

Behandeln von Abluft aus Tierhaltungsbetrieben zur Senkung von Geruchsstoffimmissionen

Von Gerhard Wächter und Jan Janssen,
Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 614.71:628.5

Geruchsstoffemissionen aus landwirtschaftlichen Betrieben, die im Sinne des Immissionschutzes zu unzulässigen Belästigungen in der Nachbarschaft dieser Betriebe führen können, lassen sich am wirtschaftlichsten über Verbessern der Stallbedingungen, wie z.B. durch Stallpflege, und Bekämpfen der Entstehung und Ausbreitung der Geruchsstoffe durch bauliche Maßnahmen mindern. Reichen solche Maßnahmen zur Vermeidung von Belästigungen nicht aus, muß man die in der Abluft vorhandenen Geruchsstoffe vor dem Eintritt in die Außenluft durch entsprechende Verfahren behandeln oder abscheiden. Es werden die Einsatzmöglichkeiten von Verfahren aus der Industrie für die Behandlung der Abluft aus Tierhaltungsbetrieben und speziell die Anwendung von Wäschern mit biologischer Waschwasserbehandlung zur Desodorisierung diskutiert.

Inhalt

1. Einleitung
2. Bedingungen für Abluftreinigungsverfahren in der Tierproduktion
3. In der industriellen Produktion eingesetzte Verfahren zur Abluftbehandlung
 - 3.1 Verdünnen
 - 3.2 Thermische und katalytische Verbrennung
 - 3.3 Ozonisierung und UV-Strahlung
 - 3.4 Absorption
 - 3.5 Adsorption
4. Eignung der vorgestellten Verfahren für die Behandlung der Abluft aus Tierhaltungen
5. Versuche mit biologischen Waschverfahren
 - 5.1 Aufbau der Versuchsanlage im Labor
 - 5.2 Versuchsdurchführung unter Laborbedingungen
 - 5.3 Versuchsergebnisse unter Laborbedingungen
 - 5.4 Biologisches Waschverfahren unter Praxisbedingungen
6. Eignung der Verfahren zur Behandlung der Luft im Stall
7. Zusammenfassung

1. Einleitung

Im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion sind die anaeroben Zersetzungen organischer Substanzen in Ställen die wesentlichen Quellen für Geruchsstoffe. Diese können eine erhebliche Belästigung nicht nur der Umwelt, sondern auch der im Stall tätigen Menschen zur Folge haben. Erträgliche Verhältnisse lassen sich in vielen Fällen schon schaffen, wenn es gelingt, durch eine verbesserte Stallpflege und -hygiene und/oder entsprechende bauliche Maßnahmen die Entstehung und Ausbreitung der Geruchsstoffe zu vermindern [1, 2]. Besonders vorteilhaft wirken sich Veränderungen der Luftzusammensetzung im Stall für die dort tätigen Menschen und die Tiere aus, ein Gesichtspunkt, der nicht Gegenstand dieses Berichtes ist, auf den aber wegen seiner grundsätzlichen Bedeutung in Abschnitt 6. noch kurz eingegangen wird.

In den folgenden Ausführungen wird das Stallgebäude als eine durch Wand- und Dachflächen abgeschlossene Anlage betrachtet. Durch Öffnungen in den raumumschließenden Flächen werden mit der Abluft Geruchsstoffe in die Außenluft emittiert. Die Austrittsstellen der Emissionen sind zugleich Quellen für Immissionen in der Umgebung der Betriebe, wobei als Immission hier nur die Einwirkung von Geruchsstoffen auf Menschen, Tiere usw. in der Nachbarschaft des Emittenten angesprochen ist [3].

Bei den heute in der Tierhaltung üblichen großen Beständen mit den veränderten, arbeitssparenden Haltungstechniken sind den genannten Möglichkeiten, nämlich durch eine verbesserte Stallpflege usw. die Stallluft und damit die Abluft möglichst wenig zu verunreinigen, Grenzen gesetzt. Da außerdem Siedlungsräume und landwirtschaftliche Betriebe eng zusammengedrängt sind, kann man die mit Geruchsstoffen belastete Abluft aus Stallgebäuden zum Teil nicht mehr unbehandelt in die Außenluft abgeben, ohne unzulässige Geruchsstoffimmissionen in der Nähe dieser Betriebe hervorzurufen. Das zeigt sich insbesondere an den zunehmenden Nachbarschaftsbeschwerden, aufgrund derer in manchen Fällen die zeitweilige Schließung von Betrieben verfügt wurde (z.B. [4]).

In Tierhaltungsbetrieben ist es aufwendig, die einzelnen Entstehungsstellen für Geruchsstoffe getrennt zu erfassen und solche Teilluftströme einer gesonderten Behandlung zuzuführen. Aus wirtschaftlichen sowie Lüftungstechnischen Gründen wird deshalb durch eine gezielte Luftführung die gesamte Abluft an bestimmten Austrittsstellen nach außen abgeführt, so daß sich eine evtl. erforderliche Abluftreinigung mit der Lüftungsanlage kombinieren läßt.

2. Bedingungen für Abluftreinigungsverfahren in der Tierproduktion

Zur Senkung von Geruchsstoffemissionen in einem kontinuierlichen Abluftstrom stehen den Emittenten der industriellen Produktion verschiedene Verfahren zur Verfügung, die sich in modifizierter Form auch für die Behandlung der Abluft aus landwirtschaftlichen

*) Dr.-Ing. G. Wächter war, Dipl.-Ing. J. Janssen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

chen Betrieben anbieten. Da aber mangelnde Betriebssicherheit oder wirtschaftliche Gründe einen Einsatz dieser Verfahren unter den in der Tierhaltung vorherrschenden Betriebsbedingungen oft nur bedingt zulassen, ist es notwendig, Auswahlkriterien zusammenzustellen und mit ihnen die Verfahren zu beurteilen.

In Tierhaltungsbetrieben werden die Luftwechselraten je nach Jahreszeit nach dem Wärme-, dem Wasserdampf- oder dem Kohlendioxidmaßstab für den Stall bemessen [5]. Die aus dem Stall abgeführte Luft ist sehr feucht und enthält meist sowohl feste als auch gasförmige luftfremde Stoffe wechselnder Zusammensetzung. **Tafel 1** gibt eine Größenordnung gemessener Werte für die Abluft aus Tierhaltungsbetrieben für drei Tierarten an [6, 7, 8].

Werte für die Abluft		Tierart		
		Rind	Schwein	Huhn
Abluftrate	$\frac{\text{m}^3}{\text{h Tier}}$	125 ÷ 250	25 ÷ 75	5 ÷ 10
Staubkonzentration	$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$	0,5 ÷ 8	1,5 - 25	1,5 - 8
Ammoniakkonzentration	ppm	5 ÷ 25	5 ÷ 25	5 ÷ 30
Schwefelwasserstoffkonzentration	ppm	0 ÷ 1	0	
rel. Geruchsstoffkonzentration (d.h. Vielfaches der Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle)	-	15 ÷ 50	10 ÷ 50	10 ÷ 25

Tafel 1. Werte für die Abluft bei verschiedenen Tierarten.

Für die Behandlung der Abluft aus Tierhaltungsbetrieben verwendbare Verfahren müssen demnach unempfindlich gegen Staub und auftretendes Kondensat sein und aus großen Abluftströmen ein komplexes Gemisch von luftfremden gasförmigen Stoffen geringer Konzentration entfernen oder es verändern. Die Konzentration der in der Abluft vorhandenen Geruchsstoffe liegt häufig oberhalb der Belästigungsgrenze, aber um mehrere Zehnerpotenzen niedriger als die schädliche Konzentration; so gibt man sich mit Maßnahmen zufrieden, die durch Verdünnen eine Konzentrationsänderung der verunreinigten Luft bis unter die Belästigungsgrenze zum Ziel haben.

Unter Berücksichtigung des Immissionsschutzes kommen jedoch in größerem Umfang Verfahren zum Einsatz, die die Geruchsstoffe in unbedenkliche Stoffe umwandeln oder sie abscheiden. Ein Kriterium für die Einsatzfähigkeit dieser Verfahren sind die damit verbundenen Kosten. Um Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten entsprechend niedrig zu halten, sollte deshalb die Abluftbehandlung mit wartungsarmen Apparaturen in möglichst wenig Verfahrensschritten erfolgen.

Bei der Suche nach Desodorisierungsverfahren in der landwirtschaftlichen Produktion ist also eine Optimierung im Sinne eines ausreichenden Immissionsschutzes auf der einen und im Sinne geringerer Kosten auf der anderen Seite anzustreben. Nachstehend werden unter diesem Aspekt einzelne bereits bekannte Luftreinigungsverfahren für den möglichen Einsatz zur Behandlung der Abluft aus Tierhaltungen beschrieben und ihre Vor- und Nachteile diskutiert.

3. In der industriellen Produktion eingesetzte Verfahren zur Abluftbehandlung

Die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Behandlung geruchsstoffbeladener Luft wie Verdünnen, Oxidieren, Absorbieren, Adsorbieren und Kondensieren wurden bereits wiederholt zusammenfassend dargestellt [2, 9, 11]. Diese Verfahren lassen sich einzeln oder auch miteinander kombiniert für die Abluftbehandlung einsetzen, je nachdem welche Lösung sich als die wirtschaftlichere erweist.

3.1 Verdünnen

Wie bereits oben erwähnt, ist das am meisten angewandte Verfahren zum Senken der Geruchsstoffimmission in der Nachbarschaft von Tierhaltungsbetrieben das Verdünnen, das durch Mischen der geruchsstoffbeladenen Luft mit Reiluft eine Konzentrationsänderung bis unterhalb der Belästigungsgrenze bewirken soll. Damit wird schon die Konzentration der Geruchsstoffe in der Stallluft herabgesetzt, wenn wie üblich durch eine Zwangslüftung des Stalles mit ausreichender Frischluftzufuhr und einer gezielten Luftführung die Vermischung im Stall erfolgt. Da aber die maximal zulässige Luftwechselrate die Verdünnung der Stallluft begrenzt, kann sie in vielen Fällen nur wenig zum Verringern von Geruchsstoffimmissionen beitragen. Eine weitere Verdünnung der gesamten Abluft aus Tierhaltungen ist dann noch durch folgende Verfahren zu erreichen:

- Zuführen von Frischluft zur geruchsstoffbeladenen Abluft im Abluftschacht durch konstruktive Maßnahmen, beispielsweise Bypass, **Bild 1**. Die Frischluftzufuhr muß dabei so geregelt werden, daß auch bei niedrigen Abluftmengen noch eine Verdünnung der Abluft möglich ist.
- Die Abführung der Abluft durch einen zentralen Abluftschornstein. In diesem Fall wird die gesamte Stallabluft meistens durch ein Kanalsystem zusammengeführt und mit hoher Geschwindigkeit aus dem Schornstein in die freie Atmosphäre ausgeblasen, **Bild 1**. Der Emissionspunkt muß dann möglichst hoch über dem Erdboden liegen.

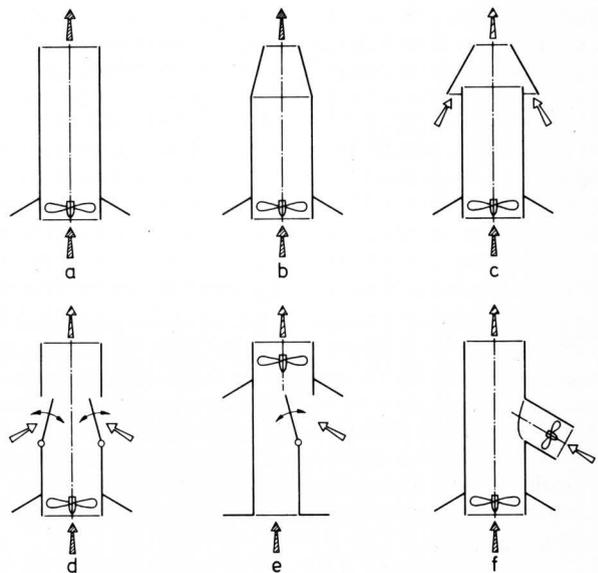


Bild 1. Verschiedene Bauformen von Abluftschächten zum Erzielen einer hohen Austrittsgeschwindigkeit.

- a zyl. Abluftschacht
 b bis e Abluftschacht mit Injektorwirkung
 f Abluftschacht mit zusätzlichem Ventilator
 (c bis f Bypass-Verfahren)

Die anschließende Ausbreitung der Geruchsstoffe in der Atmosphäre ist ein sehr vielschichtiger Vorgang, der nur näherungsweise beschrieben werden kann, so daß es bisher noch keine voll befriedigende, theoretische Lösung gibt. Sie ist nicht nur vom Stallgebäude als Emittenten und der Art des Abluftaustritts, sondern auch sehr stark von den meteorologischen Gegebenheiten, wie mittlere Geschwindigkeit und Turbulenz des Windes, sowie der Bodenbeschaffenheit, der Bebauung und dem Bewuchs in der Umgebung des Emittenten abhängig. Mit bestimmten Vereinfachungen, beispielsweise der für gasförmige, emittierte Stoffe zutreffenden Annahme einer nicht nennenswerten Sinkgeschwindigkeit,

kann jedoch bei vorgegebenen Emissionsdaten und atmosphärischen Ausbreitungsverhältnissen ein mathematischer Zusammenhang zwischen einer Quelle und der resultierenden maximalen Geruchsstoffkonzentration in Bodennähe hergestellt werden [12–14]. Aus diesem Zusammenhang läßt sich dann für die höchstzulässige Geruchsstoffimmission näherungsweise die Schornsteinhöhe bestimmen oder bei einer angenommenen Schornsteinhöhe die Geruchsstoffimmission in der Umgebung des Betriebes abschätzen.

Reichen jedoch die ermittelten oder vorhandenen Abstände zwischen Betrieb und Nachbarschaft nicht aus, um mit der Ausbreitung eine hinreichende Verdünnung der Geruchsstoffe außerhalb des Stalles zu erzielen und damit eine Belästigung zu vermeiden, dann ist eine Reinigung der Abluft aus Tierhaltungen unumgänglich. Vorwiegend kommen dabei Verfahren zur Anwendung, die, wie die Absorptionsverfahren, die Geruchsstoffe abscheiden oder sie, wie bei der Verbrennung, in geruchlose oder -schwache Oxidationsprodukte überführen.

3.2 Thermische und katalytische Verbrennung [15–17]

Die Verbrennung gilt als eine sehr sichere und einfach zu handhabende Methode zur Senkung von Geruchsstoffemissionen in einem Abluftstrom. Bei der thermischen Verbrennung gelingt bei Temperaturen über 800 °C die Oxidation organischer Geruchsstoffe zu Kohlendioxid und Wasserdampf fast vollständig, selbst wenn die Geruchsstoffe in hoher Verdünnung vorliegen. Bei anorganischen Bestandteilen der Abluft, wie z.B. Ammoniak oder Schwefelwasserstoff, ist allerdings die Bildung gefährlicher Schadstoffe, wie Stickoxide oder Schwefeldioxid, zu beachten. Erfolgversprechend und relativ kostengünstig läßt sich dieses Verfahren grundsätzlich überall dort einsetzen, wo die verunreinigte Abluft genügend verbrennbare Stoffe enthält. Anderenfalls muß die Aufheizung der Abluft durch Verbrennen von Gas oder Öl in einer Brennkammer erfolgen. Hinsichtlich der Kosten ist es vorteilhaft, die in der gereinigten Abluft vorhandene Energie anschließend in einem Wärmetauscher auszunutzen, z.B. zum Vorheizen der Abluft vor der Verbrennung oder in den Wintermonaten zum Beheizen von Räumen.

Bei der katalytischen Verbrennung läßt sich durch geeignete Katalysatoren eine ausreichende Oxidationsgeschwindigkeit schon bei wesentlich niedrigeren Temperaturen erzielen. Dadurch ist der Brennstoffverbrauch um 60 bis 80 % niedriger als bei der thermischen Verbrennung. Falls die zu reinigende Abluft jedoch Stäube mit sich führt, die sich auf der Oberfläche der Katalysatoren absetzen und dadurch deren Aktivität vermindern, ist der Betrieb katalytischer Verbrennungsanlagen nur mit vorhergehender Entstaubung möglich.

3.3 Ozonisierung und UV-Bestrahlung [15, 18–22]

Geruchsstoffe lassen sich bei normalen Umgebungstemperaturen direkt oxidieren durch aktiven Sauerstoff. Da der in der Luft vorhandene Sauerstoff für die Oxidation zu reaktionsträge ist, müssen die Geruchsstoffe über Oxidationsmittel mit atomarem Sauerstoff zur Reaktion gebracht werden.

Als Oxidationsmittel findet Ozon Verwendung, das, mit Luft als Trägergas in die Abluftleitung eingeführt, in einer anschließenden Reaktionsstrecke die Geruchsstoffe oxidiert. Ozon ist aber eine giftige Substanz, deren Zersetzung in der Luft sehr langsam abläuft. Außerdem können bei dieser Gasreaktion Oxidationsstoffe auftreten, die unangenehmer als die ursprünglichen sind.

Das Bestrahlen der Abluft mit ultravioletem Licht ist als Variante der Ozonbehandlung anzusehen. Hier soll der für die Oxidation erforderliche atomare Sauerstoff in der zu behandelnden Abluft durch die Strahlung von UV-Röhren direkt gebildet werden. Der sich evtl. auf den Röhren absetzende Staub hat eine erhebliche Leistungsminderung zur Folge, so daß bei staubhaltiger Luft der

UV-Strahler nur in Verbindung mit Entstaubern störungsfrei arbeitet. In der schematischen Darstellung in Bild 2 ist z.B. ein Rollbandfilter der Bestrahlungseinrichtung vorgeschaltet. Das Reinhalten der UV-Röhren durch Berieseln mit Wasser hat sich als wenig wirkungsvoll erwiesen.

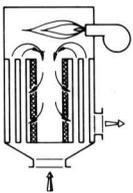
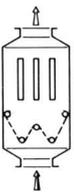
Grundlage des Verfahrens	Oxidieren	
	Katalytische Verbrennungsanlage	UV-Bestrahlungskammer
Benennung		
Schema		
Druckverlust [N/m ²] (9,81 N/m ² ≙ 1mm WS)	-	30 - 300
Anströmgeschwindigkeit bezogen auf leergedachten Apparatequerschnitt [m/s]	ca. 1	3 - 5,5

Bild 2. Verfahren zur Behandlung geruchsstoffbeladener Abluft durch Oxidation.

3.4 Absorption

Unter Absorption versteht man die vollständige oder teilweise Aufnahme eines Gases oder Dampfes in einer Waschflüssigkeit. Da die absorbierte Stoffmenge der Austauschfläche der beiden Phasen direkt proportional ist, wird in der Abluftreinigung die Waschflüssigkeit über Schüttungen von Füllkörpern geleitet oder fein zerstäubt, Bild 3. Bevorzugte Wascher sind Füllkörper-, Sprühturm- und Venturiwascher.

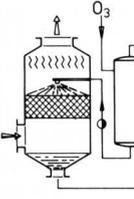
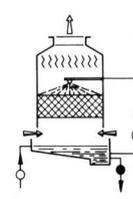
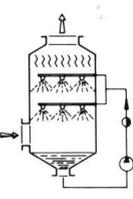
Grundlage des Verfahrens	Absorbieren		
	Wascher mit wäßriger O ₃ -Lösung	Füllkörperwascher	Sprühturmmascher
Benennung			
Schema			
Regeneration	Ozon	Chemikalien wie Kaliumpermanganat, Schwefelsäure, Natronlauge usw. Mikroorganismen	
Druckverl. [N/m ²] (9,81 N/m ² ≙ 1mm WS)		200 - 2000	50 - 100
Mittlere Gasgeschwindigkeit bezogen auf den Querschnitt der leeren Säule [m/s]		1 - 2	1 - 3

Bild 3. Waschverfahren zur Reinigung geruchsstoffbeladener Abluft.

Für das Auswaschen der Geruchsstoffe sind wegen des Waschwasserverbrauchs und der möglichen Abwasserbelastung vor allem solche Entwicklungen von Interesse, bei denen das Waschmittel im Kreislauf geführt werden kann. Die Regeneration der Waschflüssigkeit erfolgt dann durch Oxidationsmittel oder – entsprechend der biologischen Abwasserreinigung – Mikroorganismen. Von den verschiedenen Waschverfahren wird im folgenden nur eine Auswahl für die Desodorisierung vorzugsweise eingesetzter Verfahren behandelt.

Kalksteinturm-Verfahren [23, 24]

Bei diesem Waschverfahren fließt mit Chlor angereichertes Wasser im Gegenstrom zu der verunreinigten Abluft über eine mit Kalkstein, Dolomit oder anderen Erdalkalibicarbonaten gefüllte Säule. Im Turm setzt sich das Chlor mit dem Kalk zu Hypochlorit und Chlorid um und oxidiert dabei die Geruchsstoffe, wobei der Kalk die bei der Reaktion entstehenden sauren Bestandteile bindet. Die anfallenden neutralen Abwässer können dann dem Waschturm wieder zugeführt werden. Gegen eine derartige Wäsche mit chlorhaltigem Wasser sind insofern Bedenken laut geworden, als eine teilweise Emission des Chlors nicht auszuschließen ist.

Abluftwäsche mit Kaliumpermanganat [25, 26]

Wirksam beseitigen lassen sich Geruchsstoffe auch durch eine Abluftwäsche mit Kaliumpermanganat, da sich das starke Oxidationsmittel Permanganat für die Oxidation sehr vieler organischer Verbindungen eignet. Wie bei anderen Oxidationsmitteln gibt es aber auch hier verschiedene Stoffe, die mit Kaliumpermanganat nicht leicht reagieren; zu diesen gehört auch Ammoniak [9]. Die Wäsche ist sowohl in Füllkörpersäulen als auch in Sprühturmwaschern möglich, wobei das Verfahren unabhängig vom Waschertyp nach dem Gegenstromprinzip arbeitet. Die Waschflüssigkeit kann nur einmal oder nach einer Reinigung und Wiederanreicherung mit Chemikalien im Kreislauf durch den Wascher geschickt werden. Das bei der Reduktion des Permanganats entstehende, praktisch unlösliche Mangandioxid führt bei Waschflüssigkeitsumlauf jedoch leicht zu Schwierigkeiten. Ohne eine sorgfältige Entfernung des Dioxids treten Ablagerungen und Verkrustungen auf, die den Wirkungsgrad erheblich herabsetzen. Für den Abbau der sehr unterschiedlichen geruchsintensiven Stoffe, wie sie z.B. in der Abluft einer Tierkörperverwertungsanstalt auftreten, sind eine saure und eine alkalisch gepufferte Kaliumpermanganatlösung bestimmter Konzentration erforderlich.

Wascher mit Regenerationskolonne [27]

In vielen Fällen ist bei einer Abluftwäsche eine anschließende Wasseraufbereitung unerlässlich, um eine Abwasserbelastung zu vermeiden. Die Geruchsstoffe in der flüssigen Phase mit einem Oxidationsmittel zur Reaktion zu bringen und das verbrauchte Oxidationsmittel im Kreislauf nach Regenerierung erneut zur Oxidation der Abluft heranzuziehen und dabei kein Abwasser anfallen zu lassen ist Grundlage eines relativ neuen Verfahrens zur Abluftreinigung, das in Bild 3 links dargestellt ist und erstmals in einem fettverarbeitenden Betrieb zum Einsatz kam. Die in der Waschflüssigkeit angereicherten Geruchsstoffe sollen dabei in einer Regenerationskolonne durch Zugabe von Ozon unter Druck bis zu Kohlendioxid, Stickstoff und Wasser abgebaut werden.

Biologische Waschverfahren [18, 28, 29]

Die biologischen Waschverfahren arbeiten ähnlich wie die Tropfkörperverfahren bei der biologischen Abwasserreinigung. Durch ein von oben mit biologisch aktivem, d.h. mit Klärschlamm gepflanztem Wasser berieselte Füllkörperschüttung strömt im Gegenstrom die zu reinigende Luft. Dabei gehen wasserlösliche Stoffe von der Gasphase in die Flüssigphase über und werden hier genauso wie die im Abwasser vorhandenen organischen Substanzen durch die Mikroorganismen umgewandelt.

Das Waschwasser läßt sich bei Ausgleich der Verdunstungsverluste sowie eines kleinen ständig abfließenden Teilstroms im Kreislauf führen. Dieser zusätzlich zu ersetzende Teilstrom soll die Konzentration der Umsetzungsprodukte begrenzen, die hemmend auf den biologischen Abbauprozess wirken kann.

Ein ähnliches biologisches Verfahren ist die kombinierte Abluft- und Abwasserreinigung, wie sie z.B. eine TKV-Anstalt anwendet [30]. Die Abluft wird hier zur Belüftung der Kläranlage des Betriebes benutzt und auf diese Weise gereinigt.

3.5 Adsorption

Die eingesetzten Adsorptionsanlagen sind überwiegend Festbettadsorber. Sie bestehen meist aus einem Behälter, der mit einer Schüttung von Adsorbenspartikeln gefüllt ist. Diese Schüttung wird von geruchsstoffbeladener Luft durchströmt. Wenn es sich um die Abscheidung von Spuren an Verunreinigungen handelt, kann die Laufzeit eines derartigen Filters Monate oder gar Jahre betragen und eine Regeneration des Adsorptionsmittels lohnt nicht. Das Adsorptionsvermögen läßt sich durch Imprägnieren der Filterstoffe noch erhöhen, da damit die Geruchsstoffe an der Oberfläche chemisch gebunden werden. Ist die Konzentration an Verunreinigungen zu hoch, so daß die Beladungszeit der Filter nur Stunden oder Tage beträgt, kann der Einsatz eines regenerierbaren Filterstoffes zweckmäßig sein. Die Geruchsstoffe haften dann meist nur durch Oberflächenkräfte am Adsorptionsmittel und werden mit Wasserdampf oder Heißluft ausgetrieben, so daß sie beim anschließenden Kondensieren – soweit dies möglich ist – entweder als wässrige Lösung oder als reine Phase anfallen.

Adsorber eignen sich jedoch nur zur Abscheidung gasförmiger Luftverunreinigungen. Feste luftfremde Stoffe müssen vorher abgetrennt werden, da sie Standzeiten und Abscheidewirkung der Adsorber erheblich verkleinern können.

Redox-Verfahren [28]

Nach dem Prinzip der Adsorption und Oxidation arbeitet das sog. Redox-Verfahren. Die Geruchsstoffe sollen an der großen inneren Oberfläche des Schüttmaterials adsorbiert und zugleich mit Hilfe von beigegebenen Katalysatoren oxidiert werden, Bild 4. Das offengeporige Material ist ein sog. Katalyt-Filterstoff mit der Firmenbezeichnung "Collo-Sanilan DU 134", der nach dem Beladen auszuwechseln ist.

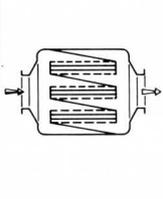
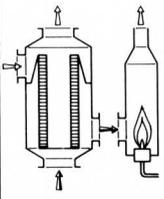
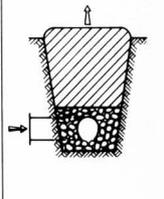
Grundlage des Verfahrens	Adsorbieren		Sorbieren
Benennung	Adsorber mit imprägnierten Filterstoffen	Adsorber mit Verbrennungsanlage	Bodenfilter / Erdfilter
Schema			
Regeneration	Heißluft, überhitzter Wasserdampf		Mikroorganismen
Druckverl. [N/m ²] (9,81N/m ² ≙ 1mm WS)	300 - 3000 pro m Schichthöhe Aktivkohle		200 - 750 pro m Schichthöhe
Mittlere Gasgeschwindigkeit bezogen auf den leer gedachten Abscheiderquerschnitt [m/s]	0,1 - 0,4		0,15 - 0,25

Bild 4. Verschiedene Sorptionsverfahren zur Reinigung geruchsstoffbeladener Abluft.

Adsox-Verfahren [31, 32]

Das Adsox-Verfahren stellt eine Kombination von Adsorption der Geruchsstoffe an Aktivkohle mit einer anschließenden Umwandlung durch Verbrennung dar, Bild 4. Die luftfremden Stoffe werden zunächst an Aktivkohle angereichert, nach Beladen des Filters

mit einem kleinen Heißluftstrom ausgetrieben und – so angereichert – verbrannt. Die Adsorption aus der Gasphase erfolgt chargenweise in einem Festbettadsorber, so daß erst der Einsatz von zwei Adsorbentien mit abwechselndem Beladungs- Regenerations- Zyklus auch eine kontinuierliche Abluftreinigung ermöglicht. Nach diesem Verfahren sind auch große Abluftströme mit verhältnismäßig niedriger Fremdstoffkonzentration mit geringen Betriebskosten zu reinigen, da die Verbrennung einen sehr geringen Brennstoffverbrauch hat.

Erd- oder Kompostfilter [33, 34]

Die Möglichkeit, eine Erd- oder Kompostschicht bestimmter Höhe als Filter für geruchsstoffbeladene Abluftströme zu benutzen, ist schon lange bekannt, Bild 4. Das Verfahren beruht darauf, daß Geruchsstoffe durch Sorptionskräfte des feuchten Bodenmaterials gebunden werden und die Regeneration der Sorbentien dann durch die im Boden stattfindenden mikrobiellen Stoffwechselvorgänge erfolgt. Der Begriff Sorption soll darauf hinweisen, daß über das Ausmaß der einzelnen Anteile an der Aufnahme des Gases im Filter, nämlich der Adsorption am Bodenkörper und der Absorption im Bodenwasser keine Aussage möglich ist.

Die Filterfläche ist linear vom Luftdurchsatz abhängig, so daß das Haupteinsatzgebiet der Bodenfilter in Betrieben mit ausreichend Umland, wie Müllkompostwerke, Abwasserkanäle, konzentrierte Tierhaltung und andere Betriebe in ländlichen Regionen, zu sehen ist.

Neben Erd- oder Kompostfiltern kommt noch ein spezielles Biofilter, eine mit bestimmten Bakteriengruppen geimpfte Filtermasse, zur Anwendung.

Zahlreiche bisher durchgeführte Untersuchungen mit Erd- oder Biofiltern bestätigen, daß das Desodorisieren geruchsstoffbeladener Abluft in diesen Filtern grundsätzlich möglich ist, Versuche in der Praxis erbrachten aber kein zufriedenstellendes Ergebnis, vor allem bei staubhaltiger Abluft [19, 35].

4. Eignung der vorgestellten Verfahren für die Behandlung der Abluft aus Tierhaltungen

Eine Bewertung der verschiedenen Verfahren ergibt, daß eine möglichst starke Verdünnung der Abluft in Verbindung mit Maßnahmen, die die Entstehung von Geruchsstoffen weitgehend verhindern, oft einen ausreichenden Schutz vor belästigenden Geruchsstoffemissionen in der Umgebung eines Tierhaltungsbetriebes gewährleisten. Bei ungünstigem Standort des Betriebes und hochbelasteten Abluftströmen erweist sich jedoch die Abluftverdünnung vielfach als unzulänglich, so daß eine Reinigung der Abluft vorgesehen werden muß, die im Regelfall höhere Investitions- und Betriebskosten mit sich bringt.

Sehr aufwendig in den Betriebskosten ist die thermische Abluftverbrennung, falls eine Wärmerückgewinnung nicht möglich ist. Obgleich die Betriebskosten etwas niedriger liegen, ist aber auch der Einsatz einer katalytischen Verbrennung für den Tierhaltungsbetrieb keine zufriedenstellende Lösung, da der hohe Staubgehalt der Abluft die Funktionstüchtigkeit einer derartigen Anlage sehr beeinträchtigt [36].

Um den bei den Verbrennungsverfahren erforderlichen relativ hohen Apparat- und Betriebskostenaufwand zu vermeiden, wird oft versucht, die Geruchsstoffe bei normalen Ablufttemperaturen durch Oxidationsmittel zu beseitigen. Die direkte Behandlung der Abluft mit Ozon oder UV-Strahlern ist aber recht problematisch und umstritten. Die Umsetzung der Geruchsstoffe verläuft wegen der geringen Anzahl gleichzeitig vorhandener angeregter Sauerstoffatome sehr langsam und aus bisherigen Versuchen geht eindeutig hervor, daß weder die direkte Ozonbehandlung noch die UV-Bestrahlung Möglichkeiten sind, um die Abluft aus Tierhaltungen im Bereich eines wirtschaftlich vertretbaren Aufwandes zu reinigen [19, 20].

Die Adsorptionsverfahren sind wegen ihrer Empfindlichkeit gegen Staub nur in Verbindung mit Entstaubern anwendbar. Außerdem führen hier hohe Luftfeuchtigkeit und Kondensatbildung

zu einem raschen Absinken des Abscheidegrades [28], so daß Adsorptionsverfahren in der Tierhaltung bisher keine Verbreitung fanden.

Erd- oder Biofilter wurden gelegentlich schon in Betrieben mit konzentrierter Tierhaltung erprobt. Das Einhalten einer gleichmäßigen Feuchte der Filtermasse stellt beim Betreiben derartiger Anlagen ein wesentliches Problem dar; leicht bilden sich in der Filtermasse Trockenstellen, die eine ungenügende Abscheidung und Regeneration verursachen. Diese Schwierigkeiten dürften neben der Staubempfindlichkeit ein wesentlicher Grund dafür sein, daß diese Filter in der konzentrierten Tierhaltung gegenwärtig nur versuchsweise Verwendung finden.

Lediglich die Absorptionsverfahren können beim jetzigen Entwicklungsstand und unter den in der Tierhaltung vorherrschenden Betriebsbedingungen für die Abluftreinigung empfohlen werden. Ihr entscheidender Vorteil gegenüber den anderen Verfahren liegt darin, daß sie neben gasförmigen luftfremden Stoffen auch flüssige und feste Partikel abscheiden und die Gesamtkosten am niedrigsten sind. Von den möglichen Waschverfahren sind es insbesondere Wascher mit biologischer Waschwasserbehandlung, die im Bereich der Tierhaltung am wirtschaftlichsten arbeiten.

Die Kosten für dieses Verfahren belaufen sich z.B. pro produziertes Mastschwein bei Winterluftraten auf ca. 2,50 DM, bei Sommerluftraten auf bis zu 17,50 DM [28, 29]. Bei den chemischen Waschverfahren treten für die Regeneration der Waschflüssigkeit gegenüber dem biologischen Verfahren mindestens um 20 % höhere Betriebskosten auf.

5. Versuche mit biologischen Waschverfahren

Über die Wirkungsweise und den mit biologischen Waschverfahren erreichbaren Auswaschungsgrad ist bisher wenig bekannt. Es wurden darum Versuche durchgeführt, die Aufschlüsse über die Wirkungsweise und den Einsatzbereich dieser Wascher geben sollen, wobei zunächst der Einfluß verschiedener Füllkörper auf den Auswaschungsgrad im Vordergrund steht.

5.1 Aufbau der Versuchsanlage im Labor

Die Laborversuche wurden an einer im halbtechnischen Maßstab ausgeführten Versuchsanlage durchgeführt, Bild 5. Die zu reinigende Luft strömt bei dieser Anlage von unten nach oben durch eine von oben mit biologisch aktivem, d.h. mit Klärschlamm geimpftem Wasser besetzte Füllkörperschüttung. Das Wasser wird unter Ausgleich von Verdunstungsverlusten, der zur Vermeidung von Carbonatausfällungen usw. durch entsalztes Wasser geschah, im

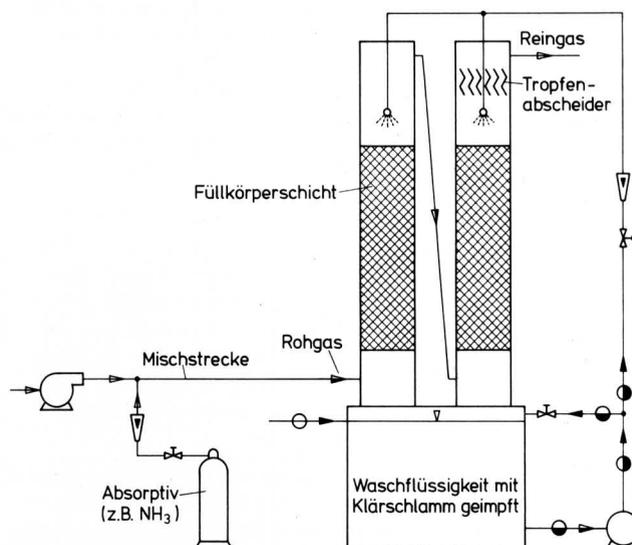
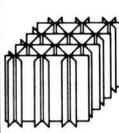
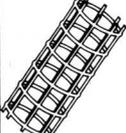


Bild 5. Füllkörperwascher – Versuchsanlage.

Kreislauf geführt. Die in den durchgeführten Versuchen eingesetzten drei verschiedenen Füllkörper sind in **Tafel 2** zusammen mit den Versuchsbedingungen dargestellt. Als verunreinigende Luftbeimengung wurde Ammoniak (NH₃) gewählt, ein Stoff mit guter Löslichkeit in Wasser, der in Tierställen in relativ hoher Konzentration vorkommt, s. **Tafel 1**.

Versuch	1	2	3
Füllkörper	 EUROFORM -WB 154	 EUROFORM -PN 63/05	 NSW-Rohre gelocht
Luftdurchsatz [m ³ /h]	250	250	250
Eingangskonzentration NH ₃ [ppm]	50 (30)	50	50
Abluftgeschwindigkeit [m/s]	1,25	1,25	1,25
Berieselungsdichte [m ³ /m ² h]	7,5	7,5	7,5
Druckverlust [mbar]	2-3	3-4	5-6

Tafel 2. Eingesetzte Füllkörper und Versuchsbedingungen.

5.2 Versuchsdurchführung unter Laborbedingungen

Die Eingangskonzentration c_E des Ammoniaks betrug bis auf einen kurzen Zeitraum konstant 50 ppm. Die Ausgangskonzentration c_A wurde im ersten Versuch jeweils morgens und abends mit Prüfröhrchen (Fa. Dräger), in den beiden anderen kontinuierlich mit dem Gasspürgerät ULTRAGAS U3S-UNIVERSAL (H. Wösthoff oHG) gemessen. Am Abend eines jeden Tages erfolgte zwecks Analyse* die Entnahme einer Wasserprobe. Die von außen angesaugte Frischluft wurde dem Wascher mit einer konstanten Temperatur von etwa 25 °C zugeführt.

5.3 Versuchsergebnisse unter Laborbedingungen

Den unter den genannten Bedingungen im ersten Versuch erzielten Auswaschungsgrad

$$\eta_A = \frac{c_E - c_A}{c_E}$$

in Abhängigkeit von der Zeit zeigt **Bild 6**. In dieser Darstellung sind zwei Bereiche zu unterscheiden. Bei Einhalten sonst gleicher Betriebsbedingungen ist die Ammoniakkonzentration am Wascher Eingang in den ersten 31 Versuchstagen ca. 50 ppm, anschließend nur noch 33 ppm.

Der Auswaschungsgrad beträgt bei Inbetriebnahme des Washers aufgrund der guten Löslichkeit von Ammoniak in Wasser fast 80%, er fällt mit zunehmender Sättigung bis zu einem Minimum nach etwa 10 Tagen, steigt dann wieder an und läuft schließlich nach etwa 30 Tagen auf einen Wert von ca. 60% ein. Diese relativ lange Anlaufzeit bis zum Erreichen ausreichender Auswaschungsgrade ist auf die Anpassung der einer Kläranlage entnommenen bakteriellen Klärschlammflora an die anderen Milieubedingungen im Wascher zurückzuführen. Die Bildung des biologischen Rasens, also

* Die Verfasser danken Herrn Dr. *Fleckenstein* und Mitarbeitern (Institut für Bodenbiologie der FAL) für die Durchführung der Analysen.

der Biomasse, auf den Füllkörpern dürfte dabei ebenfalls eine große Rolle spielen, denn die Elimination der Geruchsstoffe durch eine biologisch aktivierte Wäsche im Kreislauf beruht auf zwei Teilschritten:

1. Der Absorption der luftverunreinigenden Komponenten im Wasser, wobei sich Ammoniak im Dissoziationsgleichgewicht befindet



2. der gleichzeitigen oder nachfolgenden Regeneration des Waschwassers infolge Oxidation durch die im Wasser lebenden Mikroorganismen. Dabei überzieht sich der Füllkörper nach einiger Zeit mit einem biologischen Rasen, in dem vornehmlich der Abbau der im Waschwasser gelösten Geruchsstoffe erfolgt.

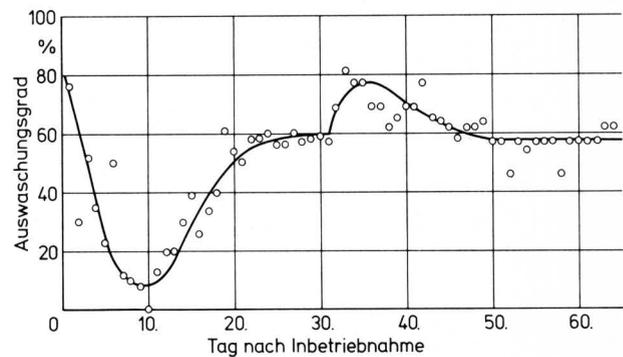
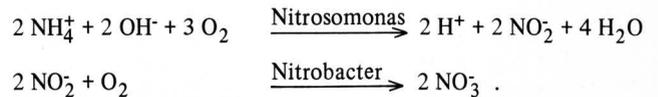


Bild 6. Auswaschungsgrad eines Washers mit biologischer Waschwasserbehandlung in Abhängigkeit von der Zeit (Füllkörper: EUROFORM WB 154).

Die durch mikrobielle Respiration erfolgende Oxidation des Stickstoffs führt über Nitrit zum Nitrat, etwa nach dem Schema:



Spezielle Bakterienarten, von denen hier als wichtigste Nitrosomonas und Nitrobacter genannt sind, führen diese Oxidationen aus. Diese chemolithotrophen Organismen sind nicht auf organische Kohlenstoffverbindungen angewiesen, sondern assimilieren Kohlenstoff mit Hilfe der Energie, die bei der Stickstoffoxidation freigesetzt wird. Größere Konzentrationen organischer Stoffe können sogar hemmend auf die Nitrifikation wirken [37, 38, 39].

Nach der Anlaufphase stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den beiden Teilschritten – der Auswaschung und der mikrobiellen Respiration – ein, der Auswaschungsgrad nimmt dann einen nahezu konstanten Wert an. Dieses Gleichgewicht der beiden Teilschritte spiegelt sich auch in der Ionenkonzentration der Waschflüssigkeit wieder, die für den zweiten Versuch in **Bild 7** dargestellt ist. Hier ergibt sich nach dem Anlaufen ein stetiger Anstieg der Ammonium-, der Nitrit- und mit Einschränkung auch der Nitrationen. **Bild 8** zeigt für diesen zweiten Versuch den Verlauf des Auswaschungsgrades, der sich im grundsätzlichen Verlauf nicht wesentlich von den Werten für Versuch 1 in **Bild 6** unterscheidet.

Aus **Bild 6** ist zu entnehmen, wie sich eine Änderung der Eingangskonzentration auf den Auswaschungsgrad auswirkt. Durch Vermindern der NH₃-Konzentration in der zu reinigenden Luft wird das Nahrungsangebot für die Mikroorganismen verringert. Die Folge hiervon ist zunächst eine stärkere Ausnutzung verbleibenden Nahrungsangebots und damit ein beachtlicher Anstieg des Auswaschungsgrades. Erst nach Ablauf von etwa 15 Tagen stellt sich der ursprüngliche Wert von ca. 60% wieder ein.

Es ist hieraus zu erkennen, daß sich das System nur sehr langsam Veränderungen in der Konzentration oder Menge der luftverunreinigenden Stoffe anpaßt. So wäre bei einem plötzlichen Erhöhen der Eingangskonzentration, z.B. Spitzenbelastungen in TKV-Anlagen, mit einer ungenügenden Reinigung, einem Durchtreten von Geruchstoffen zu rechnen.

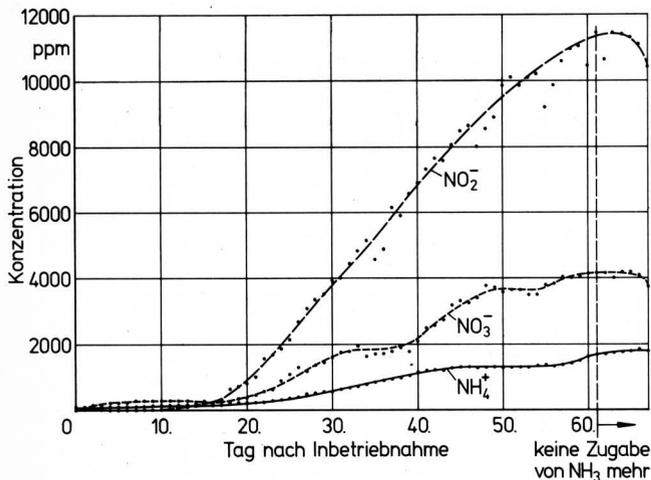


Bild 7. Zeitlicher Verlauf der Konzentration NH_4^+ , NO_2^- und NO_3^- in der Waschflüssigkeit (Füllkörper: EUROFORM PN 63/05).

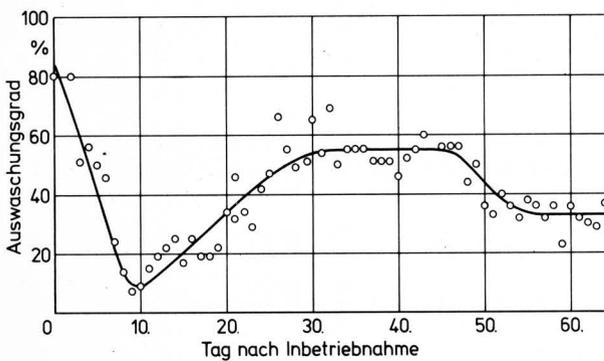


Bild 8. Auswaschungsgrad eines Washers mit biologischer Waschwasserbehandlung in Abhängigkeit von der Zeit (Füllkörper: EUROFORM PN 63/05).

Während sich im ersten Versuch nach dem Einstellen auf die veränderten Versuchsbedingungen, etwa vom 50. Tag an, wieder ein konstanter Wert für den Auswaschungsgrad einstellt, fällt im zweiten Versuch, Bild 8, der Auswaschungsgrad nach dem 48. Tag ziemlich stark ab. Dieser Abfall war mit den bis dahin gewonnenen Versuchsdaten und Erfahrungen nicht zu erklären. Die im dritten Versuch gewonnenen Werte ermöglichen aber eine Deutung. Der Auswaschungsgrad steigt hier, Bild 9, wie in den ersten beiden Versuchen etwa vom 10. Tag ab an, erreicht jedoch über längere Zeit nur Werte von etwa 20 % bis sich nach 50 Tagen ein konstanter Wert von 50 % einstellt.

Ein Waschen mit biologisch aktivem Wasser stellt ein kontinuierlich arbeitendes Fermentationssystem dar, dessen Leistungsfähigkeit nur bei optimalen Bedingungen für die Mikroorganismen gegeben ist. Die Leistungsfähigkeit der Mikroorganismen wird ganz entscheidend von der Temperatur beeinflusst, da der Umbau der Geruchsstoffe als Stoffwechselvorgang sehr stark temperaturabhängig ist. In einem Temperaturabfall bis unterhalb des optimalen Temperaturbereichs wird deshalb der Grund für die Abnahme des Auswaschungsgrades nach 48 Tagen im zweiten und der verzögerte Anstieg des Auswaschungsgrades im dritten Versuch gesehen.

Obleich die der Anlage zugeführte Luft konstant auf 25 °C aufgeheizt wurde, sank zu diesem Zeitpunkt durch sehr niedrige Umgebungstemperaturen des Versuchswaschers die Temperatur des umlaufenden Wassers auf Werte bis zur Kühlgrenztemperatur ab. Bild 10 gibt den Verlauf der Wassertemperatur über den Versuchszeitraum des dritten Versuchs wieder.

Im Füllkörperwascher mit biologisch aktiviertem Waschwasser stellt sich somit ein Beharrungszustand ein. Dieser ist weniger durch die Form der Füllkörper als durch die Milieubedingungen (Temperatur, Nahrungsangebot etc.) gegeben. Aus Bild 9 und 10 läßt sich außerdem folgern, daß man für das schnelle Erreichen guter Wirkungsgrade ein derartiges Waschverfahren in der Praxis im geeigneten Temperaturbereich anfahren sollte.

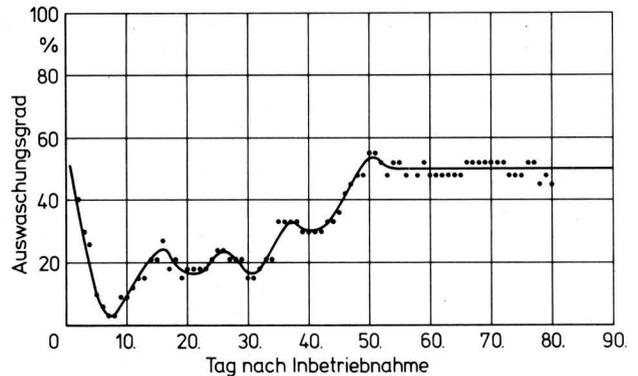


Bild 9. Auswaschungsgrad eines Washers mit biologischer Waschwasserbehandlung in Abhängigkeit von der Zeit (Füllkörper: NSW-Rohre der Norddeutschen Seekabelwerke AG).

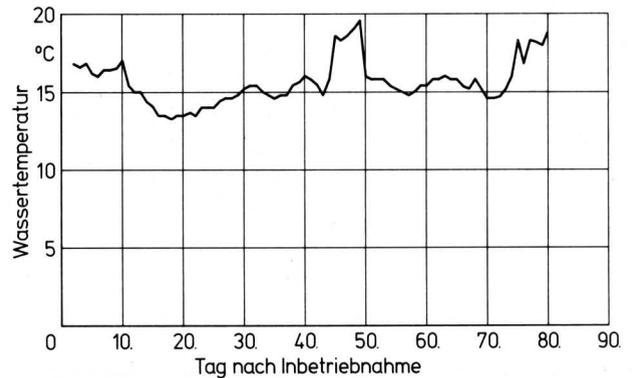


Bild 10. Wassertemperatur in Abhängigkeit von der Zeit (Füllkörper: NSW-Rohre der Norddeutschen Seekabelwerke AG).

Fast alle enzymatischen Reaktionen sind außer gegen Temperaturänderungen auch recht empfindlich gegen pH-Wert-Änderungen und haben die optimale Reaktionsgeschwindigkeit bei einem bestimmten Bereich der Temperatur und des pH-Wertes. Ein Einfluß des pH-Wertes auf den Auswaschungsgrad konnte jedoch nicht nachgewiesen werden, da dieser aufgrund der Versuchseinstellung nicht gezielt variiert wurde, sich vielmehr zwangsläufig ergab. Der anfangs neutrale pH-Wert steigt mit der zunehmenden Sättigung der Waschflüssigkeit an Ammoniumionen an und durchläuft ein Maximum, das relativ gut mit dem Minimum des Auswaschungsgrades zusammenfällt. Mit dem besser werdenden Auswaschungsgrad und der damit verbundenen Zunahme an Nitrit- und Nitrationen in der Waschflüssigkeit fällt der pH-Wert dann wieder in den neutralen Bereich zurück.

Bei den Versuchen traten im Waschwasser recht hohe Ionenkonzentrationen auf, beispielsweise wurden zum Ende des zweiten Versuchs, Bild 7, folgende Werte gemessen:

NH_4^+ : 1800 ppm $\hat{=}$ 1,4 g N/l

NO_2^- : 11400 ppm $\hat{=}$ 8,9 g N/l

NO_3^- : 4200 ppm $\hat{=}$ 3,3 g N/l

Ein Einfluß dieser hohen Ionenkonzentration auf den Auswaschungsgrad war im Versuch nicht festzustellen. Dennoch sollte die Konzentration der Umsetzungsprodukte in kontinuierlich arbeitenden Waschern durch einen teilweisen Austausch des umlaufenden Wassers begrenzt werden, um die Anreicherung von Hemmstoffen und Stoffwechselprodukten zu vermeiden. Sinnvollerweise sollte die ausgetauschte Wassermenge zur Düngung verwendet werden, damit eine Abwasserbelastung vermieden wird.

5.4 Biologisches Waschverfahren unter Praxisbedingungen

Die unter Laborbedingungen gewonnenen Versuchsergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf in Betrieben eingesetzte Wascher übertragen, da hier zum Teil ganz andere Betriebsbedingungen anzutreffen sind. So werden die Ventilatoren dieser Wascher vielfach thermostatisch geregelt, so daß sie nicht wie im Laborversuch kontinuierlich laufen. Außerdem treten die abzuscheidenden Geruchsstoffe hier meist als komplexes Stoffgemisch auf. Um Aufschlüsse über die Wirkungsweise und den Auswaschungsgrad biologischer Wascher unter Praxisbedingungen zu erhalten, wird gegenwärtig eine industriell gefertigte Anlage in einem Schweinestall untersucht.

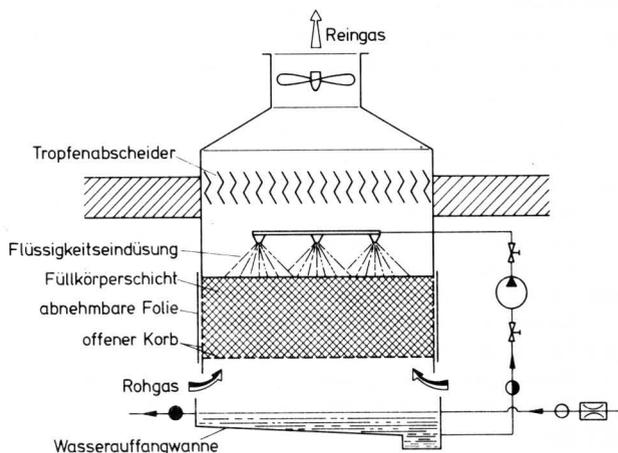


Bild 11. Wascher mit biologischer Waschwasserbehandlung. (RIMU-Lüftungstechnik).

Dieser in Bild 11 schematisch dargestellte Wascher besteht im wesentlichen aus einer gleichmäßig berieselten Füllkörperschüttung, durch die ein darüber angeordneter Ventilator die zu behandelnde Abluft saugt [40, 41]. Das Füllkörperbett – ein offener Korb, ca. 250 mm hoch mit Füllkörpern ("Tellerettes") gefüllt, die sich durch einen geringen Druckabfall auszeichnen – wird seitlich von einer für Reinigungszwecke leicht abnehmbaren Folie umhüllt, so daß die Luft von unten im Gegenstrom zur Flüssigkeit hindurchströmt. Die mit Klärschlamm geimpfte Waschflüssigkeit wird in einer unter der Füllkörperschüttung angebrachten Wanne aufgefangen und unter Ausgleich der Verdunstungsverluste erneut dem Wascher oben zugeführt. Um die Konzentration der Umsetzungsprodukte in dem Waschwasser zu begrenzen, fließt ein kleiner ebenfalls zu ersetzender Teilstrom des Waschwassers ständig ab.

Die Bewertung der Wirksamkeit dieses Waschers erfolgt mit dem Olfaktometer TO4 [6, 42], mit dem man das Mischungsverhältnis von reinem Sauerstoff und geruchsstoffbeladener Probenluft an der Geruchsschwelle bestimmt. Dieser Zahlenwert wird als Maß für die Geruchsbelastung herangezogen.

Aus den im Bild 12 dargestellten Versuchsergebnissen erkennt man, daß der zeitliche Verlauf des Auswaschungsgrades dem mit der Versuchsanlage im Labor ermittelten ähnlich ist. Nach einer Anlaufzeit von ca. 14 Tagen stellt sich ein Auswaschungsgrad von etwa 50 % ein, der sich über einen längeren Zeitraum dann kaum noch verändert. Auch der pH-Wert des Waschwassers hält sich während dieser Zeit konstant auf einem Wert von 8. Bezeichnend ist jedoch ein Anstieg des Auswaschungsgrades auf ca. 70 %, als nach etwa 125 Tagen sich mit 7,2 ein niedrigerer pH-Wert des Waschwassers einstellt. Diese Beobachtung deckt sich insofern mit früheren Angaben über den Einsatz von biologischen Waschverfahren [18], als nach den dort gemachten Erfahrungen der Wirkungsgrad eines im Schweinestall eingesetzten Waschers in einem pH-Wert-Bereich von 6,4 bis 7,2 am höchsten ist.

Die in Bild 12 dargestellten Meßergebnisse weisen einen erheblichen Streubereich auf. Dies ist insbesondere auf starke Schwankungen der relativen Einschaltdauer zurückzuführen. Es zeigt sich, daß bei geringer Einschaltdauer der Auswaschungsgrad schlechter ist als bei hoher Einschaltdauer. Gründe dafür dürften das Austrocknen des biologischen Rasens auf den Füllkörpern und die verminderte Einbringung von Sauerstoff in das Wasser sein. Um diese Nachteile zu vermindern, muß die Pumpe unabhängig von dem Ventilator betrieben werden.

Außer der Auswaschung der Geruchsstoffe wurde der Entstaubungsgrad gemessen. Bei einem durchschnittlichen Staubgehalt von $2,15 \text{ mg/m}^3$ im Stall mit einem Feinstaubanteil von 12 % beträgt der Entstaubungsgrad etwa 85 %.

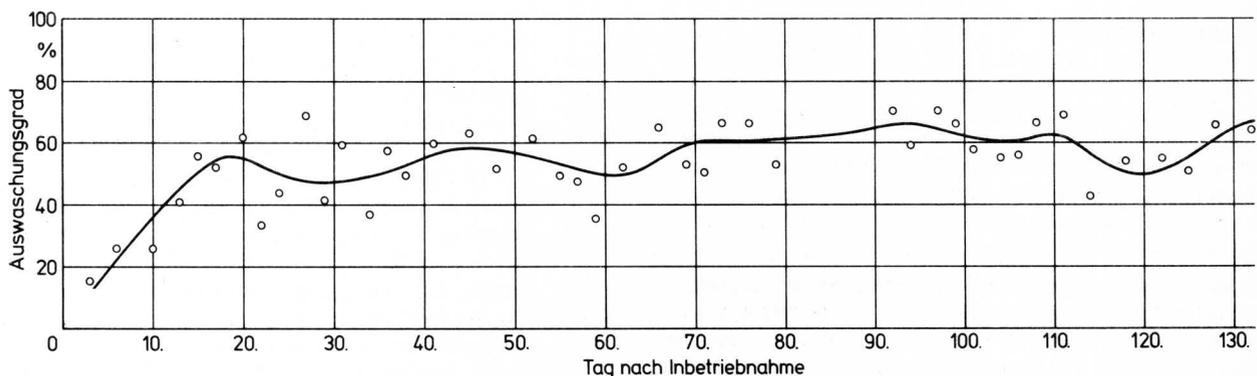


Bild 12. Auswaschungsgrad eines Waschers mit biologischer Waschwasserbehandlung in Abhängigkeit von der Zeit (Wascher: RIMU-Lüftungstechnik).

6. Eignung der Verfahren zur Behandlung der Luft im Stall

Bisher wurden die genannten Verfahren ausschließlich unter dem Aspekt der Abluftbehandlung betrachtet. Im Hinblick auf die Belastung am Arbeitsplatz durch Geruchsstoffe, die zu bekämpfen ebenso wichtig ist wie das Senken von Geruchsstoffmissionen, bleibt somit noch zu klären, wieweit diese Verfahren auch für eine Behandlung und Reinigung der Stallluft dienen können. Auf die Möglichkeit, die Geruchsstoffkonzentration im Stall durch intensive Verdünnung zu senken, wurde bereits hingewiesen. Sie ist aber durch die maximal zulässige Luftwechselrate beschränkt.

Abgesehen von den hohen Kosten kommt für diesen Zweck eine Anwendung der Verbrennungsverfahren nicht in Frage, weil mit den Verbrennungsgasen auch gefährliche Schadstoffe, wie Stickoxid oder Kohlenmonoxid, in den Raum gelangen würden und eine ausreichende Versorgung mit Sauerstoff gefährdet wäre.

Da Ozon eine giftige Substanz ist, deren MAK-Wert nur 0,1 ppm beträgt, und sowohl bei der UV-Strahlung als auch bei der Ozonisierung Stickoxide entstehen, ist ein Einsatz von reinem Ozon oder UV-Strahlen für die Reinigung der Stallluft grundsätzlich abzulehnen.

Obwohl durch Adsorptionsverfahren die in der Stallluft vorhandenen Geruchsstoffe abgeschieden werden können, lassen die schon für die Abluftreinigung genannten spezifischen Bedingungen wie hoher Staubgehalt, hohe Luftfeuchtigkeit usw. sowie die wegen großer Luftmengen mit geringen Geruchsstoffkonzentrationen notwendigen großen Filterflächen einen derartigen Einsatz nicht ratsam erscheinen.

Aber auch die für die Abluftreinigung durchaus wirkungsvoll einsetzbaren Absorptionsverfahren sind nicht zu empfehlen, da durch diese die ohnehin schon recht hohe Luftfeuchtigkeit im Stall noch weiter erhöht würde und eine zusätzliche Belastung für Mensch und Tier mit sich brächte. Außerdem ist dann nicht mehr ein Abtrocknen der Liegeflächen und damit eine möglichst schnelle Entwässerung des Kots zu erreichen, Bedingungen, die für eine weitgehende Unterdrückung der anaeroben Zersetzungsprozesse notwendig sind.

Daraus ist zu schließen, daß zusammen mit dem Verbessern der Stallbedingungen nur durch Verdünnen zweckmäßig und wirtschaftlich vertretbar ein Herabsetzen der Geruchsstoffkonzentration im Stall zu erreichen ist. Läßt sich die Luftwechselrate nicht mehr erhöhen, da sonst eine Erkrankungsgefahr der Tiere besteht und aus Energie- und Kostengründen auf eine Heizung verzichtet werden muß, so verbleibt noch die Möglichkeit, die Lüftung des Stalles von der Lüftung starker Emissionsquellen, wie z.B. Mistgänge, zu trennen. Neben der dann ausreichenden Stallluftverdünnung auch bei niedrigen Außentemperaturen hätte diese Maßnahme den Vorteil, daß bei Bedarf ohne Schwierigkeiten und relativ kostengünstig eine Reinigungsanlage für geringe Abluftmengen eingerichtet werden könnte.

7. Zusammenfassung

In der landwirtschaftlichen Produktion enthält die aus den Tierhaltungen abzuführende Stallluft oft nur geringe Mengen an festen, flüssigen und gasförmigen luftfremden Stoffen. Im wesentlichen sind es die gasförmigen Geruchsstoffe, die mancherorts zu Belästigungen führen. Läßt sich ihre Entstehung nicht verhindern, ist zur Vermeidung von Geruchsstoffbelästigungen in der Nachbarschaft dieser Betriebe eine Abluftbehandlung notwendig.

Aus der industriellen Produktion sind Verfahren zur Senkung von Geruchsstoffmissionen bekannt, die für den Einsatz in der Tierhaltung modifiziert werden können. Von diesen wird in der Tierhaltung heute noch vorwiegend die Verdünnung durch Mischen geruchsstoffbeladener Luft mit Reinsluft angewandt. Das Verdünnen der Luft im Stall ist auch das einzige wirtschaftlich vertretbare Verfahren, um auch innerhalb des Stalles eine für Mensch und Tier nicht mehr belästigende Geruchsstoffkonzentration zu erreichen.

Außerhalb ist eine weitere erforderliche Verdünnung mit Hilfe von Bypass-Verfahren oder durch Abluftverteilung über möglichst hohe Abgabepunkte möglich. Bei ungünstigen Standortverhältnissen usw. ist jedoch der Einsatz eines Abluftreinigungsverfahrens unumgänglich. Ein Vergleich bewährter Verfahren zur Desodorisierung ergibt, daß bei den in der Tierhaltung auftretenden Betriebsbedingungen unter Berücksichtigung der wichtigsten Gesichtspunkte, nämlich der Senkung der Geruchsstoffkonzentration, der Betriebssicherheit, des Wartungsaufwandes und der Kosten, derzeit die Wascher die brauchbarste Einrichtung zur Senkung der Geruchsstoffmissionen in der Nähe der Betriebe sind. Bei den eingesetzten Washern wird das Waschwasser meist im Kreislauf geführt und aufbereitet, so daß der Frischwasserverbrauch gering ist und Abwasser kaum anfällt. Die niedrigsten Betriebskosten entstehen bei den biologischen Waschverfahren. Versuche im Labor und im praktischen Betrieb bestätigen, daß mit diesen Washern in Wasser lösliche, mikrobiell abbaubare Geruchsstoffe eliminiert werden können. Sie sind jedoch relativ wenig anpassungsfähig an veränderte Betriebsbedingungen und benötigen eine lange Anlaufzeit und sorgfältige Wartung.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] VDI-Richtlinien 3471, Entwurf: Auswurfbegrenzung. Tierhaltung-Schweine (1974).
- [2] *Mißfeld, B.*: Maßnahmen zur Minderung der Geruchsentwicklung in Schweineställen. Diss. Univ. Kiel 1974.
- [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] *Werner, J.*: Aus der Rechtsprechung. Umwelt Bd. 6 (1976) Nr. 3, S. 232/33.
- [5] DIN 18910: Klima in geschlossenen Ställen. Wasserdampf- und Wärmehaushalt im Winter, Lüftung, Beleuchtung. Ausgabe Oktober 1974.
- [6] *Batel, W.*: Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung an Arbeitsplätzen in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung – Erster Bericht. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 135/57.
- [7] *Comberg, G. u. H.-F. Wolfermann*: Der Kohlendioxid-, Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgehalt der Stallluft von Rinder- und Schweineställen mit Gitterrost und Spaltboden. Arbeitsgemeinschaft für landw. Bauwesen, ALB-Bericht (1964) Nr. 22, S. 19/24.
- [8] • *Wolfermann, H.-F.*: Emission von Geruchsstoffen aus der Landwirtschaft – Vorkommen, Umfang und Grundlagen zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Verfahren zum Umweltschutz. Proceedings of the third international clean air congress Düsseldorf 1973, E 124/E 127. Düsseldorf: VDI-Verlag 1973.
- [9] • *Cheremisinoff, P.N. u. R.A. Young*: Industrial odor technology assessment. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publ. Inc. 1975.
- [10] *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.
- [11] *Baader, W., W. Batel, W. Paul, F. Schoedder u. G. Wächter*: Biologische Verfahrenstechnik in der Agrarproduktion, in Fortschritte der Verfahrenstechnik Bd. 13 (1975) Abt. F, S. 575/87.

- [12] *Göbel, W.*: Geruchsausbreitung bei Tierställen. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung Bd. 14 (1975) H. 2/3, S. 225/41.
- [13] *Gilbert, T.*: Ausbreitung von Gerüchen in Bodennähe. VDI-Berichte Nr. 226 (1975) S. 57/59.
- [14] VDI-Richtlinie Nr. 2289, Bl. 1–3: Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre. Zusammenhang zwischen Emission und Immission (1963/1969/1969).
- [15] *Franzky, U.*: Über den Einsatz von Oxidationsverfahren zur Verminderung geruchsintensiver Emissionen. VDI-Berichte Nr. 149, S. 291/302. Düsseldorf: VDI-Verlag 1970.
- [16] VDI-Richtlinien VDI 2441, Entwurf: Abgasreinigung durch katalytische Verbrennung. Juli 1975.
- [17] VDI-Richtlinie Nr. 2442, Entwurf: Abgasreinigung durch thermische Verbrennung. August 1976.
- [18] *Geelen, van, M. u. A.A. Jongebreur*: Einige Lösungen zur Abhilfe von Geruchsbelästigungen. Bauen auf dem Lande Bd. 25 (1974) H. 4, S. 102/107.
- [19] *Bernert, J.*: Untersuchungen zur Emissionsverminderung im Bereich der Lebensmittelherstellung und Tier-Intensivhaltung. Institut für gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinigung e.V., Köln, IWL-Sonderdruck (1973).
- [20] *Huch, R.*: Entwicklung und Prüfung von Verfahren zur Abluftreinigung in Nahrungs-, Genuß- und Futtermittelbetrieben. IWL-Forum Bd. 70/III, S. 75/93, IWL-Eigenverlag, Köln (1970).
- [21] *Summer, W.*: Das Geruchlosmachen von Luft und Wasser. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 30 (1970) Nr. 9, S. 371/72.
- [22] *Summer, W.*: Strahlen töten Gerüche. U – das technische Umweltmagazin (1971) Nr. 2, S. 34/35
- [23] *Kurmeier, H.*: Das Kalksteinverfahren zur Desodorisierung von riechenden Industrieabgasen. Gesundheitsingenieur Bd. 92 (1971) H. 6, S. 169/73.
- [24] *Knop, W.*: Möglichkeiten der Emissionsverminderung bei TKV-Anlagen – Sammelreferat über die Richtlinie VDI 2590 "Anlagen zur Tierkörperverwertung". VDI-Berichte Nr. 226 (1975) S. 77/83.
- [25] *Schwarzbach, E.*: Ein neues Verfahren zur Beseitigung von Geruchsemissionen aus der Tierkörper-Verwertung. Die Fleischmehl-Industrie Bd. 26 (1974) Nr. 4, S. 37/43.
- [26] *Mach, E. u. A. Reidies*: Ein mineralisches Chamäleon. Die Fleischmehl-Industrie Bd. 25 (1973) Nr. 5, S. 49/59 und Nr. 6, S. 74/78.
- [27] *Anonym*: Betriebserfahrungen mit neuen Verfahren zur Abluftreinigung. Verfahrenstechnik Bd. 9 (1975) Nr. 3, S. 99.
- [28] *Hammer, K. u. G. Koller*: Aufbereitung der Abluft aus Schweineställen. Landtechnik Bd. 30 (1975) Nr. 10, S. 432/34.
- [29] *Schirz, S.*: Abluftwäscher in Schweineställen. In: Tierhaltung ohne Geruchsprobleme. ALB-Hessen, Informationsbericht Nr. 27, 1975.
- [30] *Körbnitz, H.B. u. W. Brocke*: Geruchsquellen bei TKV-Anstalten und technische Maßnahmen zur Vermeidung von Nachbarschaftsbelästigungen. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz Essen (1968) H. 10, S. 16/20.
- [31] *Husemann, G.*: Das Adsox-Verfahren und seine Anwendung in der Tierkörperverwertung. Die Fleischmehl-Industrie Bd. 26 (1974) Nr. 37, S. 112.
- [32] *Strauß, H.-J.*: Adsorptionsverfahren zur Geruchsabscheidung. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 36 (1976) Nr. 7, S. 311/13.
- [33] *Helmer, R.*: Abluftreinigung in Müllkompostwerken mit Hilfe der Bodenfiltration. Müll u. Abfall Bd. 6 (1974) Nr. 5, S. 140/46.
- [34] *Helmer, R.*: Desodorisierung von geruchsbeladener Abluft in Bodenfiltern. Gesundheits-Ingenieur Bd. 95 (1974) Nr. 1, S. 21/26.
- [35] Jahresbericht 1967 der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz Essen (1968) H. 12, S. 17/28.
- [36] *Franzky, U.*: Beispiele für die Beseitigung von Geruchsstoffen, insbesondere bei Kleinanlagen. VDI-Berichte Nr. 124, S. 33/42. Düsseldorf: VDI-Verlag 1968.
- [37] *Rüffer, H.*: Nitrifikation und Denitrifikation bei der Abwasserreinigung. Vom Wasser Bd. 31 (1964) S. 134/52.
- [38] *Wuhrmann, K.*: Biologische und biochemische Grundlagen der biologischen Abwasserreinigung. Vortragsveröffentlichung Haus der Technik (1964) H. 28, S. 7/22.
- [39] *Bischofsberger, W.*: Biologische Behandlung von Kokereiabwasser und seine Wiederverwendung als Brauchwasser im Kokereibetrieb. Wasser, Luft und Betrieb Bd. 15 (1971) H. 1, S. 8/13.
- [40] *Anonym*: Landwirt *Kreitmair* wäscht die Stalluft. Die Landtechnische Zeitschrift DLZ Bd. 27 (1976) Nr. 5, S. 392/96.
- [41] *Schirz, S.*: Abluftreinigungsanlagen in der Praxis. Der Tierzüchter Bd. 27 (1975) Nr. 4, S. 160/62.
- [42] *Schoedder, F.*: Messen von Geruchsstoffkonzentrationen, Erfassen von Geruch. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 3, S. 73/82.