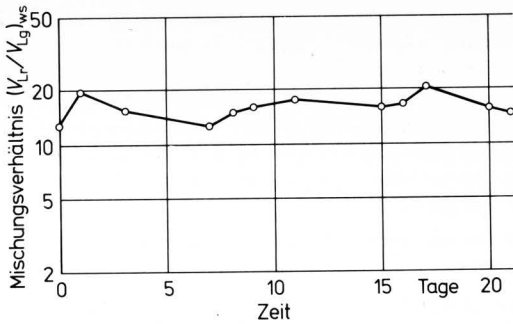


Bild 7. Meßwerte für eine konstante, vorgegebene Geruchsstoffkonzentration (120 ppm  $\text{NH}_3$  in Luft) im Tagesablauf, Olfaktometer mit --- bzw. ohne — Ausgleichsbeutel.

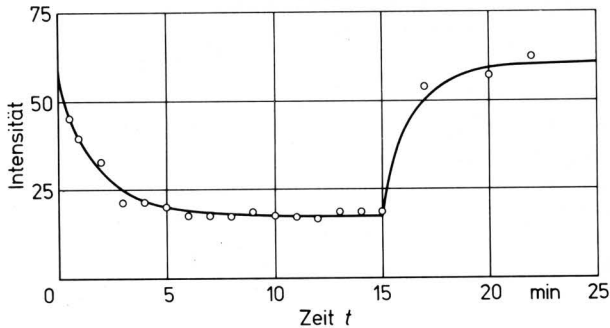
Da das Olfaktometer nur einen relativen Wert, die auf die Wahrnehmungsschwelle bezogene Geruchsstoffkonzentration, zu ermitteln gestattet, ist es zum Vergleich mit anderen Werten notwendig, die Empfindlichkeit der Meßpersonen in Kontrollversuchen mit Standard-Geruchsproben regelmäßig zu überprüfen. Trägt man diese Werte für das Meßteam über der Zeit auf, Bild 8, so ist zu sehen, daß die Empfindlichkeit zwar schwankt, die Schwankungen aber doch in recht engen Grenzen bleiben.



**Bild 8.** Meßwerte des Meßteams an verschiedenen Tagen für eine stets gleiche Probe.

### 5.3.2 Einflüsse aus der Umgebung und der Apparatur

Aus Untersuchungen über die Adaptation des Geruchssinnes an einen Geruchsstoff, *Ekman* u.a. [39], ist bekannt, daß innerhalb von 3 bis 4 Minuten individuell unterschiedlich und auch für verschiedene Geruchsstoffe unterschiedlich stark ein exponentieller Abfall der Empfindlichkeit auf etwa 1/2 bis 1/3 des Ausgangswertes auftritt, **Bild 9**. Die Regeneration des Geruchssinnes in reiner Luft benötigt etwa die gleiche Zeit.



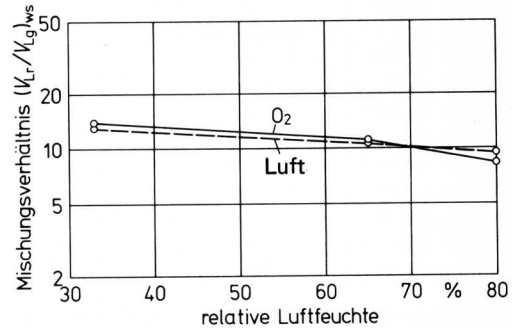
**Bild 9.** Verlauf der Adaptation und der Regeneration (nach *Ekman* u.a. [39]).

Für die Durchführung von Messungen mit dem Olfaktometer ist aus diesen Ergebnissen abzuleiten, daß der Geruchssinn möglichst wenig mit Geruchsstoff beaufschlagt werden sollte. Das bedeutet einmal, daß Versuche in der Nähe einer Geruchsstoffquelle leicht zu Fehlern führen und deshalb, soweit nicht eine Kabine mit geruchsstofffreier Luft vorhanden ist, vermieden werden sollten, da eine Regeneration des Geruchssinnes über eine Atemmaske mit Sauerstoff nur unbefriedigende Ergebnisse bringt. Das bedeutet aber auch, daß beim Meßvorgang selbst mit der niedrigsten Geruchsstoffkonzentration zu beginnen ist, von der aus man die Konzentration in deutlichen geometrischen Stufen bis zur Wahrnehmungsschwelle steigert. Allerdings finden ausgehend von dem ASTM-Verfahren der Verdünnung mit Ganzglasspritzen auch noch Testverfahren Verwendung, bei denen mit abnehmender Konzentration gearbeitet wird [40]. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß man der Testperson nur sehr geringe Volumen der Geruchsproben direkt in den Nasenraum verabreicht.

Als einen Einfluß der Apparatur auf den Meßwert haben wir untersucht, wie sich ein unterschiedlicher Inhalt des Ausgleichsbeutels an der Atemmaske auswirkt. In **Bild 7** gibt die untere gestrichelte Kurve die Meßwerte für das Olfaktometer mit einem 3 l fassenden Ausgleichsbeutel wieder, der Druckabfall im Olfaktometer beträgt 4 bar, dem entspricht ein Sauerstoffstrom von 12 l/min. Bei Betreiben des Olfaktometers ohne Ausgleichsbeutel muß der Luftstrom im Olfaktometer auf den Atemluftstrom eingestellt sein. Es wurde dazu der Druckabfall im Olfaktometer auf 6 bar

vergrößert, so daß mit einem Sauerstoffstrom von 17,5 l/min der erforderliche Atemluftstrom [35] zur Verfügung steht. Die beiden Kurven machen deutlich, daß das Olfaktometer ohne Ausgleichsbeutel höhere Werte für das Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle ergibt, das heißt empfindlichere Messungen zuläßt.

Versuche mit unterschiedlicher Luftfeuchte in der Umgebungsluft erbrachten die in **Bild 10** dargestellten Ergebnisse. Es zeigt sich ein nicht sehr stark ausgeprägtes Absinken des Meßwertes mit zunehmender Luftfeuchte. Der Gebrauch verschiedener Atemgase – Preßluft bzw. Sauerstoff – ergab keine wesentlichen Unterschiede der Meßwerte.



**Bild 10.** Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte in der Umgebung für zwei verschiedene Atemgase.

### 5.3.3 Einflüsse aus der Probenahme und Probenlagerung

Wegen der Gefahr der Adaptation sollen Messungen an der Geruchsstoffquelle möglichst nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund und auch weil sich in vielen Fällen die Geruchsstoffkonzentration schnell ändert, ist das Entnehmen einer repräsentativen Probe notwendig. Wir entnehmen eine solche Probe am Ort, für den die Geruchsstoffkonzentration bestimmt werden soll, indem mit einem Gebläse ein 50 l fassender Polyäthylenbeutel gefüllt wird.

Beim Füllen des Beutels muß sichergestellt werden, daß die Geruchsprobe nicht verfälscht wird, indem Geruchsstoffe durch Adsorption an den Wandungen von Gebläse und Leitung entzogen oder durch Desorptionsvorgänge hinzugefügt werden. Es wird deshalb für eine kurze Zeit die Apparatur zur Probenahme mit der Probenluft gespült.

Bei der Entnahme von Proben, die wärmer als die umgebende Luft sind, ist die Gefahr der Kondensation von Flüssigkeit an den Wandungen gegeben, und durch Inlösunggehen von Geruchsstoffen in diese Flüssigkeit sind entsprechende Verfälschungen der Geruchsstoffkonzentration der Probe möglich. Das läßt sich verhindern, wenn die Probe bei der Probenahme mit abgemessenen Mengen trockener, geruchsstofffreier Luft [41, 42] oder wie in eigenen Versuchen mit Stickstoff verdünnt wird.

Während bei *Mills* et al. [41] die Meinung vertreten wird, Polyäthylenbehälter seien für die Probenahme von Geruchsproben ungeeignet, weil durchlässig und mit bestimmtem leichtem Eigengeruch behaftet, wurden in späteren Versuchen von *Dravnieks* und *Prokop* [43] und *Kettner* [12] mit Polyäthylenbeuteln gute Erfahrungen gemacht. Dabei spielt sicher nicht nur das Material selbst, sondern auch dessen Stärke und Oberflächenbildung wie auch die Art der gesammelten Geruchsstoffe eine wichtige Rolle.

Für uns war zu entscheiden, ob die handelsüblichen Polyäthylenbeutel in einer Stärke von 0,045 mm als Probenbeutel geeignet sind, wenn, wie es auch von *Kettner* [44] vorgeschlagen wurde, die Beutel für einige Stunden zum Entfernen des Eigengeruchs im durchlüfteten Trockenschrank ausgeheizt werden.

Um zu prüfen, ob während der Lagerung von Geruchsproben zwischen der Entnahme und der Messung mit einem Abbau oder Verlust von Geruchsstoffen zu rechnen ist, wurden parallel mehrere

Beutel mit der gleichen Luftprobe gefüllt und dann unmittelbar nach der Entnahme sowie nach 15 und 30 min in der Nähe des Stalles, weiter nach 1, 2, 4 und 6 Stunden in der Klimakammer mit dem Olfaktometer gemessen. Das Ergebnis ist in Bild 11 aufgetragen.

Während die ersten Messungen in der Nähe der Ställe wegen der nicht standardisierten Umgebung gewisse Schwankungen zeigen, lassen sich den späteren Werten gut Geraden zuordnen, die ganz leicht abfallend einen nur geringen Abbau oder Verlust von Geruchsstoffen anzeigen.

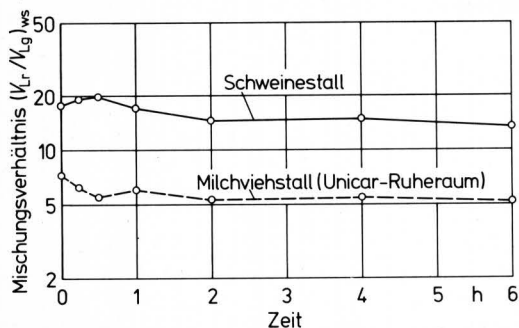


Bild 11. Mischungsverhältnis an der Wahrnehmungsschwelle für eine Probe zu unterschiedlichen Zeiten nach der Probenahme.

In Bild 12 ist das Ergebnis für die Lagerung einer Luftprobe über längere Zeit dargestellt. Während die ersten Messungen im Abstand von etwa 18 Stunden gut übereinstimmen, tritt bei längerer Lagerung offensichtlich eine starke Veränderung der Probe auf. Die Ergebnisse zeigen, daß bei einer begrenzten Transport- und Lagerzeit brauchbare Meßwerte zu erzielen sind. Die längere Lagerzeit war bei uns mit einem starken Absinken des Meßwertes verbunden, während Dravnieks [43] berichtet, daß in dickwandigen Polyäthylengefäßen bei Lagerung bis zu 48 h und darüber hinaus kein wesentliches Absinken der Meßwerte festzustellen war. Wie weit die Ergebnisse durch die unterschiedliche Materialdicke oder durch Unterschiede bei den anderen genannten Größen zu erklären sind, haben wir nicht weiter verfolgt, da nur eine begrenzte Zeit für Transport und Zwischenlagerung von Proben vorgesehen ist.

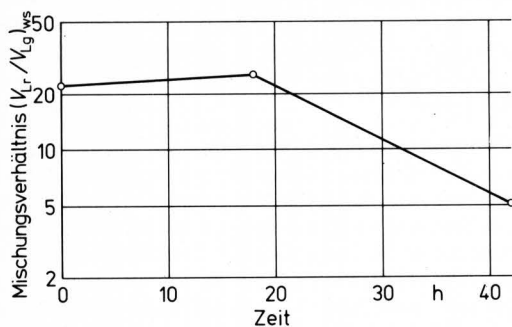


Bild 12. Meßwerte für eine Luftprobe aus einem Geflügelstall nach unterschiedlicher Lagerung.

#### 5.4 Vergleich von Meßwerten verschiedener Meßteams – Standardgeruchsproben

Eine der wichtigsten Forderungen an ein Meßverfahren ist, daß sich die Meßergebnisse einer geeigneten allgemeingültigen Meßskala zuordnen lassen, so daß die zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten gewonnenen Werte vergleichbar sind.

Die Messung mit dem Olfaktometer gibt (s. Abschnitt 4.1.2) bei entsprechender Berechnung für die Einzelperson oder gemittelt für ein Meßteam die relative Geruchsstoffkonzentration an:

$$c_{rel} = c/c_0 = M_0 + 1.$$

Diese Beziehung macht deutlich, daß das Meßergebnis (sowohl  $c_{rel}$  wie  $M_0$ ) von der individuell unterschiedlichen Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle abhängt. Ein Vergleich verschiedener Meßergebnisse ist direkt möglich, wenn die Werte für  $c_0$  gleich sind. Der Vergleich wird durch Berechnung möglich, wenn von dem jeweiligen Meßteam Werte für die Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle vorliegen, die eine Umrechnung auf einen Bezugswert erlauben.

Die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse läßt sich somit auf zwei Wegen erreichen:

1. Zusammenstellen der Meßteams so, daß ein bestimmter Wert für die Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle  $c_0$  eingehalten wird.
2. Bestimmen der Werte von  $c_0$  für die jeweiligen Meßteams und Umrechnen der Meßergebnisse auf einen Bezugswert für  $c_0$ .

Da ein Bestimmen der Werte von  $c_0$  für die Vielzahl der verschiedenen Geruchsstoffe nicht möglich ist, wird die Auswahl und spätere Überprüfung der Meßpersonen durch Vorgabe von Geruchsproben ausgewählter Geruchsstoffe in bekannter Konzentration durchgeführt. Als eine solche "Standardgeruchsprobe" verwenden wir ein Ammoniak-Luft-Gemisch in einer Konzentration von 120 ppm.

Für den in Tafel 1 angegebenen Wert für die Geruchsschwelle  $c_0 = 5$  ppm müßte sich bei der Messung der Standardgeruchsprobe mit dem Olfaktometer ein Wert  $c_{rel} = 24$  ergeben. Unsere Messungen haben bisher als Mittelwerte für das Meßteam Werte für  $M_0$  zwischen 10 und 16 (entsprechend  $11 < c_{rel} < 17$ ) ergeben, so daß wir für die Auswahl eines Meßteams einen Wert dieser Größenordnung vorschlagen.

Sind gleiche Mittelwerte der Teams für Standardgeruchsproben nicht gegeben, so ist für den Vergleich eine Umrechnung der Meßwerte durchzuführen, bei der berücksichtigt wird, daß die Empfindlichkeit des Geruchssinns logarithmisch normal verteilt ist. Es wäre dann der berichtigte Meßwert für ein Team b (bezogen auf das Team a):

$$\log(c_{rel}') = \frac{\log(c_{rel,St})_a}{\log(c_{rel,St})_b} \cdot \log(c_{rel})_b,$$

worin  $c_{rel,St}$  die gemessene relative Geruchsstoffkonzentration für Standardgeruchsproben bedeutet,  $(c_{rel})_b$  die vom Team b gemessene relative Geruchsstoffkonzentration für irgendeine Probe.

Bei dem Bezug auf Standardgeruchsproben wird angenommen, daß die Empfindlichkeit des Geruchssinns individuell unterschiedlich ist, aber bei verschiedenen Geruchsstoffen jeweils in gleicher Weise (positiv oder negativ) von dem Mittelwert abweicht. Ob diese Voraussetzungen zutreffen, muß durch Einbeziehen weiterer andersartiger Standardgeruchsproben und durch Auswerten von Parallelmessungen für Geruchsproben aus verschiedenen Ställen und für Standardgeruchsproben untersucht werden.

#### 5.5 Ausführen von Olfaktometermessungen – Ablauf und Meßergebnisse

Aufgrund der Erfahrungen, die bei der Untersuchung der Einflüsse auf die Olfaktometermeßwerte gewonnen wurden, kommt der Auswahl eines geeigneten Meßteams die größte Bedeutung zu. Dabei spielt neben den Eigenschaften des Geruchssinnes die Verfügbarkeit der Testpersonen eine große Rolle. Um Ursachen weiterer systematischer oder zufälliger Abweichungen der Meßwerte auszuschließen, wird ein standardisierter Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte vorgeschlagen.

1. Auswahl eines geeigneten Meßteams
2. Vorbereiten der Probenbeutel
- 2.1 Ausheizen der Polyäthylbeutel bei 60 bis 70 °C im durchlüfteten Trockenschrank



- 2.2 Einbinden von gereinigten Stopfen mit Glashähnen in die Öffnung des Beutels
- 2.3 Vollkommenes Entleeren des Beutels
3. Entnehmen der Probe
- 3.1 Aufnehmen der am Ort der Probenahme gegebenen Bedingungen; evtl. Korrektur auf die gewünschten Werte
- 3.2 Spülen von Gebläse und Leitung mit der Probenluft
- 3.3 Anschließen des Probenbeutels und Füllen (Bei der Gefahr der Kondensatbildung Zufuhr einer definierten Menge trockener Luft oder von Stickstoff)
- 3.4 Schließen des Beutels und Sichern des Glashahns
4. Bestimmen des Mischungsverhältnisses an der Wahrnehmungsschwelle
  - 4.1 Überprüfen des Klimas in der Testkammer\*)
  - 4.2 Anschließen des Probenbeutels an das Olfaktometer
  - 4.3 Kurzzeitiges Spülen der Leitung mit Probenluft
  - 4.4 Anschließen der jeweiligen Atemmaske
  - 4.5 Verdecken der Sicht auf Skala und Ventile
  - 4.6 Vorgeben der Probe mit stufenweiser Erhöhung der Konzentration bis zur Wahrnehmung durch die Testperson
  - 4.7 Registrieren des Meßwertes
5. Überprüfen der Testpersonen mit einem Standardgeruchsgemisch (Ablauf wie unter 4.)
6. Auswerten, Berechnen vergleichbarer Meßergebnisse.

Als Beispiel für Messungen mit dem Olfaktometer sind in **Tafel 4** Meßwerte für die Geruchsstoffkonzentration beim Ausbringen von Dung mit verschiedenen Verfahren zusammengestellt. Diese Versuche wurden gemeinsam mit dem Institut für Landmaschinenforschung der FAL durchgeführt. Die Proben wurden 7,5 m von der Mitte der Fahrspur entfernt in 0,80 m Höhe über dem Boden entnommen. Die Werte für die relative Geruchsstoffkonzentration sind für die verschiedenen Verfahren stark unterschiedlich, für die beiden Verfahren, bei denen die Gülle in den Boden eingebracht wird, besonders niedrig und nahezu gleich. Die gemessenen Zahlenwerte machen es auf diese Weise möglich, zu einer fundierten Bewertung der verschiedenen Ausbringverfahren zu gelangen.

Dungart	Art der Ausbringung	Mischungsverhältnis $M_0 = (V_{Lr}/V_{Lg}) \text{ WS}$
Hühnergülle	weitflächig ausbringen, Prallteller 6 m Arbeitsfläche	70
Hühnergülle	über Rohre in Oberflächennähe, 2 m Arbeitsbreite	53
Rinderfestmist	Ausbringen mit Miststreuer, 4 m Arbeitsbreite	12,3
Hühnergülle	hinter Grubberzinken in den Boden	11,0
Hühnergülle	beim Fräsen in den Boden	13,0

**Tafel 4.** Geruchsstoffkonzentration bei unterschiedlichem Ausbringen von Dung.

## 6. Zusammenfassung

Steigende Anforderungen an den Zustand der Umwelt machen es erforderlich, daß die Produktionsverfahren ständig weiter entwickelt werden mit dem Ziel einer geringeren Belastung der Umwelt durch Staub, Lärm oder Geruchsstoffe. Die zielstrebige Entwicklung setzt voraus, daß für die Belastungen geeignete Meßverfahren vorliegen.

\*) Der für die Messungen benutzte Raum soll eine standardisierte geruchstofffreie Umgebung bieten. Wir benutzen eine Klimakammer mit einer Lufttemperatur von  $t = 20 \text{ °C}$  und der rel. Feuchte  $\varphi = 60 \text{ %}$ . Das Olfaktometer ist auf einem Stativ befestigt, der Testperson steht zur besseren Konzentration auf den Meßvorgang ein Stuhl zur Verfügung. Werden Messungen außerhalb der Klimakammer durchgeführt, so ist die Überprüfung der Empfindlichkeit der Meßperson mit einem Testgemisch besonders wichtig.

Eine Übersicht über die bisher auf dem Gebiet der Messung von Geruchsstoffen bekannten Verfahren zeigt, daß Geruchsstoffe nur in Sonderfällen mit chemisch-physikalischen Meßverfahren zu erfassen sind – wenn es sich beispielsweise um definierte Einzelstoffe mit hohem Geruchsschwellenwert handelt. Das z.Zt. geeignetste Verfahren zur Messung von Geruchsstoffen ist die Messung mit dem Olfaktometer. Das Verdünnen der Geruchsstoffprobe bis zur Wahrnehmungsschwelle ergibt als Meßwert die relative Geruchsstoffkonzentration, das ist die Geruchsstoffkonzentration bezogen auf den Geruchsschwellenwert. Da sich über den Geruchsschwellenwert die individuellen Eigenschaften der Meßperson bzw. des Meßteams auswirken, ist die Vergleichbarkeit von Meßergebnissen nur gegeben, wenn die Meßteams auf einen bestimmten Schwellenwert hin zusammengestellt wurden oder über gemessene Schwellenwerte die Umrechnung auf einen vorgegebenen Bezugswert möglich ist. Diese Vergleichbarkeit von Meßergebnissen zu schaffen ist ein vordringliches Ziel. Als Konzentrationsangaben geben die Meßwerte Aufschluß über die Intensität der Geruchsempfindung. Eine Beurteilung unter dem Aspekt der Lästigkeit muß neben der Konzentration auch die Qualität berücksichtigen. So sind Lästigkeitsgrenzen der Konzentration nicht einem bestimmten Wert der relativen Konzentration zuzuordnen, sondern müssen für die verschiedenen Geruchsstoffe oder -mischungen von Fall zu Fall bestimmt werden.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Eysel, H.*: Emissionen aus landwirtschaftlichen Betrieben. KTBL-Bauschrift Nr. 12, Frankfurt: KTBL 1971.
- [ 2 ] BImSchG – Bundes-Immissionsschutz-Gesetz vom 15. März 1974, Bundesgesetzblatt I, S. 721.
- [ 3 ] TA Luft – Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) – vom 28. Aug. 1974, Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 24, S. 426.
- [ 4 ] Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf: Auswurfbegrenzung – Tierhaltung – Schweine. VDI-Richtlinie 3471 (Entwurf) Okt. 1974.
- [ 5 ] *Leonardos, G., D. Kendall u. N. Barnard*: Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals. Journ. of the Air Poll. Contr. Ass. Bd. 19 (1969) Nr. 2, S. 91/95.
- [ 6 ] *Weurmann, C.*: Vergleich zweier Methoden für die Messung von Gerüchen. VDI-Berichte Nr. 226, S. 135/39. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 7 ] *Brown, K.S., C.M. Maclean u. R.R. Robinette*: The distribution of the sensitivity to chemical odors in man. Human Biology Bd. 40 (1968) S. 456/72.
- [ 8 ] *Freytag, A. u. H.W. Thoenes*: Meßverfahren zur Bestimmung von geruchsintensiven Stoffen. VDI-Berichte Nr. 124, S. 27/32, Düsseldorf: VDI-Verlag 1968.
- [ 9 ] *Fodor, G.G. u. G. Winneke*: Belästigung durch geruchsintensive Stoffe. Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B 155 (1971) S. 282/95.
- [ 10 ] *Duffee, R.A.*: Appraisal of odor measurement techniques. Journ. of the Air Poll. Contr. Ass. Bd. 18 (1968) Nr. 7, S. 472/74.
- [ 11 ] *Kettner, H.*: Geruchsbelästigende Stoffe. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene, Heft 38, S. 265/79, Stuttgart: Verlag G. Fischer 1972.
- [ 12 ] *Stevens, S.S.*: To honor Fechner and repeal his law. Science Bd. 133 (1961) Nr. 1, S. 80/86.

- [ 13 ] *Winneke, G. u. J. Kastka:* Wirkung von Geruchsstoffen auf den Menschen. VDI-Berichte Nr. 226, S. 11/24. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 14 ] *Berglund, B., U. Berglund, G. Ekman u. T. Engen:* Individual psychophysical functions for 28 odors. *Perc. & Psychophys.* Bd. 9 (1971) S. 379/84.
- [ 15 ] *Morkowski, J.:* Automatisch registrierende Analysatoren zur Bestimmung häufig auftretender luftfremder Gase. *Wasser, Luft und Betrieb* Bd. 8 (1964) Nr. 6, S. 326/42.
- [ 16 ] *Schwarzbach, E.:* Sammeln repräsentativer Geruchsstoffe mit Waschflaschen und photochemische Gruppenanalyse. VDI-Berichte Nr. 226, S. 113/18, Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 17 ] *Bernert, J. u. R. Engstfeld:* Erfahrungen mit einer modifizierten Methode zur Bestimmung der Gesamtmenge verbrennbarer organischer Substanzen in Abgasen, I und II. *Wasser, Luft und Betrieb* Bd. 12 (1968) S. 281/84 u. S. 422/25.
- [ 18 ] *Schreier, P.:* Gaschromatographisch-massenspektrometrische Untersuchungen von Geruchsstoffen aus der Tierhaltung. VDI-Berichte Nr. 26, S. 127/30. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 19 ] *Burnett, W.E.:* Odor transport by particulate matter in high density poultry houses. *Poultry Science* Bd. 48 (1969) S. 182/85.
- [ 20 ] *Dravnieks, A.:* Measuring industrial odors. *Chemical Engineering (Deskbook Issue)* October 21, 1974, S. 91/95.
- [ 21 ] *Plattig, K.H. u. G. Kobal:* Zeitreihenanalysen des EEG bei objektiver Beurteilung von Geruchsempfindungen des Menschen. VDI-Berichte Nr. 226, S. 25/35. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 22 ] *Summer, W.:* Geruchsmachung von Luft und Abwasser. München und Wien: Oldenbourg 1971.
- [ 23 ] *Anonym:* Methods for measuring and evaluating odorous air pollutants at the source and in the ambient air. — Report of an International Symposium Stockholm 1970. *Nord.hyg. Tidskrift*, Bd. 51 (1970) Nr. 2.
- [ 24 ] *Horstman, S.W., R.F. Wromble u. A.N. Heller:* Identification of community odor problems by use of an observer corps. *Journ. of the Air Poll. Contr. Ass.* Bd. 15 (1965) Nr. 6, S. 261/64.
- [ 25 ] *Stalker, W.W.:* Defining the odor problem in a community. *Am. Industrial Hygiene Journal* Bd. 24 (1963) S. 600/605.
- [ 26 ] *Clarenburg, L.A.:* Penelization of the environment due to stench. A study of the perception of odorous air pollution by the population. *Atmosph. Environment* Bd. 7 (1973) S. 333/51.
- [ 27 ] *Huey, N.A., L.C. Broering, G.A. Jutze u. C.W. Gruber:* Objective odor pollution control investigations. *Journ. of the Air Poll. Contr. Ass.* Bd. 10 (1960) Nr. 6, S. 441/46.
- [ 28 ] *Batel, W.:* Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung — erster Bericht. *Grundl. Landtechnik* Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 135/57.
- [ 29 ] *Batel, W.:* Geruchsstoff-, Staub- und Lärmimmission bei der Tierproduktion, gemessen im Verlauf eines Jahres — zweiter Bericht. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 3, S. 83/87.
- [ 30 ] *Wächter, G.:* Technische Möglichkeiten zur Behandlung oder Abscheidung gasförmiger luftfremder Stoffe — insbesondere im Hinblick auf die Desodorisierung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 23 (1973) Nr. 4, S. 92/98.
- [ 31 ] *Wächter, G. u. J. Janssen:* Behandlung von Abluft aus Tierhaltungsbetrieben zur Senkung von Geruchsstoffimmissionen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 3, S. 88/97.
- [ 32 ] *Rossberg, G. u. H. Schaupp:* Riech- und Geschmacksstörungen als gewerbliche Schäden. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene* Bd. 2 (1967) Nr. 7, S. 269/72.
- [ 33 ] *Mannebeck, H.:* Tragbare Olfaktometer. VDI-Berichte Nr. 226, S. 103/105. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 34 ] *Hofmann, H. u. D. Smidt:* Olfaktometrie — Verfahren und Beurteilungsmaßstäbe bei praktischen Tests. VDI-Berichte Nr. 226, S. 97/102. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 35 ] *Wolferrmann, H.F.:* Stationäre und mobile Olfaktometer. VDI-Berichte Nr. 226, S. 107/109. Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 36 ] *Randebrock, R.E.:* Über den Einsatz eines Olfaktometers. *Journ. Soc. Cosmetic Chemists* Bd. 21 (1970) S. 289/97.
- [ 37 ] ASTM: Standard method for measurement of odor in atmospheres (dilution method) ASTM D 1391-57.
- [ 38 ] *Mannebeck, H.:* Ein tragbares Geruchsmeßgerät zur Direktmessung. *Landtechnik* Bd. 28 (1973) Nr. 9/10, S. 287/89.
- [ 39 ] *Ekman, G., B. Berglund, U. Berglund u. T. Lindvall:* Perceived intensity of odor as a function of time of adaptation. *Scand. J. Psychol.* Bd. 8 (1967) S. 177/86.
- [ 40 ] *Warner, P.O.:* Recent advances in odor monitoring: A rapid method for source measurement of odor levels using a modified ASTM dilution method. *Proceedings state-of-the-art of odor control technology specialty conference, 7./8.3.1974, Pittsburgh (1974)* S. 204/13.
- [ 41 ] *Mills, J.L., R.T. Walsh, K.D. Luedtke u. L.K. Smith:* Quantitative odor measurement. *Journ. of Air Poll. Contr. Ass.* Bd. 13 (1963) Nr. 10, S. 467/75.
- [ 42 ] *Hellman, T.M.:* The measurement of odors. *Proceedings state-of-the-art of odor control technology specialty conference, 7./8.3.1974, Pittsburgh (1974)* S. 27/36. Auch in: *Cheremisinoff, P.N. u. R.A. Young:* Industrial odor technology assessment. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publ. Inc. 1975.
- [ 43 ] *Dravnieks, A. u. W.H. Prokop:* Source emission odor measurement by a dynamic forced choice triangle olfactometer. *Journ. of the Air Poll. Contr. Ass.* Bd. 25 (1975) Nr. 1, S. 28/33.
- [ 44 ] *Kettner, H.:* Dynamisches Olfaktometer zur Messung relativer Geruchsintensitäten. *Wasser, Luft und Betrieb* Bd. 18 (1974) Nr. 3, S. 165/66.