

Technische Möglichkeiten zur Behandlung oder Abscheidung gasförmiger luftfremder Stoffe – insbesondere im Hinblick auf die Desodorisierung

Von Gerhard Wächter, Braunschweig *)

DK 614.7:628.52

Im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion und insbesondere bei der Weiterverarbeitung von tierischen Produkten treten oft Gase auf, die die Luft in unerwünschter oder nicht zulässiger Weise verunreinigen. In den meisten Fällen handelt es sich um geruchsintensive Stoffe, aber auch giftige Komponenten können auftreten. Der beste Weg, solche Verunreinigungen zu vermeiden, liegt darin, die Ursachen zu beseitigen [1]. Sind diesem Bestreben aber Grenzen gesetzt, so ist eine Luftbehandlung erforderlich.

Dieser Bericht soll eine Übersicht geben über die grundsätzlichen Möglichkeiten in der Behandlung der Luft, um die unerwünschten Komponenten unschädlich zu machen oder abzuscheiden. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß geruchsintensive Stoffe oft nur in sehr geringer Konzentration vorkommen. Die angesprochenen grundsätzlichen technischen Möglichkeiten sollen auch die Probleme und Maßnahmen im Rahmen des Umweltschutzes auf diesem Sektor sichtbar machen.

1. Zur Geruchswahrnehmung

Der Geruch ist eine menschliche Interpretation eines in der Umwelt real vorkommenden physikalischen Faktums. Er existiert lediglich als Imagination in der Umwelt [2]. Der Mechanismus der Geruchswahrnehmung ist bisher noch nicht bekannt. Doch sprechen Untersuchungsergebnisse in den USA [3] dafür, daß bei der Geruchswahrnehmung eine Komplexbildung zwischen Gasmolekülen und Carotinoiden der Riechschleimhaut stattfindet. Wegen der Unkenntnis der Arbeitsweise der Geruchsrezeptoren gibt es auch keine Meßverfahren, die in einer dem menschlichen Geruchssinn vergleichbaren Art eine Messung und Beurteilung verschiedener Gerüche ermöglichen. Meßbar sind nur die Konzentrationen der Stoffe, die den Geruch verursachen.

Die Beziehung zwischen der Konzentration und der Intensität der Geruchswahrnehmung wird durch das Weber-Fechnersche Gesetz beschrieben. Es besagt, daß die Stärke der Sinneswahrnehmung

annähernd proportional dem Logarithmus des verursachenden Reizes ist. Das bedeutet, daß für eine Halbierung der Geruchswahrnehmung die Konzentration auf den Wurzelwert der Ausgangskonzentration ($c_2 = \sqrt{c_1}$) gesenkt werden muß.

Normalerweise sind mehrere Geruchsstoffe gleichzeitig vorhanden, die sich bezüglich der Geruchsbildung beeinflussen, so daß selbst bei Erfassung aller geruchsbildenden Komponenten bisher keine eindeutige Aussage über die Geruchsintensität möglich ist [4]. Schoedder [5] gibt einen Überblick über die Methoden zur Feststellung von Geruchsemissionen und -immissionen.

2. Gasförmige Emissionen, Quellen und Probleme

Die Zusammensetzung der geruchsintensiven Stoffe sowie deren Konzentration in der atmosphärischen Luft (Immission) ist von der Art ihrer Entstehung, d.h. dem Produktionsverfahren, und von den klimatischen Bedingungen abhängig. Bedeutende Emittenten im Bereich der industriellen Produktion sind die Chemische- und die Lebensmittel-Industrie. Zu nennen sind ferner Tierkörperverwertungsanstalten, Fischmehlfabriken, Schlachthöfe oder Fritüren. Die Hauptemissionsquellen der landwirtschaftlichen Produktion, ein ebenfalls sehr bedeutender Emittent, sind die Abluftöffnungen der Stallgebäude, Undichtigkeit der Flüssigmistlager, Anlagen zur Aufbereitung von Kot und mit Flüssigmist beschickte Flächen. Die luftfremden Gase und geruchsintensiven Stoffe entstehen in diesen Fällen zum überwiegenden Teil beim anaeroben mikrobiellen Abbau von Eiweiß. Dabei fallen Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Methan sowie verschiedene Amine und Mercaptane an. Bei ausreichender Luftzufuhr und damit beim aeroben Abbau entstehen aus Eiweiß, Salpetersäure, Schwefelsäure und Kohlensäure.

Luftverunreinigungen können eine Gefahr oder eine Belästigung für Mensch und Tier beinhalten. Angesichts der Tatsache, daß es in den letzten Jahren zu zahlreichen Nachbarschaftsbeschwerden, aber auch zu Vergiftungen von Mensch und Tier gekommen ist, bestand von Seiten der Technik und der Wirtschaft der Wunsch nach Immissionsgrenzwerten, die im allgemeinen bei Einwirkung einer bestimmten Dauer und Häufigkeit für Mensch, Tier und Pflanze als unbedenklich gelten können.

Im VDI-Handbuch 'Reinhaltung der Luft' hat der Verein Deutscher Ingenieure für zahlreiche Gase solche Werte (MIK-Werte) zusammengestellt [6]. Diese gelten in der Regel nur für die freie Atmosphäre und dann auch nur für eine Komponente. Bei gleichzeitigem Vorhandensein mehrerer verunreinigender Stoffe kann sich die Gesamtwirkung u.U. ändern [7, 8, 9]. Aus Krankheitsstatistiken läßt sich schließen, daß unsere Umwelt örtlich stark mit toxischen Immissionen belastet sein kann. Daraus ergibt sich die Aufgabe, verstärkt nach Lösungen zu suchen, die die Verringerung der Immissionen auf unbedenkliche Konzentrationen ermöglichen [10, 11].

*) Dipl.-Ing. Gerhard Wächter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof.Dr.-Ing.W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft.

3. Maßnahmen der Emissionsbekämpfung

Unter Emissionsbekämpfung werden hier Maßnahmen verstanden, die schon vor dem Entweichen der luftverunreinigenden Stoffe in die Außenluft einsetzen.

Für die Beurteilung der in der Emissionsbekämpfung eingesetzten Maßnahmen ist von Bedeutung, ob die verunreinigte Luft bei der Behandlung durch Konzentrationsänderung in einen Zustand überführt wird, den die Umwelt als weniger belästigend empfindet, ob die Maßnahme eine chemische Umwandlung der emittierten Stoffe in für die Umwelt unbedenkliche bewirkt oder ob mit der Maßnahme die luftfremden Stoffe abgeschieden werden. Danach lassen sich die Maßnahmen zur Emissionsbekämpfung in die drei Gruppen einteilen:

- 3.1 Konzentrationsänderung
- 3.2 chemische Umwandlung und
- 3.3 Abscheidung.

In Bild 1 sind die zur Emissionsbekämpfung heute üblichen Maßnahmen nach diesen Kriterien gegliedert.

Kriterium	Grundlage d. Verfahrens	Hilfsmittel
31 Konzentrationsänderung	311 verdünnen physikalisch	Freistrahlbläse, Kamin, Beipaß
	312 zudosieren physikalisch	maskieren mit wohlriechenden Stoffen
32 chemische Umwandlung	321 chemisch	neutralisieren mit Chemikalien
	322 oxydieren chemisch	Fackel, Verbrennungsanlage, UV-Strahler, Ozonisierung
33 Abscheidung	331 absorbieren physikalisch	Wäscher (Biowäscher) Sprühlturm, Kolonne
	chemisch	Wäscher, Sprühlturm, Reaktor
	332 adsorbieren physikalisch	offenporige Stoffe, z.B. Aktivkohlefilter, Biofilter
	chemisch	offenporige Stoffe, z.B. Aktivkohlefilter (imprägniert)
	333 kondensieren physikalisch	Kühler, Sprühlturm

Bild 1. Maßnahmen zur Emissionsbekämpfung.

3.1.1 Verdünnen

In vielen Fällen lassen sich die Geruchsbelästigungen durch Mischen geruchsbelasteter und reiner Luft vermeiden. Dies kann durch Zwangsbelüftung oder auch durch freie Konvektion erfolgen. Bei der Zwangsbelüftung wird die Abluft über einen oder mehrere Schächte zweckmäßig nach oben abgeführt. Um die Geruchsstoffe in die höheren Schichten der Atmosphäre zu führen, sollen die Abluftschächte ohne Regenhaube ausgeführt sein.

Wenn die Konzentration in der Abluft bestimmte Grenzwerte nicht übersteigt, gelten nach der VDI-Richtlinie 2280 für Industrieanlagen folgende Mindestforderungen:

- 1,5 m über Dach
- 10,0 m über Erdboden
- 5,0 m über der Höhe der in einem Umkreis von 50 m Radius liegenden Gebäude außerhalb des Werksgeländes.

Die Ausstoßgeschwindigkeit soll dabei mindestens 7 m/s betragen [12]

Um die maximal zulässigen Luftstraten des belüfteten Raumes nicht zu überschreiten, kann die austretende Luft außerdem durch Falschlufzufuhr (Beipaß) verdünnt werden. Die Geruchsbeseitigung durch Verdünnung kommt da zur Anwendung, wo Geruchsstoffe nur in geringen Mengen emittiert werden bzw. wo hohe Luftstraten geringer Konzentration anfallen.

3.1.2 Zudosieren (maskieren)

Zur Vermeidung von Gerüchen kommt weiter das Maskieren durch Zudosieren weiterer luftfremder Stoffe zur Anwendung. Zum Maskieren der Osmogene werden Deodoranten meistens in Form eines Aerosols verwendet, die sich in der Luft verteilen. Diese bewirken in den meisten Fällen aber nur eine temporäre Lähmung des Geruchssinnes, so daß vom Beobachter der ursprüngliche Geruch nicht mehr wahrgenommen wird. Auf diese Art lassen sich zwar Belästigungen vermindern, jedoch wirken die auf dieser Grundlage arbeitenden Verfahren nicht immissionsbegrenzend, sondern führen zu weiteren Immissionen. Die Anwendung dieser Methode wird sich daher auf Sonderfälle beschränken.

3.2.1 Zudosieren (neutralisieren)

Eine bessere Möglichkeit der Geruchsbekämpfung ist das Neutralisieren der geruchsintensiven Gase durch chemische Reaktion. Der Luft werden chemische Mittel zugesetzt, die eine stoffliche Umsetzung von Reiz- und Giftstoffen bewirken. Dabei muß gewährleistet sein, daß die Osmogene in für Mensch und Tier unbedenkliche Stoffe verwandelt werden. In besonderen Fällen finden Katalysatoren Anwendung. Wegen der Vielfalt der gleichzeitig vorkommenden Gase ist es schwierig, Katalysatoren und Chemikalien zu finden, die allen Anforderungen gerecht werden.

Je nach Emissionsquelle und der zu behandelnden Luftmenge sind bei der Zudosierung die Präparate und die technischen Hilfsmittel verschieden. Eine einfache Möglichkeit zur Desodorisierung stellt die Verwendung hand- oder automatisch betätigter Sprayflaschen dar. Zur Ausbreitung der Zusatzstoffe werden auch Verdunstungsbehälter und Raumluftbefeuchter eingesetzt. Neben der gezielten punktförmigen Verdunstung gibt es die Möglichkeit der großflächigen Verdunstung mit Hilfe transportabler oder stationärer Sprühanlagen. *Schirz* [13] gibt einen Überblick über die im Handel erhältlichen Präparate und Geräte.

3.2.2 Oxydieren [8, 14]

Durch Oxydation werden geruchsintensive Moleküle so verändert, daß sie von den Riechorganen des Menschen nicht mehr wahrgenommen werden. Das ideale Endprodukt jeder Oxydation ist die Umwandlung der Osmogene in Kohlendioxid und Wasser. Die Oxydation der osmogenen Moleküle ist irreversibel. Die Gerüche werden somit - im Gegensatz zur Maskierung und Verdünnung - 'zerstört'. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ist es naheliegend, den für die Oxydation erforderlichen Sauerstoff der Luft zu entnehmen, da dieser in genügender Menge vorhanden ist. Als Molekül ist der Sauerstoff aber sehr reaktionsträge. Durch Wärmezufuhr, Bestrahlung oder elektrische Entladung läßt er sich in einen Zustand hoher chemischer Affinität überführen.

Bei Erwärmung eines Gasgemisches auf Entzündungstemperatur werden O₂ - Moleküle des Luftsauerstoffes atomar. In diesem Zustand vermag der Sauerstoff sich mit fast allen Elementen zu verbinden. Diesen Vorgang bezeichnet man mit Verbrennung. Die

Verbrennung gilt von allen eingesetzten Verfahren zur Verminderung geruchsintensiver Emissionen als die sicherste und am einfachsten zu handhabende Methode.

Die Oxydation verläuft bei der Verbrennung erst bei Temperaturen über 800° C hinreichend schnell [15]. Emissionen können nach diesem Prinzip wirtschaftlich behandelt werden, wenn für die Temperaturerhöhung genügend brennbare Substanzen in der zu reinigenden Luft vorhanden sind. Andernfalls erfolgt die Aufheizung der zu reinigenden Abgase in einem Wärmeaustauscher und/oder durch Zumischen heißer Brenngase, die durch Verbrennung von Gas oder Öl in einer Brennkammer erzeugt werden. Im Wärmeaustauscher wird die während der Oxydation entstehende Wärme verfahrensmäßig ausgenutzt, indem die gereinigte Abluft einen Teil ihres Wärmeinhalts über eine feste Wand an die ankommende ungereinigte Abluft abgibt.

Durch Verwendung geeigneter Katalysatoren läßt sich eine technisch ausreichende Oxydationsgeschwindigkeit schon im Bereich von 200 - 400° C erzielen [15, 16]. Die Abgase enthalten aber häufig Stäube, die sich auf der Oberfläche der Katalysatoren absetzen und deren Aktivität vermindern [17]. Derartige Anlagen werden daher meistens in Verbindung mit Entstaubungsanlagen betrieben. Diese sollen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht temperaturerniedrigend wirken. *Batel* [18] gibt eine umfassende Darstellung über die in der Entstaubungstechnik angewandten Verfahren.

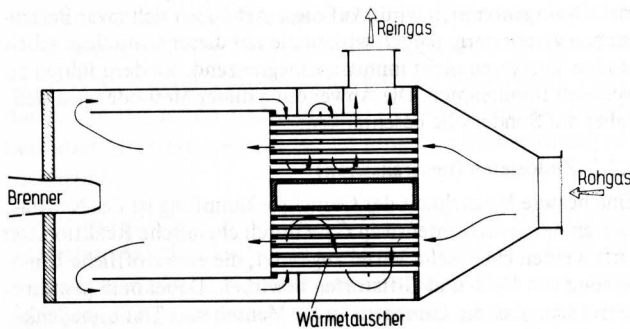


Bild 2. Thermische Verbrennungsanlage.

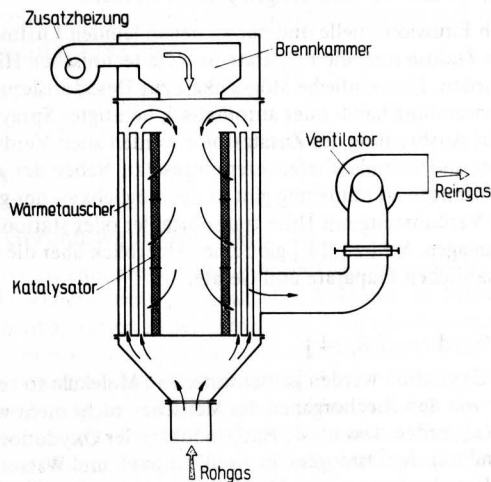


Bild 3. Katalytische Verbrennungsanlage, System DECATOX.

Entsprechend ihrer Wirkungsweise unterscheidet man bei den Bauarten zwischen thermischen und katalytischen Verbrennungsanlagen [15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23]. **Bild 2** zeigt den schematischen Aufbau einer thermischen Verbrennungsanlage mit Wärmeaustauscher. Für einen ausreichenden Wärme- und Stoffaustausch und eine weitgehende Umsetzung der Geruchsstoffe muß eine intensive Durchwirbelung des Abgases in der Flammenfront erfolgen.

Durch Einbauten und Abgasrückführung läßt sich die Turbulenz in der Brennkammer vergrößern. In **Bild 3** ist eine katalytische Verbrennungsanlage mit einer Schütttschicht aus katalytisch aktiven Formkörpern dargestellt. Die Abluft wird zunächst im Wärmeaustauscher aufgeheizt, durchströmt die Mischkammer mit Zusatzbrenner und wird anschließend dem Katalysator zugeführt. Wegen des hohen Strömungswiderstandes solcher Schütttschichten soll die Gasgeschwindigkeit etwa 1 m/s nicht überschreiten. Daraus ergibt sich die Forderung nach großen Anströmflächen. Bei Verwendung von Ganzmetallkatalysatoren kann mit größeren Strömungsgeschwindigkeiten gearbeitet werden [15].

Der Sauerstoff läßt sich ebenfalls durch Bestrahlung aktivieren, wenn eine Energiemenge von 5,08 eV eingestrahlt und vom Molekül absorbiert wird. Nach der Formel $E (eV) = 1239,6 / \lambda (nm)$ sind hierfür Strahlen mit einer Wellenlänge von 245 nm oder kleiner erforderlich. Stellt man die gleiche Betrachtung für den Stickstoff an, ergibt sich eine Wellenlänge von höchstens 126 nm. Nach unten wird die Übertragbarkeit der Wellen von der Durchlässigkeit der Materialien begrenzt. Das für die Sauerstoffaktivierung erforderliche Emissionsspektrum läßt sich mit UV-Lampen realisieren. Der atomare Sauerstoff hat nur eine Lebensdauer von einigen Mikrosekunden. Er muß daher kontinuierlich in unmittelbarer Nähe der Geruchsmoleküle aktiviert werden.

Neben der Bestrahlung mit UV-Licht läßt sich der Sauerstoff auch durch elektrische Entladung in einen Zustand höherer Energie überführen. Jedoch werden dann gleichzeitig auch die Stickstoffmoleküle aufgespalten, die zusammen mit dem Sauerstoff die für Mensch und Tier schädlichen nitrosen Gase bilden. Außerdem wird durch die Spaltung der Stickstoffmoleküle der Wirkungsgrad der Anlage erheblich herabgesetzt. Demgegenüber werden bei der UV-Bestrahlung die Stickstoffmoleküle nicht aktiviert.

Die Wahrscheinlichkeit, daß sich ein Sauerstoffatom mit einem Geruchsmolekül verbindet, hängt von der Reaktivität zwischen den Sauerstoffatomen und den Osmogenen ab. Befinden sich keine Geruchsmoleküle in der Nähe des aktiven Sauerstoffes, schließen sich je drei Sauerstoffatome zu einem Molekül zusammen, das die Bezeichnung Ozon trägt. Ozon ist ein sehr giftiges Gas, das nach neuesten Erkenntnissen schon bei einer Konzentration ab 0,05 ppm für Mensch und Tier schädlich ist. Trotz der geringen Stabilität wird Ozon nur sehr langsam abgebaut und kann unter geeigneten Bedingungen im Extremfall bis zu 12 Stunden bestehen bleiben [24].

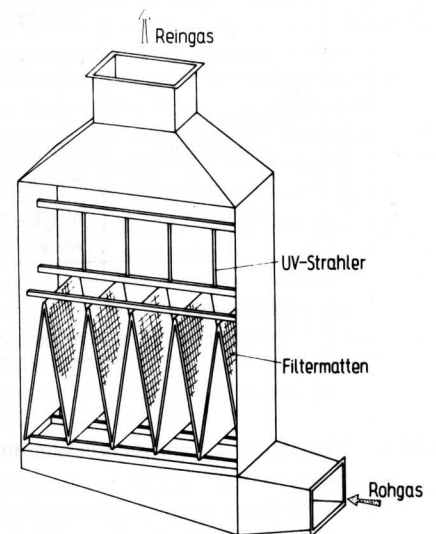


Bild 4. UV-Bestrahlungskammer mit Filtermatten, System Preusse.

Es wurde wiederholt versucht, Ozon nach Erfolgen bei der Wasseraufbereitung auch zur Beseitigung von Gerüchen einzusetzen. Aus gaskinetischen Gründen dürfte wegen der bei den niedrigen Konzentrationen der Geruchsstoffe und des Ozons geringen Stoßwahrscheinlichkeit nur eine langsame Oxydation zu erwarten sein.

In Bild 4 ist eine UV-Bestrahlungskammer schematisch dargestellt. Die erforderliche Anzahl der Röhren richtet sich nach dem Luftdurchsatz und der Konzentration der Geruchsstoffe. Sie sind parallel oder hintereinander in den Abluftschächten angeordnet. Infolge elektrostatischer Aufladung neigen die Röhren sehr rasch zum Verstauben, was eine erhebliche Leistungsminderung zur Folge hat. Außerdem werden flüssige und feste Bestandteile der Luft nur an der Oberfläche oxydiert. Geruchsstoffe im Kern von Partikeln bleiben daher von der Sauerstoffbehandlung unberührt und können nach Bestrahlung noch aus den Teilchen austreten und belästigend auf die Umwelt einwirken. Aus diesem Grunde ist ein Staubfilter, naß oder trocken, vor den UV-Röhren angebracht. Die UV-Röhren werden von Kammern umgeben, die gleichzeitig als Strahlenschutz dienen. Die Wirksamkeit derartiger Anlagen wurde durch Versuche bestätigt. Es ist noch umstritten, ob die geruchsmindernde Wirkung primär auf der Oxydation der Osmogene oder auf einem Sekundäreffekt beruht, der darin besteht, daß Ozon die Empfindlichkeit der Geruchsnerven beeinträchtigt. Die mit Ozon und aktivem Sauerstoff durchgeführten Versuche ermöglichen bisher keine quantitative Bewertung der Oxydationsvorgänge.

3.3.1 Absorbieren [14, 25, 26, 27, 28]

Unter Sorption versteht man allgemein die Aufnahme eines Stoffes durch einen anderen. Der aufzunehmende Stoff wird mit Sorbat und der aufnehmende Stoff mit Sorbens bezeichnet. Die Sorption wird wieder untergliedert in die Absorption und die Adsorption. Absorption ist das Eindringen eines Stoffes durch Diffusion in einen anderen Stoff über die Trennfläche zweier Phasen hinweg unter Bildung einer Mischphase. Man unterscheidet zwischen der physikalischen und der chemischen Absorption. Bei der physikalischen Absorption wird die Konzentration des Absorbats in der gasförmigen Phase durch Waschen mit einer Flüssigkeit, die ein hohes Lösungsvermögen für den auszuwaschenden Stoff besitzt, vermindert. Im Gegensatz dazu reagiert bei der chemischen Absorption das Absorbat mit dem Absorbens und bildet eine chemische Verbindung, so daß die Flüchtigkeit des aufgenommenen Stoffes stark herabgesetzt wird.

Die bedeutendsten Stoffübergangshypothesen sind die Zweischichtentheorie und die Penetrationshypothese. Bei der Zweischichtentheorie nimmt man stationäre Diffusion durch ruhende Grenzschichten zu beiden Seiten der Phasengrenzfläche an. Das Penetrationsmodell beschreibt die instationäre Diffusion der absorbierten Komponente. Bei dieser Hypothese wird angenommen, daß die Turbulenz sich bis zur Oberfläche der Flüssigkeit ausbreitet, so daß ununterbrochen Teilchen aus dem Hauptstrom der Flüssigkeit an die Phasengrenzfläche gebracht werden. Hiby [29] und Brauer [25] geben eine zusammenfassende Darstellung der bekannten Stoffübergangshypothesen.

Da die Vorgänge an der Phasengrenze sich im einzelnen mathematisch noch nicht beschreiben lassen, werden diese bei der Berechnung des Stoffüberganges global erfaßt. Die Definitionsgleichung für den Stoffübergang lautet

$$\dot{m} = \beta \cdot S \cdot \Delta c.$$

Danach ist der Stoffübergang proportional der Austauschfläche, d.h. der Phasengrenzfläche zwischen der Flüssigkeit und der Luft, der mittleren Konzentrationsdifferenz zwischen Gas und Phasengrenze und einem Proportionalitätsfaktor, den man als den Stoffdurchgangskoeffizienten definiert hat. Der Stoffdurchgangskoeffizient setzt sich nach der Zweischichtentheorie aus den Stoffübergangskoeffizienten für die Flüssigkeitsseite und die Gasseite zusammen. Bei gut löslichen Geruchsstoffen ist der gaseitige Stoffübergangskoeffizient für den Stoffübergang bestimmend. Diese Gleichung wird auch für die Berechnung der chemischen Absorption angewandt, da noch kein Modell gefunden wurde, das die Verhältnisse des Stoffüberganges hier besser beschreibt [26]. Der Stoffübergangskoeffizient ist von mehreren Verfahrensvarianten abhängig und wird meistens in der dimensionslosen Form

$$Sh = \frac{\beta \cdot d}{D} = C \cdot Re^a \cdot Sc^b \cdot f(d/l)$$

dargestellt. Es gibt bisher keine allgemein gültigen Gleichungen zur Berechnung des gaseitigen Stoffübergangskoeffizienten, so daß dieser für jeden Anwendungsfall gesondert bestimmt werden muß.

Die Restkonzentration in der Abluft wird durch den Partialdruck im Waschmittel bestimmt. Bei der chemischen Absorption ist die Restkonzentration des Absorbats in der Abluft praktisch unabhängig von der Konzentration der Umwandlungsprodukte in der Waschflüssigkeit.

Die Abmessungen der Absorber richten sich nach dem geforderten Auswaschungsgrad sowie dem Sorbat und Sorbens. Für schnellen und möglichst vollkommenen Stoffaustausch sind große Kontaktflächen sowie eine gute Durchmischung der einzelnen Phasen erforderlich. Waschtürme erhalten daher Einbauten wie Füllkörper, Horden, Böden usw. [30]. Wegen ihres geringen Druckabfalles werden vielfach Füllkörpersäulen eingesetzt. Durch Verwendung mehrerer in Reihe geschalteter Absorber mit verschiedenen Waschmitteln lassen sich einzelne Stoffgruppen selektiv erfassen [31]. Von Bedeutung für die Abscheidung der Waschanlagen ist auch die Reihenfolge der Waschmittelbenutzung [32].

Die Absorptionsanlagen haben den Vorteil, daß sie auch Feststoffe abscheiden. Da Stäube auch Träger von Geruchsstoffen sind, wird dadurch die Abscheidung der Geruchsstoffe noch verbessert. Die Ablagerung der Osmogene an Partikeln kann durch Ionisation noch unterstützt werden.

In Bild 5 ist das Prinzip eines Füllkörperturmes dargestellt, wie er sowohl für die Geruchsabscheidung wie auch in der Entstaubungstechnik eingesetzt wird [18]. Austauschfläche und Druckabfall werden im wesentlichen durch die Form der Füllkörper bestimmt.

Sind Feststoffteilchen in der Abluft, die eine Verstopfung der Einbauten des Absorptionsturmes bewirken könnten, werden Absorber mit rotierenden Elementen bevorzugt. Für die Geruchsbeseitigung kommen die nach dem Venturiprinzip arbeitenden Strahlwaschanlagen häufig zur Anwendung. Problematisch ist bei allen Wäschern die Entstehung der Abwasser. Hier könnten für bestimmte Abgasprobleme u.U. die Verfahren eine Lösung bringen, die mit biologisch aktivem Wasser arbeiten. Dabei wird das mit Geruchsstoffen angereicherte Wasser in einem mit Bakterien geimpften Absatzbecken aufbereitet und anschließend wieder dem Waschturm zugeführt. Im Umlaufbetrieb läßt sich der Frischwasserbedarf niedrig halten. Die regelungstechnischen Fragen derartiger Anlagen sind noch weitgehend ungeklärt, so daß über ihre Wirksamkeit noch keine Aussagen gemacht werden können.

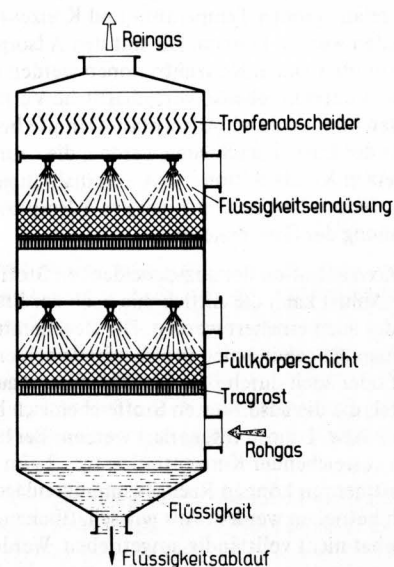


Bild 5. Luftwäscher mit berieselten Füllkörpern.

3.3.2 Adsorbieren [14, 27, 28, 33, 34]

Unter Adsorption versteht man die ohne Verflüssigung erfolgende Anreicherung von Gasen oder Dämpfen an Feststoffen mit stark offener Porenstruktur und großer innerer Oberfläche. Geht das Adsorbens mit dem Adsorptionsmittel eine chemische Bindung ein, spricht man von Chemosorption. Die Verflüssigung leicht kondensierbarer Stoffe unter Einwirkung der Adhäsionskräfte in den Kapillaren bezeichnet man mit Kapillarkondensation.

Je nach abzuscheidendem Stoff sind die Adsorptionsmittel verschieden. Für die Abscheidung von Lösemitteln und Spuren organischer Verbindungen wird überwiegend Aktivkohle eingesetzt, während Kieselgele, Molekularsiebe, Aluminiumoxide o.ä. bei den polaren Verbindungen Verwendung finden. Im folgenden werden nur die Aktivkohlefilter behandelt, die für die Desodorisierung häufig Verwendung finden.

Die Aktivkohletypen unterscheiden sich im wesentlichen durch die Verteilung und Größe der Poren und der inneren Oberfläche. Die Oberfläche des Kohlenstoffgerüsts beträgt bei der handelsüblichen körnigen Aktivkohle 1000 bis 1400 m³/g [35].

Durch Imprägnieren mit geringen Salzmengen kann die Kohle derart aktiviert werden, daß sie die abzuscheidenden Stoffe an der Oberfläche chemisch bindet.

Die Klärung der physikalischen Bindevorgänge war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Die an der Oberfläche eines Adsorbens abgeschiedene Menge eines Stoffes errechnet sich bei konstanter Temperatur nach der Gleichung von Ostwald-Boedecker-Freundlich zu:

$$x = k \cdot c^n.$$

Neben dieser Korrelation gibt es im Schrifttum noch weitere Adsorptionsgleichungen. Die von einer Filtereinheit aufgenommene Stoffmenge wird mit Beladung bezeichnet. Die bei einer bestimmten adsorbierten Stoffmenge auftretende Sättigungsbiladung der Adsorbentien findet in der Potenzformel keine Berücksichtigung. Sie ist sowohl vom Druck als auch von der Temperatur abhängig. Durch Druckerhöhung und/oder Temperaturniedrigung kann die Gleichgewichtsbiladung erhöht werden. Durch den immer in der Luft vorhandenen Wasserdampf wird die Adsorptionskapazität infolge Wasserdampf-Adsorption für den abzuscheidenden Stoff sehr herabgesetzt, so daß der Durchbruch der Geruchsstoffe schon bei wesentlich geringerer Beladung als unter Idealbedingungen erfolgt. Ebenso wird die Adsorptionskapazität durch Stäube und Schwebestoffe, die die feinen Kapillaren des Adsorptionsmittels verstopfen, vermindert. Deshalb werden Aktivkohlefilter häufig in Kombination mit Vorfiltern betrieben.

Ein besonderer Vorteil der Adsorptionsverfahren ist, daß Dämpfe in einem relativ großen Temperatur- und Konzentrationsbereich abgeschieden werden können. Die mit den Adsorptionsverfahren noch zu verarbeitenden Konzentrationen werden nach oben durch technisch mindestens ebenso wirtschaftliche Verfahren begrenzt. Nach unten können durch Adsorption Dämpfe bis auf Konzentrationen aus der Luft abgeschieden werden, die - zum Unterschied von der reinen Kondensation - weit unterhalb ihres Sättigungswertes liegen. Jedoch läßt sich auch bei der Adsorption keine vollständige Trennung der Gase erzielen.

Je nach Konzentration der abzuscheidenden Stoffe in der zu reinigenden Abluft kann die Aktivkohle nach der Erschöpfung regeneriert oder auch erneuert werden. Die Regeneration erfolgt derart, daß man die gebundenen Stoffe mittels heißer Gase oder Wasserdampf oder auch durch Beladung mit Wasser austreibt. Adsorptionsmittel, die die adsorbierten Stoffe chemisch binden, müssen mit Säuren bzw. Laugen regeneriert werden. Bei hochwertigen Lösemitteln ausreichender Konzentration (ca. 2 g/m³ [36]) und großen Abluftmengen können Rückgewinnungsanlagen meistens wirtschaftlich betrieben werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird das Adsorbat nicht vollständig ausgetrieben. Werden nur Spuren an Verunreinigungen abgeschieden, ist wegen der langen Laufzeiten der Filter die Regeneration häufig nicht lohnend, so daß die Aktivkohle verbrannt wird.

Bild 6 zeigt die Ausführung eines Aktivkohlefilters in Kastenform. Die Aktivkohleschichten sind in auswechselbaren Schubladen angeordnet. In [28] finden sich einige technische Daten zur Dimensionierung derartiger Anlagen an. Die Brauchbarkeit der Methode haben Versuche zur Desodorisierung der Abluft aus Knochenmehlfabriken, Tierkörperbeseitigungsanstalten usw. gezeigt.

Bei den Adsorptionsverfahren können auch die Biofilter mit gasdurchlässiger Trägermasse eingereiht werden. Die Trägermasse besteht aus speziell vorbehandelten und in Horden angeordneten Humusschichten, die mit natürlich gemischten Mikroorganismenstämmen besetzt sind. Die Geruchsstoffe werden beim Durchströmen der Filtermasse zunächst sorptiv gebunden. Die Regeneration der Filter wird anschließend von Bakterienstämmen übernommen, die die Moleküle als Nahrung aufnehmen und zersetzen. Jede Zerfallphase entspricht einer bestimmten Mikroorganismengruppe. Entsprechend dem Nahrungsangebot und den klimatischen Bedingungen bilden sich bestimmte Bakterienstämme heraus. Nachteilig ist, daß dem Filter nur staubfreie Abluft bestimmter Temperatur und Luftfeuchte zugeführt werden darf, da andernfalls Verstopfungsfahr besteht. Die bei derartigen Anlagen bestehenden regelungstechnischen Probleme können noch nicht als gelöst betrachtet werden.

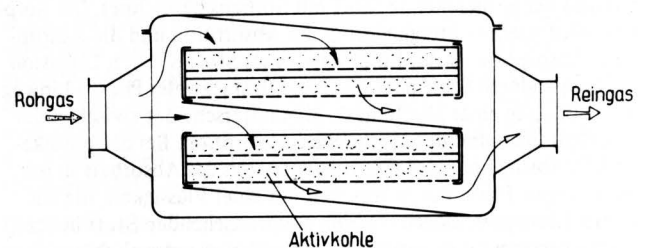


Bild 6. Aktivkohlefilter mit auswechselbarem Kohlebett.

3.3.3 Kondensieren [14, 28]

Unter Kondensieren versteht man die Verflüssigung eines Dampfes bzw. Gases durch Unterschreiten des Taupunktes infolge Abkühlung mit und ohne gleichzeitige Kompression. Dabei wird solange Kondensat ausgeschieden, bis der Partialdruck des dampfförmigen Anteils den Sattampfdruck des vorliegenden Stoffes erreicht. Die Restkonzentration ist durch den Sättigungsgehalt bei der entsprechenden Temperatur und dem jeweiligen Druck gegeben.

Bei der Kondensation sind im wesentlichen zwei Verfahren zu nennen:

1. Oberflächenkondensatoren, in denen der Dampf auf Körperflächen kondensiert wird, die von der anderen Seite mit einem Kühlmittel umspült werden;
2. Einspritzkondensatoren, in denen das Kühlmittel durch Einspritzen in den Dampfraum mit dem Dampf in unmittelbare Berührung gebracht wird.

Die Wärmeaustauschflächen der Oberflächenkondensatoren werden aus der Gleichung für die Wärmeübertragung bestimmt. Kassatkin [14] behandelt die Grundlagen zur Berechnung der Oberflächen- und Einspritzkondensatoren.

Wegen der geringen Konzentration und der hohen Dampfdrücke der Osmogene hat die Kondensation für die Desodorisierung nur eine geringe Bedeutung [37]. Bei großen Luftraten wären die Investitions- und Betriebskosten beträchtlich.

Die Kondensation wird als Vorreinigung zur Absorption oder Adsorption eingesetzt, wenn die Abluft leicht kondensierbare Stoffe enthält, die die Ab- bzw. Adsorptionsmittel zu stark verschmutzen.

4. Beurteilung der Abscheidung

Die vollständige Abscheidung aller Fremdgase aus der Luft ist mit vertretbarem Aufwand technisch nicht realisierbar. Daher muß bei jedem Abscheidungsverfahren mit einem bestimmten Wirkungsgrad gerechnet werden. Solange sich der Geruch nicht meßtechnisch erfassen läßt, können auch keine Zahlenangaben über den 'Desodorisierungsgrad' einer Anlage gemacht werden. Alle Angaben zum Wirkungsgrad einer Anlage beschränken sich daher auf Konzentrationsänderungen. Mit Abscheidungsgrad wird das Verhältnis der in der Anlage abgeschiedenen bzw. umgesetzten Osmogenmenge zu der mit dem Rohgas zugeführten Osmogenmenge bezeichnet:

$$\eta = \frac{c_e - c_a}{c_e} \cdot 100\%$$

Im allgemeinen werden die Geruchsstoffe selektiv erfaßt. Für eine überregionale Messung und Bewertung der Gerüche bedarf es für alle praktikablen Verfahren bestimmter Konventionen.

5. Einsatz und Kosten der Verfahren in der landwirtschaftlichen Produktion

Wegen der Vielschichtigkeit der Probleme sollen die Verfahren hier nur unter dem Aspekt ihres Einsatzes in der landwirtschaftlichen Produktion betrachtet werden. In der Nutztierhaltung fallen sehr hohe Abluftmengen an, die feste, flüssige und gasförmige Stoffe enthalten können [13]. Die Abscheidung der luftfremden Stoffe ist aufwendig und teuer. Bei Neubauten sind daher die Emissionsfragen schon bei der Standortwahl zu berücksichtigen. Weiter sind die Maßnahmen für die Landwirtschaft gegenwärtig am aussichtsreichsten und auch wohl am billigsten, die schon die Entstehung geruchsbelästigender Stoffe weitgehend verhindern. Dies kann durch die Wahl günstiger Haltungformen, Entmistungs- und Lagerungstechniken geschehen. Sauberkeit im Stall sowie hygienische und Lüftungstechnische Maßnahmen wirken ebenfalls emissionshemmend [38, 39]. Erst wo diese Maßnahmen nicht ausreichen oder versagen, sollten die Verfahren zur Emissionsbekämpfung einsetzen.

Geruchsstoffe können als Teilstrom unmittelbar an der Emissionsquelle abgesaugt und in einer Reinigungsanlage abgeschieden werden [40, 41, 42], während die übrige Stallluft durch Verdünnen mit der Außenluft desodoriert wird. Bei der Verdünnung ist das Zudosieren maskierender und neutralisierender Chemikalien möglich. Der Einsatz von chemischen Mitteln für die Luftbehandlung in der Landwirtschaft ist bisher behördlich noch nicht geregelt.

Die Wahl des Desodorisierungsverfahrens richtet sich nach den Bedingungen, unter denen das Abgas anfällt. Wie eingangs beschrieben, werden die meisten Desodorisierungsverfahren durch Stäube in ihrer Funktion negativ beeinträchtigt. Sie müssen daher in Verbindung mit einer Entstaubungsanlage betrieben werden. Es bleibt abzuwarten, ob Waschtürme mit biologisch aktivem Wasser künftig eine Alternative zu der heute vorwiegend betriebenen Verdünnung der Abluft darstellen und bei vertretbarem Aufwand sowohl den Anforderungen an eine Entstaubungs- als auch an eine Desodorisierungsanlage gerecht werden, ohne das Abluft- in ein Abwasserproblem zu verwandeln.

Schirz [13] gibt für die z.Z. in der Nutztierhaltung zur Minderung der Geruchsbelästigung gebräuchlichen Methoden die Anschaffungs-, Betriebs- und Unterhaltungskosten an. Die Investitionskosten für eine Lüftungsanlage mit zentraler Abluftführung belaufen sich für einen Schweinestall mit 330 Schweinen auf 18 000,- bis 20 000,- DM; das entspricht ca. 57 DM pro Tierplatz. Hierzu kommen die laufenden Kosten, die ca. 2,75 DM pro erzeugtes Mastschwein betragen. Bei Verwendung geruchsüberdeckender Mittel treten pro Schwein bei einer Mastdauer von 150 Tagen je nach verwendetem Präparat laufende Kosten zwischen 1,25 und 3,00 DM auf, wobei sich die Anlagekosten nach dem Stand der Technisierung richten. Wird die gesamte Abluft eines Stalles in einem Abscheider gereinigt, belaufen sich die Anlagekosten u.U. auf ein Mehrfaches.

6. Zusammenfassung

Die in der atmosphärischen Luft vorhandenen Fremdgase können aggressiv, belästigend aber auch toxisch sein. Zur Abwendung von Schäden an Mensch, Tier und Pflanze dürfen derartige Gase bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten und sind ggf. aus der Abluft zu entfernen. Im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion werden die geruchsintensiven Stoffe zum überwiegenden Teil bei Abbauvorgängen in den Exkrementen gebildet. Entsprechend der verschiedenen Quellen der Geruchsemissionen sind die Möglichkeiten zu ihrer Beschränkung zu wählen.

Es wird zunächst eine Übersicht über die bei der Geruchsbeseitigung und Lösemittelabscheidung angewandten Verfahren gegeben. Die physikalischen Grundlagen werden besprochen und die Anwendungsbereiche aufgezeigt. Der Einsatz der behandelten Verfahren in der landwirtschaftlichen Produktion wird unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen diskutiert.

Verwendete Formelzeichen

a, b	-	Konstanten
C	-	Konstante
c	kg/m ³	Konzentration
c _a	kg/m ³	Konzentration am Austritt
c _e	kg/m ³	Konzentration am Eintritt
d	m	kennzeichnende Querschnittsabmessung
D	m ² /s	Diffusionskoeffizient
E	eV	Elektronenvolt
f	-	Funktion
k	m ³ /kg	Stoffkonstante
l	m	Anströmlänge
m̄	kg/s	Massenstrom
n	-	Stoffkonstante
S	m ²	Fläche
x	-	adsorbierte Menge in g je 1 g Adsorbens
β	m/s	Stoffübergangskoeffizient
Δ	-	Differenz
η	-	Abscheidungsgrad
λ	nm	Wellenlänge
Sc	-	Schmidt-Zahl
Sh	-	Sherwood-Zahl
Re	-	Reynolds-Zahl

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Huch, R.: Stand der technischen Möglichkeiten zur Emissionsminderung bei Tierhaltungsbetrieben. Wasser, Luft und Betrieb 17 (1973) H. 9, S. 302/305.
- [2] Summer, W.: Methodologie der Umweltreinigung. Wasser, Luft und Betrieb 15 (1971) Nr. 12, S. 455/457.
- [3] Rosenberg, B., T.N. Misra u. R. Switzer: Mechanism of Olfactory Transduction. Nature, Vol. 217 (1968) Febr.3, S. 423/427.
- [4] Berghlund, B., U. Berghlund u. T. Lindvall: Perceptual Interaction of Odors from a Pulp Mill. Proceedings of the third international clean air congress (1973) S. A 40/A 43 *
- [5] Schoedder, F.: Verfahren zur Ermittlung von Emissionen und Immissionen. Berichte über Landwirtschaft Bd. 50 (1972) H. 3, S. 580/588.

- [6] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft. Bd. 1
Düsseldorf: VDI-Verlag 1972.
- [7] *Stöfen, D.*: Luftreinhaltung - West und Ost im Vergleich
U - Das technische Umweltmagazin 3 (1971) S. 44/45.
- [8] ● *Summer, W.*: Geruchlosmachung von Luft und Abwasser.
München/Wien: Oldenbourg-Verlag 1970.
- [9] *May, J.*: Geruchsschwellen von Lösemitteln zur Bewertung
von Lösemittelgerüchen in der Luft. Staub 26 (1966) Nr.9,
S. 385/388.
- [10] *Murthy, B.N. u. J.S. Bowen*: Research and Development
for Improving Odor Control Technology. Proceedings of the
third international clean air congress (1973) S. E 108/E 111.
- [11] *Häberle, M., H. Hoffmann, B. Kotkamp u. J. Diewald*:
Beseitigung von Gerüchen in der chemischen Industrie.
Proceedings of the third international clean air congress
(1973) S. E 115/E 117.
- [12] VDI-Richtlinien VDI 2280: Auswurfbegrenzung-Dämpfe
organischer Verbindungen (Lösemittel) (1969).
- [13] *Schirz, S.A.*: Geruchsbelästigung durch Nutztierhaltung und
die Möglichkeiten der Vermeidung und Abhilfe.
KTBL-Bauschriften, H. 13 (1971).
- [14] ● *Kassatkin, A.G.*: Chemische Verfahrenstechnik. 2. Aufl.,
Bd. I u. II, Berlin: VEB Verlag Technik 1959.
- [15] VDI-Richtlinien VDI 2441 E: Abgasreinigung durch kataly-
tische Verbrennung - Reinhaltung der Luft (1969).
- [16] *Franzky, U.*: Über den Einsatz von Oxydationsverfahren
zur Verminderung geruchsintensiver Emissionen. VDI-Ber-
ichte Nr. 149 (1970) S. 291/302.
- [17] *Brand, H.-D.*: Luftreinhaltung durch katalytische Verbren-
nung in Wirkungsweise, Anwendungsmöglichkeit und Wirt-
schaftlichkeit. Zbl. Arbeitsmed. (1969) 10, S. 300/308.
- [18] ● *Batel, W.*: Entstaubungstechnik - Grundlagen, Verfahren,
Meßwesen. Berlin/Heidelberg/New York: Springer 1972.
- [19] *Siepmann, R. u. K. Reith*: Katalytische Abgasreiniger für
Kleinanlagen. Wasser, Luft und Betrieb (1972) H. 5,
S. 142/143.
- [20] *Brand, H.-D.*: Reinigung geruchsbelästigender Abluftströ-
me. Wasser, Luft und Betrieb (1972) H. 10, S. 351/355.
- [21] *Ochs, H.-J.*: Tendenzen der Abgas-Reinigung. Wasser,
Luft und Betrieb (1966) H. 2, S. 73/76.
- [22] *Quillmann, H.*: Reinigung von Abgasen aus Lackierereien
durch katalytische oder thermische Verbrennung. Metall-
oberfläche 24 (1970) H. 9, S. 330/332.
- [23] -: Hinweise zur katalytischen Nachverbrennung. Wasser
Luft und Betrieb 17 (1973) Nr. 2, S. 54/56.
- [24] *Summer, W.*: Geruchsbekämpfung mittels aktiven Sauer-
stoffes. Luftverunreinigung (1969) S. 26/30.
- [25] ● *Brauer, H.*: Stoffaustausch einschließlich chemischer Reak-
tionen. Aarau und Frankfurt am Main: Sauerländer 1971.
- [26] ● *Thormann, K.*: Adsorption. Berlin/Heidelberg/New York:
Springer 1959.
- [27] ● *Strauss, W.*: Industrial Gas Cleaning. Oxford/London/
Edinburgh/New York/Toronto/Paris/Braunschweig:
Pergamon Press 1966.
- [28] -: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie.
2. Aufl. München/Berlin: Urban & Schwarzenberg 1951.
3. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie 1972.
- [29] *Hiby, J.W.*: Eine Fluoreszenzmethode zur Untersuchung
des Transportmechanismus bei Gasabsorption im Riesel-
film. Wärme- und Stoffübertragung 1 (1968) S. 105/116.
- [30] *Choulat, G.*: Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der
Ammoniak- und Benzolwaschung. Gas- und Wasserfach
(1960) H. 1, S. 2/7.
- [31] *Quellmalz, E.*: Die Verminderung von Geruchsbelästigungen
bei Tierkörperbeseitigungsanstalten. Proceedings of the third
international clean air congress (1973) S. E 118/E 119.
- [32] *Hettche, H.O., H. Schwarz u. W. Lühr*: Abgasreinigung in
der Industrie tierischer Produkte. Städtehygiene (1964)
H. 5, S. 103/105, H. 7, S. 155/158, H. 9, S. 210/212.
- [33] ● *Bratzler, K.*: Die Adsorption von Gasen und Dämpfen in
Laboratorium und Technik. Dresden/Leipzig: Steinkopf
1944.
- [34] ● *Kiesskalt, S.*: Verfahrenstechnik. München: Hauser 1958.
- [35] *Storp, K.*: Minderung der Geruchsentwicklung durch Ab-
sorption, Adsorption und Kondensation. VDI-Berichte
Nr. 124 (1968) S. 11/17.
- [36] *Franzky, U.*: Bekämpfung von Geruchsbelästigungen, die
durch organische Verbindungen verursacht sind. Staub-Reinh.
Luft 28 (1968) Nr. 3, S. 113/119.
- [37] *Storp, K.*: Luftreinhaltung durch Adsorptions-, Absorptions-
und Kondensations-Verfahren. Zbl. Arbeitsmed. Arbeitsschutz
19 (1969) H. 10, S. 295/300.
- [38] *Wolferrmann, H.-F.*: Emission von Geruchsstoffen aus der
Landwirtschaft - Vorkommen, Umfang und Grundlagen zur
Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Verfahren zum Um-
weltschutz. Proceedings of the third international clean air
congress (1973) S. E 124/E 127.
- [39] *Wolferrmann, H.-F.*: Möglichkeiten der Geruchsbeseitigung.
Grundlagen der Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 2, S.50/51.
- [40] *Skarp, S.-U.*: Säkrare flytgödselhantering, Gödselanläggnin-
gens utformning och skötsel. Jordbrukstekniska institutet,
Meddelande nr. 338 Uppsala 1971.
- [41] *Mothes, E., H. Stephan, G. Schubert u. G. Klinki*:
Untersuchung der Zwangslüftung in einem Schweinestall mit
Vollspaltboden. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) H. 4,
S. 177/180.
- [42] *Sällvik, K. u. O. Högsved*: Untersuchungen über Lüftungs-
und Mistgasverhältnisse in Tierställen. Bauen auf dem Lande
(1970) H. 1, S. 20/21.

*) Proceedings of the third international clean air congress.
Düsseldorf: VDI-Verlags-GmbH 1973.